





# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rok XXVI, zesz. 4/5/6  
21 czerwca 1950 r.

XXVI-й год, вып. 4/5/6  
21 июня 1950 г.

Vol XXVI, No 4/5/6  
June 21, 1950

Année XXVI, fasc. 4/5/6  
le 21 juin 1950

SPIS RZECZY. T Czapllicki: Kronika (LV—LVII). — S. Andrzejewski: Potrzeby własne wielkich siłowni. — W. Szumilin: Przesyłanie energii na napięciach wyższych od dotychczas stosowanych. — Z. Skoczynski: Oporności maszyn synchronicznych. — B. Kartaszyński i S. Dominko: Wpływ forsowania wzbudzenia na współpracę prądnic i silników oraz na zabezpieczenia przekąźnikowe przy zakłóceniach sieciowych. — K. Kolbiński: Niektóre zagadnienia eksploatacyjne w sieciach kablowych. — L. Szklarski: Wyznaczenie strat układu Leonarda. — T. Lipińska-Pilarzowa: Starzenie olejów izolacyjnych i walka z tym objawem. — J. Gniewlewski: Burze i przepięcia w polskich napowietrznych sieciach wysokich napięć w roku 1948. — B. Smoluchowski i Z. Woynarowski: Przemysł maszyn i aparatów elektrycznych na XXIII Międzynarodowych Targach Poznańskich. — T. Schwartz: Przegląd metod elektrotermicznych. — T. Schwartz: Podstawy termodynamiczne elektrotermii. — F. Sondij: Elektryczne pomiary temperatury. — Z. Liżewski: Oporowe i elektrodowe urządzenia grzejne. — J. Swirczewski: Przemysłowe piece łukowe. — T. Missala: Piece indukcyjne. — R. Siciński: Indukcyjne nagrzewanie powierzchniowe prądami wielkiej częstotliwości. — T. Skrzypek: Grzejnictwo pojemnościowe. — M. Mazur: Suszenie podczerwienią. — M. Mazur: Osiągnięcia i perspektywy elektrotermii. — Przegląd czasopism. — Udoskonalenie czasopism technicznych pracowników fachowym. — Wydawnictwa nadesłane. — Wyciąg z listy najnowszych norm polskich. — Komunikaty SEP. — Biuletyn Głównego Instytutu Elektrotechniki. — Elektryczne urządzenia grzejne cporowe niskiego napięcia (PNE). — Ogłoszone ostatnio projekty Polskich Norm. — Bibliografia Czasopism Elektrotechnicznych.

ОГЛАВЛЕНИЕ. Т. Чаплицкий: Хроника (LV—LVII). — С. Андреевский: Собственные нужды больших электростанций. — В. Шумилин: Передача энергии при сверхвысоких напряжениях. — З. Скочинский: Сопротивления синхронных машин. — Б. Карташинский и С. Доминко: Влияние форсирования возбуждения на совместную работу генераторов и двигателей и на релейную защиту в случае сетевой аварии. — К. Колбинский: Некоторые вопросы по эксплуатации кабельных сетей. — Л. Шклярский: Определение потерь в системе Леонарда. — Т. Липинская — Пилаж: Составление изолирующих масел и борьба с этим явлением. — Я. Гневлевский: Грозы и перенапряжения в польских воздушных сетях высокого напряжения в 1948 г. — В. Смолюховский и З. Войнарковский: Электрические машины и аппараты на XXIII-й Международной ярмарке в Познани. — Т. Шварц: Обзор электротермических методов. — Т. Шварц: Термодинамические основы электротермии. — Ф. Сондий: Электрические измерения температуры. — З. Лижевский: Резисторные и электродные нагревательные устройства. — Я. Свиричевский: Промышленные дуговые печи. — Т. Миссала: Индукционные печи. — Р. Сидинский: Индукционное поверхностное нагревание токами высокой частоты. — Т. Скрипек: Диелектрический нагрев. — М. Маур: Сушка инфракрасными лучами. — М. Маур: Достижения и перспективы электротермии. — Обзор журналов. — Поступившие публикации. — Сообщения О. П. Э. — Бюллетень Главного Электротехнического Института. — Электрические нагревательные устройства (Пол. Электр. Станд.). — Библиография электротехнических журналов.

CONTENTS. T. Czapllicki: Chronicles (LV—LVII). — S. Andrzejewski: Auxiliary services of large power plants. — W. Szumilin: Transmission of electric energy at voltages higher than hitherto used. — Z. Skoczynski: Reactances of synchronous machines. — B. Kartaszyński & S. Dominko: The influence of forced excitation on the parallel operation of generators and motors, as well as on relay protection in cases of breakdown in power systems. — K. Kolbiński: Certain operating problems in cable systems. — L. Szklarski: Determination of losses of the Leonard system. — T. Lipińska-Pilarzowa: The ageing of insulating oils and its prevention. — J. Gniewlewski: Thunderstorms and over-voltages in high-tension overhead lines in Poland in 1948. — W. Smoluchowski & Z. Woynarowski: Electrical machinery, transformers, switchgear, control equipment etc. at the 23-rd International Fair at Poznań. — T. Schwartz: Review of electrothermal methods. — T. Schwartz: Thermodynamic foundations of electrothermics. — F. Sondij: Electric temperature measurements. — Z. Liżewski: Resistance and electrode type heaters. — J. Swirczewski: Industrial arc furnaces. — T. Missala: Induction furnaces. — R. Siciński: Induction surface heating by means of high frequency current. — T. Skrzypek: Dielectric heating. — M. Mazur: Drying by infra-red radiation. — M. Mazur: Achievements and prospects of electrothermics. — Review of periodicals. — Publications received. — Notes of the A. P. E. E. — Bulletin of the Chief Electro-technical Institute. — Resistance type heaters (Pol. Stand. Spec.).

## Dwunaste uzupełnienie listy członków SEP

ogłoszonej w PE, 1947, z. 9/10, str. IV-X

(Jedenaste poprzednich uzupełnień ob. w PE, 1947, z. 11/12, str. IV; w PE, 1948, z. 3, str. V; z. 7/8, str. V; z. 9, str. IV; z. 10/11, str. III; z. 12, str. III; w PE, 1949, z. 2/3, str. III; z. 4/5/6, str. III; z. 9, str. III; z. 10/11/12, str. III, oraz w PE, 1950, z. 1/2/3, str. II)

### ODDZIAŁ KRAKOWSKI

Gąssowski Władysław, Kraków, Popiela 3 m. 4  
Klimończyk Jan, Kraków, Krasickiego 12 m. 9  
Kulej Kazimierz, Kraków, Grodzka 48 m. 10  
Makarewicz Marian, Kraków, Loretańska 5 m. 4  
Rychlik Jan, Kraków, Olsza, Wolności 55  
Skoczeń Marian, Kraków, Prądnicza 74  
Sołtysik Dominik, Kraków, Helciów 13 m. 8  
Sołtysik Wiktor, (T), Kraków, Wiślicko 4 m. 7  
Steczkowski Kazimierz, Kraków, 18 Stycznia 20 m. 2  
Winiarczyk Stanisław, Kraków, Zamenhofska 3 m. 6  
Wojaczyński Bolesław, Kraków, Krowoderska 6 m. 4

### ODDZIAŁ ŁÓDZKI

Andrzejewski Bohdan, Łódź, Bednarska 24 m. 58  
Baranowski Jerzy, Łódź, Gdańska 123 m. 5  
Barszczewski Ludwik, Łódź, 11 Listopada 13 m. 41  
Bartkowski Zygmunt, Andrzejów, Polna 3  
Bigalke Jan, Zgierz, Ciosnowska 4  
Błaszczak Henryk, Łódź, Przedzalniana 54 m. 10  
Dąbrowski Kazimierz, Łódź, Magistracka 22  
Dobrzyński Franciszek, Łódź, Narutowicza 56 m. 41  
Dymitrowski Piotr, Łódź, Piotrkowska 67 m. 13  
Fabiszewski Ksawery, Łódź, Srebrzyńska 81 m. 20  
Hoppen Sewerian, Łódź, Kilińskiego 40 m. 173  
Janicki Eugeniusz, Łódź, Piotrkowska 61  
Jędrzejewski Jerzy, Łódź, Moniuszki 5 m. 30  
Kawecki Franciszek, Łódź, Daszyńskiego 73 m. 1  
Klubowski Aleksander, Łódź, Pogonowskiego 27  
Kosiński Tadeusz, Łódź, Sienkiewicza 47  
Krzemiński Edmund, Łódź, Tramwajowa 6  
Limanowski Walerian, Łódź, Piotrkowska 56  
Łobczak Piotr, Kalisz, Górnoślaska 66  
Łysik Stanisław, Łódź, Zeromskiego 15 m. 3 a  
Mańkowski Zbigniew, Łódź, Andrzeja Struga 45 m. 15  
Marchwicki Władysław, Łódź, Przedzalniana 71  
Mijaowski Zygmunt, Sieradz, 23 Stycznia 9 m. 3  
Mroczkowski Bronisław, Łódź, Andrzeja Struga 38 m. 1  
Nowakowski Ignacy, Łódź, Piotrkowska 31 m. 19  
Pereszczako Stanisław, Łódź, Fabryczna 2 m. 18  
Pietrzak Feliks - Kazimierz, Łódź, Piotrkowska 56 m. 47  
Pill Jerzy, Łódź, Wólczńska 137 m. 6 a  
Rychter Stefan, Łódź, Narutowicza 103 m. 2  
Sander Marian, Łódź, Piotrkowska 18 m. 16  
Sikorski Hieronim, Łódź, Perłowa 19 m. 1  
Skolimowski Edward, Łódź, Gdańska 98 m. 6  
Sołcki Jerzy, Łódź, Tylna 14  
Studniarek Kazimierz, Łódź, Zachodnia 64 m. 2  
Szymczak Stanisław, Łódź, Sienkiewicza 47  
Szejna Stanisław, Łódź, Wólczńska 137 m. 6 a

Topolski Roman, Łódź, Rudzka 29  
Torupczyk Bolesław, Łódź, Traugutta 8  
Urbach Wiktor, Łódź, Piotrkowska 101  
Wardecki Antoni, Łódź, 11 Listopada 58  
Zydlar Stanisław, Łódź, Bandurskiego 15  
Żakowicz Paweł, Łódź, Więckowskiego 4 m. 23  
Zejmo Władysław, Pabianice, Odrodzenia 11 m. 1

### ODDZIAŁ RADOMSKO-KIELECKI

Grzywacz Marcei, Radom, 1 Maja 20 m. 2  
Maro Gwidon, Kielce, Słowackiego 7  
Oszmański Marian, Ostrowiec Kielecki, Kościuszki 5  
Pruszyński Lucjan, Starachowice, Szeroka 18  
Repsz Emil, Radom, Traugutta 30  
Szorc Witold, Radom, Zeromskiego 25  
Siedź Władysław, Wierzbnik, Ks. Radoszewskiego

### ODDZIAŁ WARSZAWSKI

Bielawski Stanisław, Rembertów, Gen. Weyganda 5  
Czapla Janusz, Warszawa, Noakowskiego 16 m. 32  
Drużyna Lucjan, Warszawa, Starynkiewicza 7 m. 152  
Eysymontt Czesław, Warszawa, Hłza 42 m. 12  
Jankowski Stanisław-Grzegorz, Wołomin, Trakt Warszawski 84 m. 3  
Jarczowska Halina, Warszawa, Asfaltowa 5 m. 10  
Jaroszewski Wiesław, Grodzisk Mazowiecki, Dworska 8 m. 2  
Keller Emil, Warszawa, Pyłtasińskiego 14 m. 2  
Lech Władysław, Warszawa, Stalowa 35 m. 10  
Lepa Erwin, Warszawa, Al. Waszyngtona 6 m. 6  
Łoś Stanisław, Falenica, Poniatowskiego 1 m. 20  
Majewski Stanisław, Pruszków, p-ta Piastów, M. Konopnickiej 6  
Meters Jerzy-Andrzej, Warszawa, Krasieńskiego 18 m. 155  
Milewski Jerzy, Warszawa, Tamka 45 a  
Morzycka Anna, Warszawa, Wajska 7 m. 18  
Ostaszewicz Jerzy, Warszawa, Targowa 39 m. 12  
Paciewicz Janusz, Warszawa, Krasieńskiego 29 m. 83  
Plewiński Wincenty, Warszawa, Targowa 67 m. 11  
Rackowski Włodzimierz, Warszawa, Wawelska, Fińskie Domki, Kol. VIII/8  
Roguski Antoni, Warszawa, Raszyńska 56 m. 37  
Sergiej Roman, Warszawa, Grójecka 40 m. 46  
Seruga Wiesław, Warszawa, Krechowicka 5 m. 2  
Sterna Leon, Sękocin, gm. Falenty  
Stopczkański Wojciech, Warszawa, Grochowska 331 m. 26  
Wojtkiewicz Stanisław, Warszawa, Boduena 4 m. 11  
Zołądzowski Stanisław, Warszawa, Al. Stalina 18 m. 38

### ODDZIAŁ WROCŁAWSKI

Chetmiński Ludwik, (T), Wrocław, Krasieńskiego 9, RUTT  
Wróblewski Antoni, (T), Wrocław, Krasieńskiego 9, RUTT



# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH  
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO  
Redaktor inż. Tadeusz Czaplicki

Rok XXVI

Warszawa, 21 czerwca 1950 r.

Zeszyt 4/5/6

## KRONIKA

### LV. Bibliografia czasopism elektrotechnicznych.

Bibliografię czasopism elektrotechnicznych w języku polskim opracowywało od 1935 r. aż do wybuchu wojny Stowarzyszenie Elektryków Polskich; pracowała nad nią osobna podkomisja przy Komisji Bibliotecznej SEPu\*). Bibliografia ta była ogłaszana drukiem w Przeglądzie Elektrotechnicznym na odwrocie stronice ogłoszeniowych. W ciągu czterech lat przedwojennych (1935—1939) czytelnicy Przeglądu otrzymali w ten sposób ogółem około 4500 notatek bibliograficznych.

Wznowienie bibliografii nie było w naszych warunkach powojennych rzeczą łatwą wobec zniszczenia całej organizacji Stowarzyszenia, wobec braku ludzi mogących się tej sprawie oddać, wobec trudności wydawniczych, a przede wszystkim wobec zupełnego braku czasopism zagranicznych z lat wojennych i wobec skąpego dopływu tych czasopism z okresu powojennego.

Możliwości systematycznego opracowywania u nas bibliografii elektrotechnicznej powstały najwcześniej w nowoutworzonym po wojnie państwowym ośrodku pracy naukowej — Głównym Instytucie Elektrotechniki, instytucji najlepiej u nas wyposażonej w literaturę periodyczną fachową i statutowo powołanej m. inn. do gromadzenia materiałów bibliograficznych z dziedziny elektrotechniki. Dzięki przychylnemu stanowisku Instytutu do sprawy udostępnienia bibliografii elektrotechnicznej ogółowi elektryków polskich za pośrednictwem Przeglądu, czytelnicy nasi otrzymali w roczniku 1949 r. pierwszą po wojnie partię materiału bibliograficznego w ilości 477 notatek.

W roku bieżącym sprawa stałego ogłaszania w naszym piśmie bibliografii elektrotechnicznej, opracowywanej w GIElu, została oficjalnie potwierdzona z racji uregulowania przez PKPG wszystkich kwestii formalnych i finansowych związanych z publikacją materiałów bibliograficznych w ogóle.

Co do zakresu bibliografii, która ma być oddana do użytku naszych czytelników, postawiliśmy sobie za zadanie objąć nią z wydawnictw zagranicznych wszystkie produkujące czasopisma elektrotechniczne w językach rosyjskim, czeskim, angielskim, francuskim, niemieckim i włoskim. Co do czasu program nasz sięga wstecz 1947 r., od którego też rozpoczęliśmy druk bibliografii w roku ubiegłym. Liczymy, że nie przestrzegając (dla szybszego załatwienia sprawy) ściśle kolejności chronologicznej już w roku 1951 wyczerpiemy materiał z lat ubiegłych i przejdziemy do ogłaszania wyłącznie materiału bieżącego. Sprawa bibliografii z okresu wojennego (1939—1946) znajduje się na razie w zawieszaniu.

Nasze notatki bibliograficzne są zaopatrzone w znak międzynarodowej klasyfikacji dziesiętnej i w każdym zeszyte są uszeregowane według kolejności układu dziesiętnego. Ponadto zastosowaliśmy numerację bieżącą, która przy pomocy skróconych autorów, podawanego w końcu roku, będzie dalszym ułatwieniem dla czytelnika w korzystaniu z materiału, oddanego do jego dyspozycji.

Celem naszej bibliografii jest ułatwienie elektrykowi szybkiego odszukania takich wiadomości w interesującej go kwestii, jakich nie zawierają jeszcze podręczniki ani w ogóle wydawnictwa książkowe, to znaczy świeżych i najświeższych. Ze względu na ograniczone miejsce, którym dysponujemy, nasze kilkowerszowe notatki dają przede

wszystkimi odpowiedź na pytanie, o czym artykuł traktuje, i na ogół nie zawierają informacji o tym, co mianowicie artykuł mówi, gdyż taka szersza forma bibliografii wymagałaby wielokrotnie więcej miejsca. Nasza bibliografia na ogół pozwala czytelnikowi w zupełności zorientować się, do których artykułów powinien sięgnąć przy badaniu interesującego go zagadnienia.

Bibliografię drukujemy dla oszczędności papieru po obu stronach arkusza. Czytelnicy, którym potrzebne są wycinki, np. do sporządzenia kartoteki, mogą nabyć w GIElu dalszą odbitkę bibliografii również drukowaną obustronnie.

### LVI. Biuletyn Głównego Instytutu Elektrotechniki.

Na podstawie porozumienia między Głównym Instytutem Elektrotechniki a Przeglądem Elektrotechnicznym, usankcjonowanego zarządzeniami Departamentu Techniki PKPG, prace współpracowników Instytutu, które swym tematem, ujęciem, poziomem i objętością odpowiadają programowi naszego pisma, są zamieszczane w ogólnej jego części. Niezależnie od tego w każdym zeszycie Przeglądu jest już od ubiegłego roku zarezerwowane osobne miejsce na Biuletyn GIElu, którego zadaniem jest informowanie szerokiego ogółu elektryków w krótkich komunikatach o toku bieżących prac Instytutu i o wszelkich formach jego działalności.

### LVII. Targi Poznańskie.

Z opisu tego fragmentu tegorocznych Targów, który bezpośrednio interesuje elektryków, nawet czytelnik, który nie miał możliwości zwiedzenia Targów w roku bieżącym, zrozumie, jakiego one nabierają charakteru i znaczenia w dobie naszej gospodarki planowej oraz jakim mogą być źródłem natchnień dla postępu technicznego, dla idei racjonalizacyjnych na wszystkich stopniach pracy w przemyśle.

W warunkach pracy naszego konsolidującego się przemysłu i handlu, pracy opartej na jednolitym, zharmonizowanym i długofalowym, bo kilkoletnim planie państwowym, Targi Poznańskie przekształcają się w znacznym stopniu w doroczne powszechne wystawy ogólnokrajowe, które pozwalają społeczeństwu zapoznawać się z naszym bieżącym dorobkiem gospodarczym, a w szczególności z postęпами naszego przemysłu, dzięki zaś międzynarodowemu charakterowi Targów również porównywać te postępy w pewnej mierze ze zdobyczami innych krajów.

Poznaniowi, posiadającemu stałe budynki i tereny wystawowe, wyrobiony aparat organizacyjny i długoletnie doświadczenie w urządzaniu Targów przypada w udziale prezentowanie wobec swoich i obcych naszych możliwości wytwórczych.

Niezmiernie doniosłe znaczenie ma umożliwienie przez państwo szerokim rzeszom ludności wszelkich zawodów i ze wszystkich końców kraju zwiedzenia Targów.

Żeby jednak pożytek ze zwiedzenia Targów był wielokrotnie większy od dotychczasowego, żeby był rzeczywiście tak duży, jakim może być i powinien być, należy gruntownie zreorganizować dotychczasowy system zwiedzenia Targów przez wielkie rzesze, a raczej należy od podstaw zorganizować racjonalny sposób masowego zwiedzenia Targów, sposób, który uchroni zwiedzających od zbyt szybkiego stopienia wrażliwości i uwagi, a więc od zmarnowania okazji i czasu, a przeciwnie utrwali w ich pamięci te wrażenia, które powinny utkwic tam na dłuższy czas.

Tadeusz Czaplicki

\*) Por. PE, 1935, zesz. 15, str. 507.





INŻ. STANISŁAW ANDRZEJEWSKI

# Potrzeby własne wielkich siłowni

Treść. Wielkość napędów. Najważniejsze to pompy, wentylatory i młyny. Zależność zużycia energii od różnych czynników. Wrażliwość różnych napędów. Wybór napędu — elektryczny czy parowy. Wybór napięcia, rodzaju prądu i typu silnika. Wielkość wysokiego napięcia stosowanego do zasilania wielkich silników. Zasilanie potrzeb własnych z głównych szyn, turbina własnego użytku i generator własnego użytku, zaczepek z szyn generatora głównego. Zasilanie z kilku źródeł. Rezerwa jawna i ukryta. Rozmieszczenie rozdzielni potrzeb własnych.

Собственные нужды больших электростанций. Оценка мощности приводных устройств. Важнейшие из них — насосы, вентиляторы, мельницы. Зависимость потребления энергии от различных факторов. Чувствительность различных приводов. Выбор привода: электрический или паровой. Выбор напряжения, рода тока и типа двигателя. Высокие напряжения, применяемые для питания больших электродвигателей. Питание собственных нужд с главных шин станции, специальная турбина собственных нужд, генератор собственных нужд, отставление от шин главного генератора. Одновременное питание от нескольких источников. Резерв явный или скрытый. Размещение распределительных устройств для собственных нужд.

Auxiliary services of large power plants. Size of electric motors. The primary importance of pumps, fans and pulverising mills. Contingence of power consumption on various factors. Sensitiveness of various drives. Selection of drive — electric or steam. Selection of voltage, kind of current and type of electric motor. High tensions as used for large electric motors. Power supply for auxiliary services from main station bus-bars, independent house set, shaft generator and main generator terminal. Supply from several sources. Actual and latent reserves. Location of switchgear for auxiliary services.

## 1. Wstęp.

Zagadnienie właściwego rozwiązania potrzeb własnych elektrowni jest jednym z najważniejszych przy projektowaniu nowego zakładu, gdyż nie tylko odbija się silnie na kosztach zakładowych i kosztach eksploatacyjnych, ale może mieć także wpływ na pewność ruchu.

Nakłady inwestycyjne są bardzo duże, gdyż nowoczesne elektrownie zużywają na pokrycie własnych potrzeb do 10% mocy zainstalowanej, a chodzi tu przecież nie tylko o koszt silników napędowych, rozdzielni, kabli i transformatorów, ale także i o koszt tych 8 czy 10% mocy siłowni, które trzeba odjąć od mocy instalowanej netto. Koszty ruchu są także w dużej mierze zależne od potrzeb własnych, gdyż wobec dużej liczby godzin użytkownika ilość energii zużywanej na potrzeby własne jest bardzo duża. Wreszcie bez wielkiej przesady rzec można, że pewność ruchu zależy przede wszystkim od niezawodności pracy napędów wewnętrznych siłowni. Właściwe rozwiązanie układu zasilania potrzeb własnych — przez wybór odpowiedniego schematu połączeń, należytych rezerw, zabezpieczeń, napędów, systemów regulacji itp. — niejednokrotnie zdecydowało o tym, czy zaburzenie w elektrowni zostało zlokalizowane, czy też doprowadziło do ogólnego zakłócenia ruchu.

Zagadnienie potrzeb własnych było różnie rozwiązywane i przechodziło wiele ewolucji, jednakże ostatnio dają się zauważyć pewne dość wyraźne tendencje, znajdujące uzasadnienie w ogólnym kierunku rozwoju budownictwa wielkich siłowni. Tak więc wzrost parametrów pary, wzrost wielkości jednostek, rozpowszechnienie układu blokowego, stosowanie niemal wyłącznie kotłów na pył węglowy — to wszystko narzuciło ze względu na wielkość i wrażliwość poszczególnych napędów pewne rozwiązania najkorzystniejsze w obecnych warunkach.

## 2. Wielkość napędów.

W nowoczesnej elektrowni istnieją trzy główne rodzaje odbiorników energii. Są to:

- 1) pompy zasilające i pompy chłodzącej,
- 2) wentylatory ciągu i powietrza,
- 3) młyny węglowe;

reszta napędów — pomp, przenośników czy suwnic ma mniejsze znaczenie.

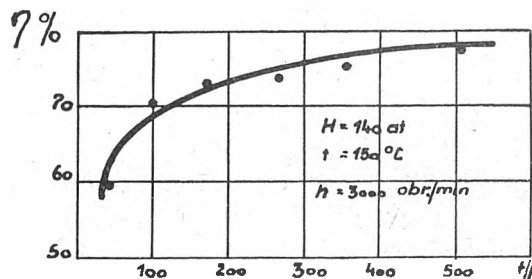
Pompy zasilające. Moc potrzebna do napędu pomp zasilających rośnie ze wzrostem ciśnienia kotłów oraz temperaturą podgrzania wody zasilającej. Ponieważ obserwujemy stały wzrost ciśnienia i coraz wyższe temperatury wody zasilającej, rośnie zatem stale pobór mocy na pompowanie wody. Równocześnie daje się zauważyć tendencja do stosowania coraz większych jednostek kotłowych zasilanych przez „własne“ blokowe pompy zasilające. W rezultacie moc silników napędowych stale wzrasta i obecnie staje się regułą, że jak najcięższym elementem siłowni jest stator generatora, tak największym silnikiem jest silnik pompy zasilającej.

Moc potrzebną do pompowania wody oblicza się ze wzoru

$$P = \frac{Q \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \gamma \cdot \eta_p \cdot \eta_s} \quad (\text{kW}),$$

gdzie  $Q$  — wydajność pompy w kg/h,  
 $H$  — wysokość tłoczenia w m,  
 $\gamma$  — ciężar właściwy wody pompowanej,  
 $\eta_p$  — sprawność pompy,  
 $\eta_s$  — sprawność silnika.

Ciśnienie wody zasilającej winno być wyższe od ciśnienia kotła dla przezwyciężenia ciśnienia hydrostatycznego, wynikłego wskutek różnicy poziomów walczaka i pompy,



Rys. 1. Osiągane sprawności pompy zasilającej wysokoprężnej w zależności od wydajności pompy (Ellrich)

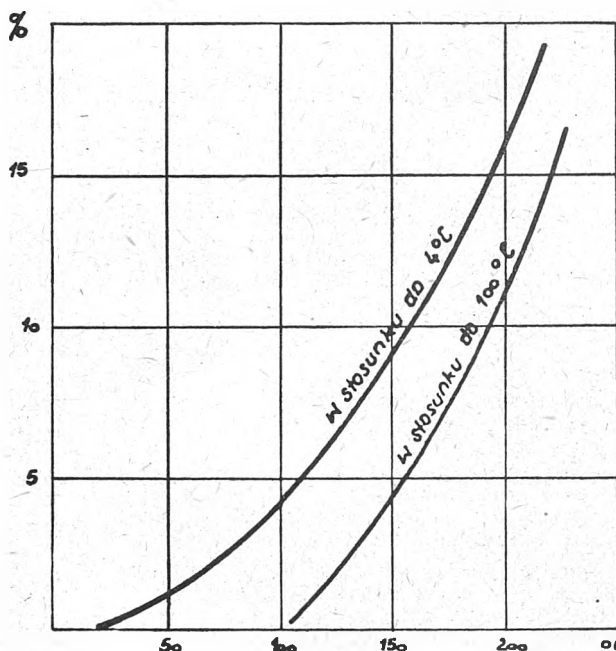
oporów rurociągu oraz dość znacznego oporu zaworu regulacyjnego (zasilającego). Ta różnica ciśnienia winna wynosić według źródeł amerykańskich:

|   |
|---|
| ok. 10 atm dla ciśnienia kotłów 21 atm, |
| „ 14 „ „ „ „ 42 „                       |
| „ 21 „ „ „ „ 84 „                       |

Według autorów niemieckich nadwyżka ciśnienia wody nad ciśnieniem koncesyjnym kotła winna być:

|                              |
|------------------------------|
| 5 atm dla ciśnień do 40 atm, |
| 15 „ „ „ 40—80 „             |
| 25 „ „ „ ponad 80 „          |

Jak widać, dane te są zgodne przy wyższych ciśnieniach. Z dostateczną dokładnością przy stosowanych obecnie pa-



Rys. 2. Procentowy wzrost objętości właściwej wody w zależności od temperatury

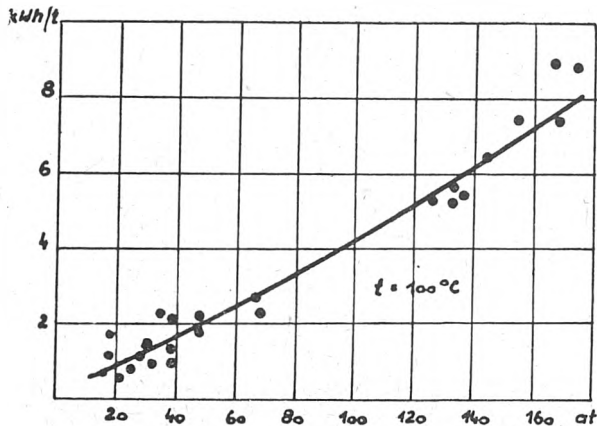


rametrach można przyjąć do obliczeń ciśnienie wody zasilającej o 20—25% wyższe od ciśnienia koncesyjnego kotła.

Sprawność pomp zasilających wynosi według źródeł amerykańskich od 65 do 80%. Autorzy niemieccy podają podobne cyfry, a mianowicie dla ciśnień od 20 do 40 atn ok. 75%, dla ciśnień najwyższych — od 125 do 150 atn — 67,5%. Zależność osiągniętych obecnie sprawności od wielkości pompy podaje wykres na rys. 1.

Ciężar właściwy wody maleje ze wzrostem temperatury, a zatem praca pompowania jest odwrotnie proporcjonalna do ciężaru właściwego albo wprost proporcjonalna do objętości właściwej, czyli rośnie i to dość szybko ze wzrostem temperatury pompowanej wody.

Rys. 2 przedstawia zależność objętości właściwej wody od temperatury, a tym samym ilustruje wzrost pracy

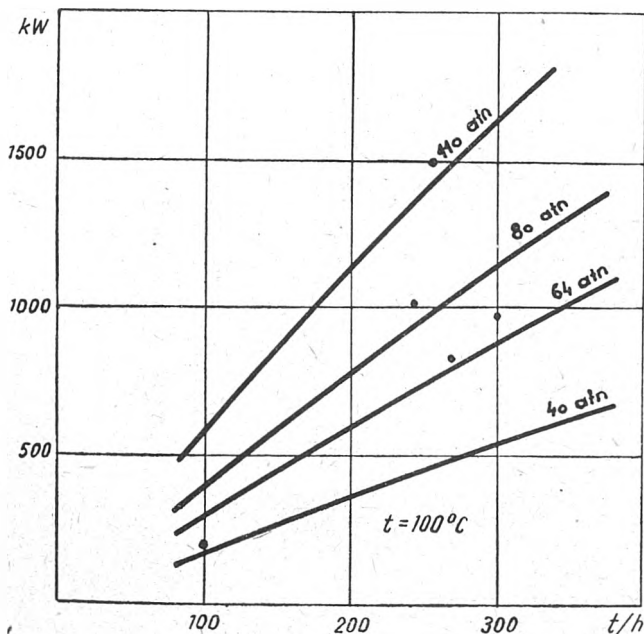


Rys. 3. Zużycie energii na pompowanie wody zasilającej w zależności od ciśnienia (Ellrich)

pompowania ze wzrostem temperatury podgrzewu przed pompą.

Sprawność wielkich silników elektrycznych wynosi ponad 90%, dochodząc przy mocach rzędu 1000 kW do 95%.

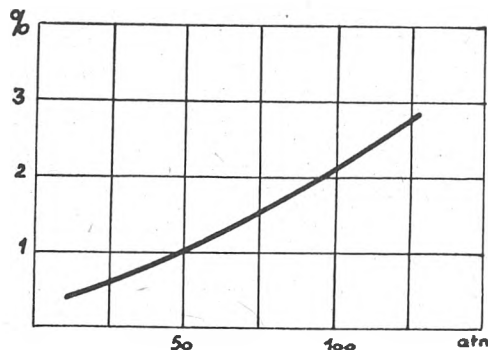
Na podstawie powyższych danych można obliczyć zużycie energii na pompowanie wody zależnie od ciśnienia, co



Rys. 4. Pobór mocy dla pomp zasilających w zależności od wydajności pompy i ciśnienia kotła

przedstawia wykres na rys. 3, wykres zaś na rys. 4 podaje moc potrzebną dla pomp zasilających w zależności od ciśnienia kotła i wydajności pompy. Założono tu temperaturę wody dopływającej do pompy 100° C.

Obecnie w większych instalacjach pompa zasilająca umieszczana jest przed ostatnim stopniem, a czasami nawet za ostatnim stopniem podgrzania i wtedy woda dopływająca do pompy ma temperaturę 135, a czasem nawet ponad 200° C. Należy wtedy przy mocach podanych na rys. 4 uwzględnić poprawkę z rys. 2, która jest poważna

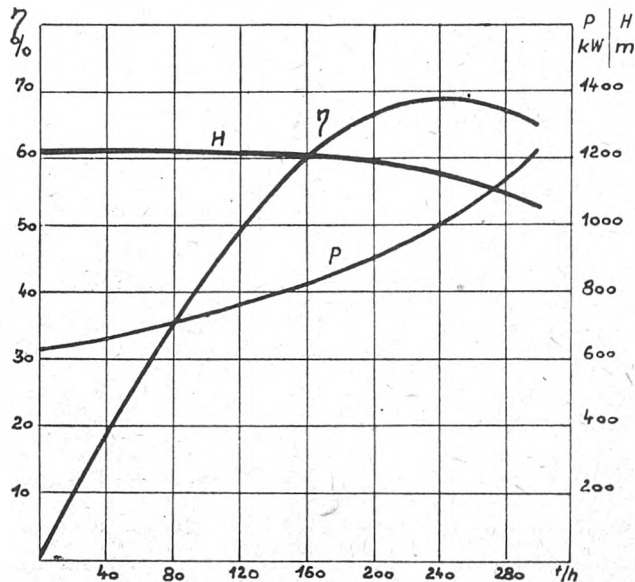


Rys. 5. Procentowe zużycie mocy elektrowni na pompowanie wody zasilającej w zależności od ciśnienia kotłów

i przy podniesieniu temperatury wody ze 100 na 200° C wynosi 11%. W tym jednak wypadku do pompy zasilającej woda dopływa pod ciśnieniem kilkunastu atmosfer, a zatem powiększenie ciśnienia dawanego przez pompę jest niższe niż całkowita wysokość podnoszenia\*), a zatem i moc jest mniejsza, natomiast wzrasta wysokość podnoszenia i moc pompy skropelinowej. Moc silnika jest zazwyczaj 10—20% wyższa od zapotrzebowania mocy.

Rys. 5 podaje zużycie mocy na pompowanie wody zasilającej zależnie od ciśnienia koncesyjnego kotłów w procentach mocy elektrowni.

Przy obliczaniu zużycia energii na pompowanie wody zasilającej należy uwzględnić jeszcze jedną poprawkę, wynikającą z tego, że pompy zasilające rzadko pracują przy swym najkorzystniejszym obciążeniu, a częściej przy 0,7 do 0,8 tego obciążenia; sprawność pompy jest wtedy o kil-



Rys. 6. Charakterystyka pompy zasilającej na  $Q = 260$  t/h,  $H = 1100$  m sł. w. przy temperaturze 135° C

kanaście procentów niższa niż sprawność najkorzystniejsza. Ilustruje to wykres podany na rys. 6. Tabl. I zawiera dane charakterystyczne różnych pomp zasilających, przewidzianych dla naszej praktyki.

\*) Całkowitą wysokością podnoszenia nazywamy algebraiczną różnicę wysokości ssania i wysokości tłoczenia.



Pompy wody chłodzącej. Pompy wody chłodzącej są w stosunku do pomp zasilających równorzędnym konsumentem energii. Tutaj procentowe zużycie energii

Tablica I. Charakterystyka pomp zasilających

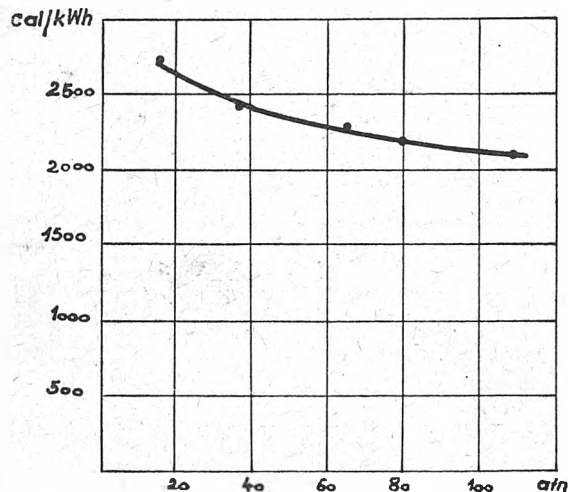
|                               |     |      |     |      |     |      |
|-------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|
| Wydaźność (t/h)               | 270 | 300  | 260 | 270  | 135 | 240  |
| Wysokość tłoczenia (m sł. w.) | 770 | 775  | 815 | 893  | 893 | 1100 |
| Temperatura wody (°C)         | 135 | 125  | 160 | 205  | 205 | 135  |
| Sprawność (%)                 | 73  | 73   | 76  | 79   | 76  | 74   |
| Pobór mocy (kW)               | 827 | 915  | 825 | 925  | 435 | 1045 |
| Moc silnika (kW)              | —   | 1100 | 920 | 1050 | 600 | 1150 |
| Nadmiar mocy silnika (%)      | —   | 20   | 12  | 13   | 26  | 10   |

nie rośnie wraz z ciśnieniem, lecz wprost przeciwnie maleje, gdyż w miarę wzrostu parametrów wskutek większego rozporządzalnego spadku ciepłika maleje zużycie

Tablica II. Charakterystyka nowoczesnych elektrowni w Polsce

| Parametry pary |     | Zużycie pary kg/kWh | Podgrzanie wody °C |
|----------------|-----|---------------------|--------------------|
| atn            | °C  |                     |                    |
| 40             | 450 | 4,37                | 165                |
| 64             | 500 | 4,08                | 190                |
| 80             | 500 | 3,98                | 205                |
| 110            | 500 | 3,98                | 215                |

pary na kWh, a równocześnie wskutek wyższego podgrzania wody coraz większa ilość pary pobierana jest z zaczepów do regeneracji, co zmniejsza ilość pary skraplanej



Rys. 7. Ilość ciepła oddawanego do skraplacza na 1 kWh w zależności od ciśnienia

w kondensatorze. Ilustruje to tablica II, odpowiadająca praktyce nowoczesnych elektrowni.

Moc potrzebną do pompowania wody chłodzącej można obliczyć na podstawie tego samego wzoru, co dla pomp za-

Tablica III. Procentowe zużycie energii na pompowanie wody chłodzącej

| Wielokrotność wody chłodzącej w stosunku do skroplin | 40      | 60      | 80      | 100     |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Wysokość podnoszenia (m)                             |         |         |         |         |
| 12   | 0,7—1   | 1 —1,3  | 1,3—1,6 | 1,6—2   |
| 18   | 1,0—1,5 | 1,5—2,0 | 2 —2,6  | 2,5—3,2 |
| 24   | 1,2—2   | 2 —2,5  | 2,5—3,2 | 3,2—4   |

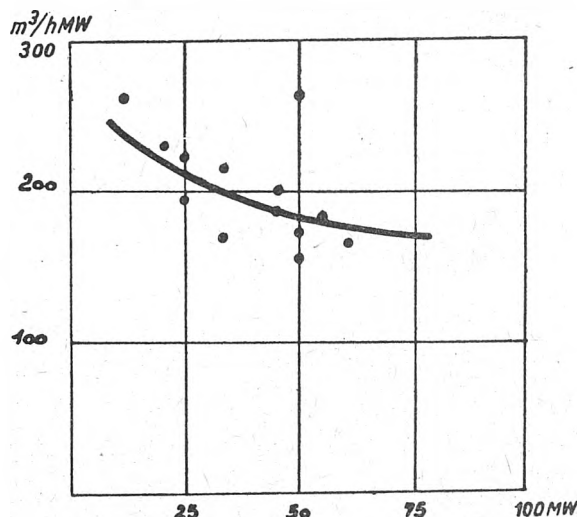
silających. Wobec jednak stosunkowo niskich temperatur wody chłodzącej ciężar właściwy wody można przyjąć = 1.

Ilość ciepła oddawanego w skraplaczu na jednostkę mocy zmienia się nieznacznie ze zmianą parametrów (rys. 7), a zatem wzrost parametrów pary nieznacznie zmniejsza procentowe zużycie energii na pompowanie wody chłodzącej. Znacznie większe znaczenie ma tu całkowita wysokość podnoszenia oraz wielokrotność wody chłodzącej w stosunku do ilości skroplin. Podaje je tabl. III wzięta ze źródeł radzieckich. Ponieważ są to przeważnie jednostopniowe pompy wolnobieżne, sprawność ich jest wysoka i według danych amerykańskich dochodzi do 85—90%.

Ilość wody dla nowoczesnych turbin wynosi 170—220 m<sup>3</sup>/MWh. Dla przybliżonych obliczeń przyjąć można 220 m<sup>3</sup>/MWh. Moc potrzebną do pompowania wyrazi się wtedy uproszczonym wzorem

$$\Pi = 0,77 H \text{ kW/MW} = \frac{H}{13} \%.$$

Moc silników napędowych pompy będą o 10 do 20% większe, ponieważ uwzględnić jeszcze należy pewną rezerwę mocy. Procentowe zużycie energii będzie także wyższe,



Rys. 8. Zużycie wody chłodzącej przez turbinę na 1h i na 1MW mocy znamionowej turbiny w zależności od wielkości jednostek turbinowych

gdyż pompy wody chłodzącej w odróżnieniu od zasilających pracują niemal z niezmienną wydajnością niezależnie od obciążenia turbiny. Jedynie w zimie przy niskich temperaturach wody ogranicza się ilość wody chłodzącej i zmniejsza się w ten sposób energię zużywaną na pompowanie. W naszych elektrowniach wysokość tłoczenia wahać się ma od 12 do 21 m, stosowane zaś zużycie wody w m<sup>3</sup> na godzinę pracy i 1 MW mocy znamionowej podaje wykres na rys. 8.

Wentylatory. Wentylatory ciągu i podmuchu stanowią dalsze poważne odbiorniki energii w elektrowni. Przy kotłach starej konstrukcji i niewielkich prędkościach przepływu spalin potrzebny był niewielki ciąg i wystarczał na ogół ciąg naturalny stosunkowo niewysokich kominów. Obecnie w dążeniu do budowy tanich małych kotłów konstruktorzy podnoszą prędkość spalin, a tym samym i stratę ciągu. Niektóre z naszych kotłów będą posiadały wentylatory ciągu dające depresje do 375 mm sł. w.

Moc potrzebną do napędu wentylatorów można obliczyć z następującego wzoru:

$$P = \frac{V \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_w \cdot \eta_s} \quad (\text{kW}),$$

gdzie  $V$  — objętość przetłaczanych gazów w m<sup>3</sup>/h,  
 $H$  — spręż w mm sł. w.,  
 $\eta_w$  — sprawność wentylatora,  
 $\eta_s$  — sprawność silnika,

przy czym  $V$  stanowi rzeczywistą objętość przetłaczanych gazów, która zależy od ciśnienia i temperatury według wzoru:

$$V = V_0 \frac{273 + t}{273} \cdot \frac{760}{b},$$

gdzie  $V_0$  oznacza objętość przy 760 mm sł. rt. i 0°C.



Ilość powietrza i spalin można dla danego kotła i obciążenia obliczyć dokładnie, znając analizę elementarną paliwa. Do wstępnego obliczenia mocy wentylatorów wystarczają przybliżone wzory Rosina i Fehlinga, podające te wielkości w zależności od wartości opalowej paliwa.

Sprawność nowoczesnych wentylatorów jest wysoka i wynosi z reguły około 60%. Jedynie starsze i niewielkie instalacje mają wentylatory o sprawności niższej, dochodzącej do 35%. Trudno jednak podać jakies ogólne reguły

Tablica IV. Zużycie energii na ciąg

| Paliwo                  | Procentowe zużycie energii |
|-------------------------|----------------------------|
| Mazut lub gaz           | 0,7–1,0%                   |
| Wysokokaloryczny węgiel | 1,0–1,5%                   |
| Paliwo odpadkowe        | 1,5–2,0%                   |

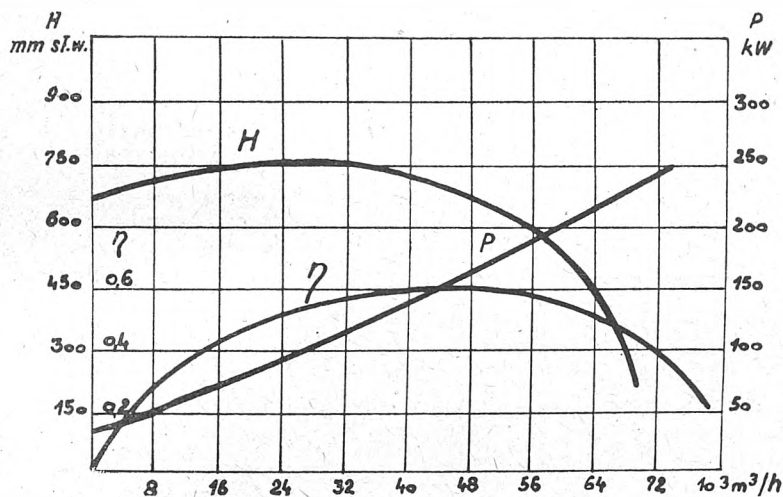
co do wielkości napędów, gdyż spręż, który mają dać wentylatory, jest wielkością zmienną w bardzo szerokich granicach zależnie od konstrukcji kotła i typu paleniska. Kotły jednociągowe mają znacznie mniejszą stratę ciągu niż

ma niewielkie znaczenie, natomiast wahania temperatur pomiędzy latem (zasysanie z wewnątrz kotłowni) i zimą (zasysanie powietrza z zewnątrz) znacznie zmieniają pobór mocy.

Obciążenie silnika wentylatora ciągu bardzo szybko zwiększa zanieczyszczenie powierzchni grzewalnej, gdyż zwiększa ono równocześnie dwa czynniki: 1) wskutek pokrywania rur, zwłaszcza powierzchni grzewalnej konwekcyjnej, narostami popiołu wzrasta opór przepływu spalin, a zatem rośnie potrzebny ciąg; 2) narosty popiołu nie tylko powiększają opór przepływu spalin, ale także pogarszają oddawanie ciepła przez spaliny, wskutek czego wzrasta temperatura spalin, a zatem i ich objętość. Wentylatory muszą mieć zatem duże zapasy zarówno pod względem napięcia, które mogą dać, jak również pod względem ilości (objętości) przetłaczanych spalin. To zaś powoduje, że pracują one przeważnie przy niepełnym obciążeniu, a zatem i przy niższej sprawności.

Tablica V daje pewną charakterystykę dzisiejszych urządzeń wentylatorowych.

Młyny. Paleniska pyłowe tak dalece przeważają nad rusztowymi dla wielkich kotłów, że można przyjąć za regułę stosowanie ich w wielkich siłowniach. To ma duże znaczenie dla potrzeb własnych, gdyż przemiał węgla po-



Rys. 9. Charakterystyka wentylatora z łopatkami odgiętymi do tyłu

kotły wielociągowe. Paleniska narożne wymagają znacznie większego ciśnienia powietrza niż np. palniki szczelinowe i płomień „U“.

Wielkości sprężu są tak różne, że choć ilość spalin (objętość rzeczywista) jest znacznie większa niż ilość powietrza potrzebnego do spalania, trudno jest określić, które wentylatory mają większe zapotrzebowanie mocy, i zdarza się, jak to już wiemy z własnej praktyki, że wentylatory powietrza mają moc o 50% większą niż wentylatory ciągu. Na ogół jednak bywa odwrotnie.

Procentowe zużycie energii do napędu wentylatorów ciągu w zależności od paliwa jest podane według źródeł radzieckich w tabl. IV.

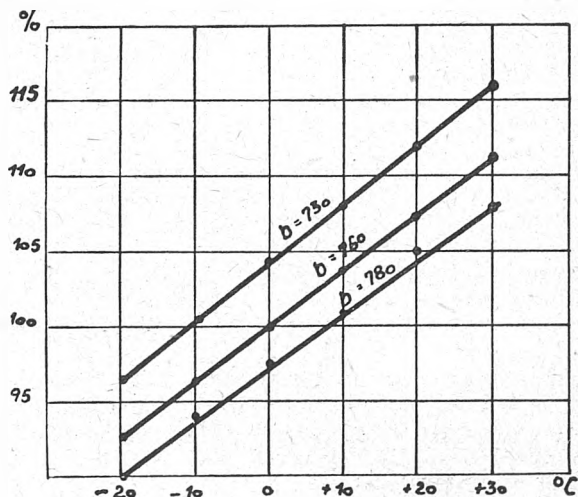
We własnej praktyce liczymy się z następującym zapotrzebowaniem mocy w procentach obciążenia szczytowego:

wentylatory ciągu 0,5–1,6%,  
wentylatory powietrza 0,5–0,9%.

Wentylatory kotłowe, podobnie jak pompy zasilające, mają obciążenie dostosowane do obciążenia kotła, jednakże zarówno ze względu na dość stromą charakterystykę sprawności (rys. 9), jak i na niską sprawność regulacji, procentowe zużycie energii silnie wzrasta ze spadkiem obciążenia, a zatem jest znacznie wyższe w siłowniach szczytowych niż w podstawowych.

Ponadto silny wpływ na pobór mocy przez wentylator ma rzeczywista objętość przetłaczanych gazów. Jak to wynika z wykresu na rys. 10, dla powietrza wahanie ciśnienia barometrycznego w spotykanych u nas granicach

chłania znaczne ilości energii, a ponadto kotły pyłowe są bardziej wrażliwe od rusztowych na przerwanie dopływu paliwa.



Rys. 10. Procentowe zmiany poboru mocy dla wentylatora powietrza w zależności od temperatury i ciśnienia powietrza

Jednostkowe zużycie energii na przemiał zależy przede wszystkim od jakości węgla, jakości przemiału oraz kon-



strukcji młyna, a więc bywa różne. Na przykład w młynach Kremera (wyrobu firmy Frenkel i Fibach) wynosi ono:

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| dla węgla brunatnego         | 5 kWh/t |
| „ półkoku z węgla brunatnego | 8 „     |
| „ półkoku z brykietów        | 10,5 „  |
| „ pyłu węgla płomiennego     | 10,5 „  |
| „ szlamu płomiennego         | 10,5 „  |
| „ mialu płomiennego          | 14,5 „  |
| „ półproduktu płomiennego    | 14,5 „  |

Należy tu wziąć pod uwagę, że potrzebna mialność materiału jest zależna od szeregu czynników, przede wszystkim jednak od rodzaju węgla, i przyjęta jest zasada, że dla

Nawęglanie wymaga 0,02—0,5% mocy, przy czym górne cyfry odpowiadają elektrowniom posiadającym młynownię centralną i pneumatyczny transport pyłu.

Odpopielanie pochłania od 0,08 do 0,3% mocy zależnie od systemu, odległości odtransportowania i ilości popiołu.

Wreszcie różne pompy wody ogólnego użytku (chłodzenie łożysk itp.), pompy i urządzenia do przygotowywania wody, kompresory, dźwigi, warsztaty, oświetlenie itp. zużywają od 0,2 do 0,6% mocy, zależnie od rodzaju wymienionych urządzeń do wody, od sposobu zdmuchiwanie popiołu itp.

Ogólne zużycie mocy potrzeb własnych. Jeżeli zsumować podane liczby zużycia mocy przez różne

Tablica V. Dane nowoczesnych wentylatorów ciągu i powietrza z polskiej praktyki

| Parametry (atm/°C)<br>Wydajność kotła (t/h)<br>Palenisko | 40/450<br>80/100<br>narożne | 64/500<br>70/79<br>boczne | 64/500<br>80/100<br>narożne | 64/500<br>105/130<br>żużel płynny<br>osiowe wentylatory | 80/500<br>105/130<br>narożne | 110/500<br>230<br>narożne |
|--|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|---------------------------|
| <b>Wentylatory ciągu</b>                                 |                             |                           |                             |   |                              |                           |
| Ilość spalin (m <sup>3</sup> /sek.)                      | 2×38                        | 41,6                      | 2×30                        | 2×34  | 93,8                         | 2×83,3                    |
| Spręż (mm sł. w.)  | 220                         | 240                       | 125                         | 126   | 151                          | 400                       |
| Sprawność (%)  | 55                          | 63                        | 62                          | 72  | 62                           |                           |
| Pobór mocy (kW)  | 2×136                       | 159                       | 2×60                        | 2×58  | 225                          |                           |
| Moc silnika (kW)   | 2×180                       | 190                       | 2×102                       | 2×65  | 290                          | 2×630                     |
| Nadmiar mocy (%)   | 33                          | 20                        | 70                          | 12  | 30                           |                           |
| <b>Wentylatory powietrza</b>                             |                             |                           |                             |   |                              |                           |
| Ilość powietrza (m <sup>3</sup> /sek.)                   | 2×22                        |                           | 2×16                        | 2×20  | 2×21,5                       | 2×36                      |
| Spręż (mm sł. w.)  | 200                         |                           | 420                         | 220   | 400                          | 460                       |
| Sprawność (%)  | 56                          |                           | 65                          | 74  | 60                           |                           |
| Pobór mocy (kW)  | 2×77                        |                           | 2×102                       | 2×59  | 2×140                        |                           |
| Moc silnika (kW)   | 2×100                       |                           | 2×160                       | 2×65  | 2×190                        | 2×340                     |
| Nadmiar mocy silnika (%)                                 | 30                          |                           | 60                          | 10  | 35                           |                           |

większości palenisk przemiał winien być taki, aby pozostałość na sicie DIN nr 70 była równa procentowej zawartości części lotnych w paliwie.

Zużycie energii zależy w końcu od typu młyna. Młyny kulowe z międzybunkrowaniem, posiadające długie przewody, separatory, cyklony mają zużycie energii o 50% większe niż młyny indywidualne bezpośrednio podające pył do paleniska.

Ponieważ w naszych warunkach węgiel jest w ogromnej większości kamienny o zawartości części lotnych około 30%, twardość (łatwość mielenia) dla poszczególnych gatunków różni się stosunkowo niewiele, można z dostateczną dla obliczeń potrzeb własnych dokładnością przyjąć, że przy młynach kulowych z międzybunkrowaniem zużycie energii na przemiał wynosi 20—30 kWh/t, dla młynów indywidualnych bezpośrednio podających pył do paleniska 14 do 17 kWh/t.

Ze względu na większe koszty budowy i ruchu młyny kulowe stosuje się przy paliwie trudno mielącym się jak antracyt, koksik lub węgiel o dużej zawartości pirytów, oraz przy bardzo dużych jednostkach kotłowych, gdzie wypadłaby zbyt duża liczba młynów innego typu. Według źródeł radzieckich zużycie energii na przemiał wraz z nawęglaniem wynosi w procentach od produkcji energii:

1,5—2,0% przy młynach kulowych i pyłu antracytowym jako paliwie,  
2,0—3,0% przy młynach bijakowych i węgla podmoskiewskim,

natomiast przy paleniskach rusztowych zużycie energii na nawęglanie i napęd rusztów wynosi 0,2—0,3%.

Dla przeważnej ilości naszych paliw, tzn. mialu węgla kamiennego o wartości opałowej 4000—6000 cal/kg, wielkości te są następujące:

1—1,5% przy młynach indywidualnych,  
1,5—2% przy młynach kulowych.

Różne napędy. Poza wyżej wymienionymi istnieje w każdej elektrowni jeszcze wiele innych odbiorników energii, które mają jednak mniejszy udział w całości potrzeb własnych.

urządzenia, otrzymamy ogólne zużycie mocy na potrzeby własne. W naszych obecnych warunkach przedstawia się ono jak następuje:

|                       |                           |   |
|-----------------------|---------------------------|---|
| nawęglanie            | 0,02 ÷ 0,5%               | (większe liczby dotyczą młynowni centralnej z pneumatycznym transportem pyłu) |
| odpopielanie młyny    | 0,08 ÷ 0,3%<br>1,0 ÷ 2,0% | (zależnie od typu młyna i rodzaju węgla)                                      |
| wentylatory ciągu     | 0,5 ÷ 1,6%                | (zależnie od konstrukcji kotła)   |
| wentylatory powietrza | 0,5 ÷ 1,9%                |   |
| pompy zasilające      | 0,8 ÷ 2,3%                | (zależnie od ciśnienia)   |
| razem                 |                           |   |
| kotłownie             | 2,9 ÷ 8,6%                |   |
| pompy wody chłodzącej | 1,2 ÷ 2,5%                |   |
| inne napędy           | 0,2 ÷ 0,6%                |   |
|                       | 4,3 ÷ 11,7%               |   |

Ponieważ trudno przypuścić, aby w jednym konkretnym wypadku wszystkie te cyfry były na granicznym najwyższym lub najniższym poziomie, należy przyjąć, że w praktyce potrzeby własne pochłona 5 do 9% mocy elektrowni.

Moc instalowana silników potrzeb własnych stanowi znacznie wyższy procent mocy instalowanej elektrowni. Np. pewna nowoczesna siłownia o mocy 300 MW posiadać będzie w silnikach ogółem 42 MW czyli 14% mocy elektrowni; z tego pracować będzie równocześnie ok. 33 MW. Dla tych silników można przyjąć średni współczynnik obciążenia 0,8, co daje 26,4 MW czyli 8,8% mocy instalowanej załadunku.

Oczywiście, nie wszystkie silniki muszą pracować w momencie szczytowego obciążenia elektrowni. W omówionym przykładzie zastosowano młyny kulowe z pośrednim bunkrowaniem pyłu. Obciążenie młynów wraz z wentylatorem wynosi ponad 5 MW. Napełnienie zbiorników pyłu w godzinach małego obciążenia i zatrzymanie młynów na czas



szczytu odejczy potrzeby własne, a zatem zwiększy oddawaną moc elektrowni o 5 MW.

### 3. Podział napędów potrzeb własnych pod względem ich ważności, a jednocześnie wrażliwości na przerwy w działaniu.

Przy ocenie napędów potrzeb własnych ważniejszych należy brać pod uwagę wpływ wyłączenia tych napędów na ruch siłowni. Postęp techniki spowodował wiele zmian w tej dziedzinie, zmniejszając wrażliwość jednych napędów, a zwiększając wrażliwość innych. Na przykład zastosowanie palenisk na pył węglowy zwiększyło wrażliwość napędów wentylatorów i przydzielaczy paliwa, gdyż kilkunastosekundowe ich zatrzymanie powoduje wygaszenie kotła i zupełne przerwanie produkcji pary tak, że brakuje jej nawet do napędów pomocniczych. Z drugiej strony szybko wygasające paleniska pyłowe i kotły o małej pojemności cieplnej zmniejszyły wielkość potrzebnej rezerwy w pompach zasilających, co znalazło odbicie w nowych radzieckich przepisach, dotyczących wielkości tych pomp.

Pod względem wrażliwości napędów rozróżnić możemy trzy kategorie.

Pierwszą kategorię stanowią napędy bardzo wrażliwe, których kilkunastosekundowe zatrzymanie powoduje wypadnięcie z ruchu ważnego elementu siłowni i zmniejszenie oddawanej mocy.

Do drugiej kategorii należą napędy, pozwalające na kilku- lub nawet kilkunastominutowe zatrzymanie, w którym to czasie można uruchomić urządzenie rezerwowe.

Napędy należące do trzeciej kategorii można wyłączyć na wiele godzin dla dokonania niezbędnych napraw silników, czy urządzeń przez nie napędzanych. Przez ten czas ruch np. czerpie węgiel czy wodę z zapasów; mogą to być również napędy niezwiązane z ruchem, które można wyłączyć bez zakłóceń ruchowych.

Do kategorii I należą napędy:  
przydzielaczy węgla do młynów bezpośrednich, młynów bezpośrednich, przydzielaczy pyłu przy zastosowaniu bunkrowania pyłu, wentylatorów powietrza pierwotnego i wtórnego przy paleniskach na pył węglowy, wentylatorów ciągu, pomp przewałowych kotłów z wymuszonym obiegiem, pomp zasilających kotłów przepływowych, pomp wody chłodzącej, wzbudnic (jeżeli nie są na wale turbozespołu), pomp próżniowych.

Należy tu także zaliczyć oświetlenie specjalne (na wypadek zakłócenia ruchu) oraz napędy zdalne urządzeń elektrycznych.

Do kategorii II należą napędy:  
pomp zasilających kotły z naturalnym lub wymuszonym obiegiem, podgrzewaczy Ljungströma, pomp skroplinowych i podgrzewaczowych, pomp wody chłodzącej łożyska, pomp olejowych obiegowych przy transformatorach, rusztów kotłowych.

Do kategorii III należą napędy:  
urządzeń nawęglających, urządzeń do odpopielania i odpylania, pomp i urządzeń do przygotowania wody, pomp wyparkowych, młynów, jeżeli zastosowano pośrednie bunkrowanie pyłu, zasuw, przetwornic do ładowania akumulatorów, wind i suwnic, kompresorów ogólnego zastosowania, warsztatów.

Napędy najwrażliwsze należy zabezpieczyć przed całkowitym wyłączeniem. To też pożądanym jest, aby napędy te były dublowane (oba równocześnie w ruchu) i tak obliczone, aby po wypadnięciu z ruchu jednego urządzenia drugie zapewniało co najmniej 60% obciążenia podstawowej jednostki kotła czy turbiny. Silniki nie powinny mieć

zabezpieczeń zanikowych; najlepiej nadają się tu silniki zwarte, które nawet po znacznym spadku obrotów przy chwilowym wyłączeniu ruszają natychmiast same po przywróceniu napięcia. Jak widać z podanych wyżej tablic, te najczulsze napędy są obecnie z reguły dublowane.

Przy wypadnięciu napędu drugiej kategorii wyszkolona obsługa ma czas na uruchomienie rezerwy. Jednakże i tu jest pożądanym, aby stosowane były silniki zwarte nie posiadające zabezpieczeń zanikowych.

Dłuższe nawet wyłączenie napędu trzeciej kategorii nie powoduje zaburzeń w wytwarzaniu energii.

### 4. Wybór napędu.

Rodzaje napędów. Wielkość mocy potrzebnej do napędu, jego wrażliwość na wyłączenie, potrzebny zakres regulacji, liczba godzin pracy w roku i wreszcie miejsce, gdzie jest on umieszczony, decydowały i decydują obecnie o rodzaju napędu. Bardzo małe moce wykluczają napęd turbinowy, bardzo wielkie natomiast nie pozwalają na zasilanie silnika z akumulatorów. Wymaganie regulacji w szerokim zakresie przy średnich mocach narzuca zastosowanie silników prądu stałego lub kolektorowych prądu zmiennego itp. To też zależnie od wyżej wymienionych względów wypada zdecydować się na rodzaj napędu:

elektryczny czy parowy,  
niskie czy wysokie napięcie,  
silnik zwarty, pierścieniowy czy kolektorowy,  
prąd zmienny czy stały,  
oraz na układ połączeń zasilania.

Napęd parowy. Do niedawna napęd parowy uważany był za najpewniejszy i wszelkie wrażliwe napędy były wyposażone w turbinki parowe nawet wtedy, gdy normalny napęd stanowił silnik elektryczny. To było zrozumiałe w urządzeniach potrzeb własnych starego systemu.

Silniki stosowano prawie wyłącznie pierścieniowe, zaopatrzone w przekaźniki zanikowe. Potrzeby własne zasilane były z reguły z szyn głównych elektrowni przeważnie o napięciu generatorowym 6 kV. Z tych szyn odchodziła większość linii do zasilania odbiorców. Nieuniknione w rozgałęzionych sieciach zakłócenia odbijały się na szynach rozdzielni, powodując zależnie od rozmiarów i odległości większe lub mniejsze wahania napięcia, które z kolei powodowały działanie przekaźników zanikowych i wyłączanie większości silników. W tych warunkach źródło energii elektrycznej nie dawało należytego stopnia pewności zasilania. Znacznie większą pewność wykazywało zasilanie parą turbin, wobec czego wrażliwsze ważniejsze napędy posiadały z reguły rezerwę w postaci turbinki parowej. W rachubę wchodził napęd pompy zasilającej oraz zespołu kondensacyjnego obejmującego zazwyczaj jedną z dwóch pomp wody chłodzącej, pompę skroplinową oraz próżniową względnie strumieniową. W razie zakłócenia na szynach potrzeb własnych, gdy silniki zostały wyłączone, turbinki parowe przejmowały napęd i turbopompy zasilają kotły, a turbinki pomocnicze turbozespołów utrzymywały w ruchu turbinę. Para do ich napędu była zapewniona, gdyż przy starszych kotłach naturalny ciąg nawet niewysokiego komina wystarczał do utrzymania w ruchu kotła przy niewielkim obciążeniu, a gruba warstwa paliwa znajdująca się na ruszcie wystarczała na kilka czy kilkanaście minut ograniczonego ruchu kotła. Zresztą niewielkie silniki napędu rusztu były niejednokrotnie zasilane z akumulatorów, a w razie potrzeby można było powoli posuwać ruszt za pomocą ręcznych korb nałożonych na czworokątny koniec wału ślimaka napędu rusztowego. W tych warunkach napęd turbinką parową był rzeczywiście niezawodny.

Stosunki te uległy jednak zupełnej zmianie w miarę postępu techniki urządzeń energetycznych. Podwyższenie prędkości przepływu spalin spowodowało wprawdzie potanie kotła, ale równocześnie tak zwiększyło opory, że najwyższy komin nie może zapewnić dostatecznego ciągu, który w najnowszych naszych kotłach dochodzi do kilkuset milimetrów. Zastosowanie palenisk pyłowych podniosło wprawdzie zarówno sprawność, jak i elastyczność kotła, jednakże w razie przerwania dopływu paliwa do paleniska kocioł natychmiast wygasa. W tych warunkach turbinki pomocnicze straciły dawną niezawodność. W razie bowiem zaburzenia na szynach potrzeb własnych — jeżeli zostaną pozbowione dopływu energii silniki wentylatorów i młynów — kocioł w ciągu kilkunastu sekund przestaje zasilac parą



turbinki, a więc z kolei stają i one. Aby mieć kompletną rezerwę należałoby wszystkie większe silniki kotła zaopatrzyć w napędy turbinowe, a mniejsze zasilać w trybie rezerwy prądem stałym z baterii akumulatorów.

Próby w tym kierunku były czynione i w jednej elektrowni niemieckiej wentylatory ciągu i powietrza umieszczone zostały na jednym wale i napędzane dwiema turbinkami. Jedna z nich przerabia całą parę wytwarzaną przez kocioł przy temperaturze 490° C i spadku ciśnienia ze 105—108 atn na 100 atn oraz dawała ok. 80% potrzebnej do napędu mocy, przy czym moc oddawana — proporcjonalna do obciążenia kotła — była również proporcjonalna do obciążenia wentylatorów. Resztę mocy i regulację dokładną dawała druga turbinka przeciwwprężna pracująca na spadku ciśnień z 20 na 4,5 atn. Tego rodzaju rozwiązania stanowią wyjątek i obecne tendencje w budowie elektrowni wskazują na zwiększenie pewności dostawy energii do napędów elektrycznych.

Przeciw napędowi parowemu przemawia obecnie nie tylko niepewność zasilania parą w wypadku zaburzeń na szynach potrzeb własnych, ale również rosnące koszty inwestycyjne i komplikacje ruchowe. Turbinki mocy paruset kilowatów były niezbyt drogie przy średnich ciśnieniach i miały znośną sprawność. W miarę jednak wzrostu parametrów koszt tych maszyn, jak również i rurociągów doprowadzających do nich parę, zaczął szybko wzrastać. Równocześnie zmniejszała się ich sprawność wskutek za małego przełyku przy wysokich ciśnieniach. To też napęd parowy staje się coraz rzadszy i regułą się staje wyłączanie elektryczny napęd pomp kondensacji turbin, a nawet zdarza się, że pompy zasilające wyposażone są w napęd wyłącznie elektryczny.

Rzecz jasna, że i obecnie napędy turbinowe nie są w zupełności wyrugowane. Według radzieckich wytycznych projektowania w wypadku elektrowni niepowiązanych z innymi pobliskimi zakładami przynajmniej jeden zespół winien mieć parowy napęd kondensacji.

Poza tym przy zastosowaniu średnich ciśnień i przy niskim czasie użytkowania może się okazać, że napęd parowy jest ekonomiczniejszy od elektrycznego. Takie warunki występują w elektrowniach szczytowych, gdzie napęd parowy ma jeszcze tę przewagę nad elektrycznym, że przy silnie zmieniającym się obciążeniu pozwala na ekonomiczne regulowanie wydajności pomp przez zmianę obrotów turbinki. Napęd parowy spotyka się poza tym jeszcze tam, gdzie para wylotowa turbin ma zastosowanie do celów grzejących. Mimo to chętniej jest stosowany napęd elektryczny, gdyż daje on większą swobodę w ustawianiu silnika, większą gotowość do pracy, szybsze uruchomienie, a zwłaszcza łatwość zdalnego uruchomienia.

Prąd stały czy zmienny. Ze względu na prostotę, taniść, dużą sprawność i łatwą obsługę silników trójfazowych w ogromnej większości przypadków stosuje się prąd trójfazowy. Prąd stały stosuje się do niewielkich napędów wymagających regulacji w szerokim zakresie i wtedy wchodzi w rachubę silniki bocznikowe. Czasami ze względu na łatwą regulację — zwłaszcza przy regulacji samoczynnej — stosowany bywa układ Leonarda. Prąd stały ma również zastosowanie tam, gdzie wymagana jest jak największa pewność ruchu, a moce nie są zbyt duże. Rezerwowym źródłem energii jest wtedy bateria akumulatorów. Tego rodzaju układ służy do zasilania napędów zdalnych urządzeń elektrycznych, przekaźników oraz oświetlenia rezerwowego na wypadek zakłóceń w ruchu.

Zdarzają się jednak przypadki, że i poważne napędy bywają zasilane prądem stałym. W nowoczesnej elektrowni Willesden w Londynie nowy wysokoprężny (100 atn) turbosespół posiada na wale generatory własnego użytku na prąd zmienny i stały, a wielkie nawet silniki wymagające regulacji obrotów są na prąd stały. Między innymi silnikiem prądu stałego napędzana jest tłokowa pompa zasilająca kotły 100-atmosferowe.

Typ silników. Poza kolektorowymi silnikami prądu stałego do napędu niektórych urządzeń, wymagających regulacji w szerokich granicach, stosowane są kolektorowe silniki prądu zmiennego. Zastosowanie ich jest jednak ograniczone ze względu na parokrotnie wyższą cenę w stosunku do silników zwartych, trudniejszą obsługę i większe koszty eksploatacyjne z uwagi na kolektor i szeczotki. To też tam, gdzie nie potrzeba tak dokładnej i ciągłej regulacji, chętniej bywają stosowane prostsze i tańsze silniki pierścien-

niowe z regulacją oporami w obwodzie wirnika. Jednakże ten sposób regulacji jest też zarzucający.

Wydajność pomp jest regulowana prawie wyłącznie przez dławienie, a wydajność wentylatorów za pomocą przestawiania łopatek kierownicy. Natomiast coraz szersze zastosowanie znajduje silnik zwarty i to do największych mocy. Poza taniością, dużą sprawnością i prostotą budowy jego wielką zaletą jest łatwość uruchamiania, co jest szczególnie cenne wobec rozpowszechniającego się zdalnego sterowania i zdalnego uruchamiania wszelkich urządzeń pomocniczych. Również wielką zaletą silników zwartych jest to, że nie wymagają one ochrony zanikowej i w razie zatrzymania wskutek zaniku napięcia ruszają same z chwilą przywrócenia napięcia. Oczywiście, zasilanie musi być obliczone na zwiększony prąd rozruchu wszystkich ruszających równocześnie silników.

Sprawa regulacji — jako zagadnienie szerokie — musi być omówiona oddzielnie.

Silniki potrzeb własnych pracują w elektrowniach w bardzo niekorzystnych warunkach, zwłaszcza w kotłowni, gdzie często jest dużo kurzu, a zawsze wyższa temperatura w pobliżu kotła. To też chłodzeniu silników poświęcono wiele uwagi. Wielkie silniki mają obecnie chłodzenie rozwiązane podobnie jak generatory. Jednym ze sposobów jest zasysanie z zewnątrz zimnego powietrza poprzez filtr, przetłaczanie go przez silnik i wydmuchiwanie innym kanałem na zewnątrz. To rozwiązanie nie zawsze da się przeprowadzić, gdyż w wielkich skupionych blokach budynków elektrowni doprowadzenie kanałami powietrza z zewnątrz do silnika może być kłopotliwe i wymagać długich kosztownych kanałów. Wtedy może być zastosowany inny sposób, polegający na chłodzeniu silnika powietrzem w obiegu zamkniętym chłodzonym chłodziwą wodną. Takie chłodzenie gwarantuje utrzymanie w czystości uzwojenia, uniezależnia silnik od temperatury otoczenia, czyni go natomiast zależnym od dopływu wody chłodzącej, nie należy jednak zapominać, że wiele wentylatorów i pomp posiada również łożyska lub chłodziwa oleju chłodzone wodą, a zatem są one i tak uzależnione od dopływu wody. Mniejsze silniki są wykonywane przeważnie jako zamknięte z chłodzeniem powietrznym. W tych zaś miejscach, gdzie sąsiadujące z silnikami urządzenia bardzo podnoszą temperaturę otoczenia, stosowane są silniki z izolacją odporną na wysokie temperatury, a więc z włókna szklanego nasyconego lakierami sylikonowymi.

Napięcie potrzeb własnych. Dla silników napędowych prądu stałego, jak i dla małych silników prądu zmiennego stosuje się napięcie 220 V. Dla większych silników prądu zmiennego do mocy ok. 100 kW stosuje się niskie napięcie 380 lub 500 V, dla dużych zaś silników napięcie wysokie 2, 3 lub 6 kV. Sprawa wyboru napięcia jest w wielu krajach dotąd gorąco dyskutowana, między innymi i u nas.

W krajach anglosaskich wobec istnienia tam napięcia znormalizowanego 2300 V stosowane jest to napięcie dla większych silników.

W Związku Radzieckim sprawa ta była szczegółowo studiowana i rezultaty prac wykazały, że najbardziej ekonomiczne byłoby napięcie pomiędzy 1000 a 2000 V. To też przyjęto tam zasadę, że w siłowniach, w których 6 kV jest napięciem generatora, stosuje się to napięcie dla silników ponad 100 kW. Tam zaś, gdzie napięcie generatora nie jest 6 kV (przy większych maszynach przeważnie 10,5 kV), przyjęto dla silników większych od 60 kW napięcie 3 kV. Jako napięcie niskie uznano 500 V.

Przyjęte u nas napięcie wysokie 6 kV nawet tam, gdzie nie jest ono napięciem generatora, wydaje się uzasadnione tylko faktem, że jest to napięcie znormalizowane. Silniki na 6 kV w stosunku do silników na napięcie 3 kV mają niższą sprawność, są droższe i mają mniejszą pewność ruchu, gdyż w obecnych warunkach jest to napięcie szczytowe dla silników tej mocy, które się w większości spotyka w elektrowni. Ten zaś ostatni czynnik jest szczególnie ważny. Nie bez znaczenia jest też fakt, że uzwojenia silników na napięcie 3 kV muszą być tylko lakierowane i mogą być w razie potrzeby naprawy wykonane w każdym warsztacie większej elektrowni, natomiast „kompaundowane“ uzwojenia silników 6-kilowoltowych mogą być wykonane jedynie w przystosowanym do tego zakładzie.

Wadą napięcia 3 kV jest to, że w naszych warunkach stosować trzeba tę samą aparaturę co dla 6 kV, ponieważ

zaś moc wyłączalna zmienia się z grubsza powiększając odwrotnie proporcjonalnie do napięcia, więc przy 3 kV dla tych samych mocy zwarcia trzeba dawać aparaturę na 2-krotnie wyższą moc nominalną niż przy 6 kV.

##### 5. Zasilanie potrzeb własnych.

Od wielu lat wszelkie napędy elektrowni są przyłączane do wyodrębnionych rozdzielni wysokiego i niskiego napięcia — do rozdzielni potrzeb własnych. Sposób podziału tych rozdzielni na grupy, odpowiadające poszczególnym blokom czy zespołom jednorodnych urządzeń, jak kotłownie czy nawęglanie, następnie sposób zasilania ich jest różny. Istnieją cztery zasadnicze sposoby zasilania potrzeb własnych i rozmaite rozwiązania tego problemu stanowią jedynie różne kombinacje tych zasadniczych sposobów.

Zasilanie z szyn głównych. Najprostsze i najdawniej stosowane jest zasilanie z szyn głównych elektrowni bezpośrednio, przez dławiki czy transformatory. Nakłady inwestycyjne, koszty utrzymania i koszty ruchu są niskie. Jednakże wtedy również bardzo mała jest pewność ruchu, gdyż wszelkie zaburzenia dochodzące z sieci do szyn głównych odbijają się na zasilaniu potrzeb własnych. Szczególnie dawało się tu odczuwać w starych elektrowniach, zasilających pobliskich odbiorców wprost na napięciu generatorowym. Wszelkie zaburzenia wywoływały duże spadki napięcia, które z kolei powodowały działanie przekaźników zanikowych i wyłączanie silników.

Turbina własnego użytku. Różnego rodzaju zakłócenia ruchu skłoniły projektujących elektrownie do wyodrębnienia i zupełnego izolowania potrzeb własnych od rozdzielni głównej. Zasilanie przejmują specjalny turboszpół własnego użytku. Takie rozwiązanie zasilania potrzeb własnych jest najdroższe zarówno pod względem nakładów inwestycyjnych, jak kosztów utrzymania i ruchu. Schemat cieplny zakładu komplikuje się, trudno zastosować układ blokowy, jednakże pewność zasilania jest duża. Potrzeby własne nie są narażone na zaburzenia sieciowe, czy głównej rozdzielni. To też wielkie elektrownie budowane w trzecim, a nawet czwartym dziesięcioleciu były wyposażone przeważnie w turbiny własnego użytku (turbiny „domowe“).

W miarę jednak postępu technicznego turboszpół własnego użytku zaczął dawać coraz mniej korzyści, a jednocześnie wykazywać coraz więcej stron ujemnych. W miarę wzrostu ciśnienia małe turbiny własnego użytku stawały się coraz mniej ekonomiczne w ruchu, rozpowszechnienie zaś układu blokowego stworzyło nowe trudności przy usiłowaniu wkomponowania tej turbiny w zwarty schemat cieplny bloku.

Powstało szereg rozwiązań raczej teoretycznych, które włączyły turbinę własnego użytku w schemat cieplny elektrowni, przy czym turbina zasilana była parą średniego ciśnienia, a para wylotowa stosowana była do podgrzewania wody. Takie układy są na ogół bardzo skomplikowane, a zatem mało pewne w ruchu czyli podważające główną podstawę zastosowania turbin własnego użytku.

Generator własnego użytku. Pojawienie się wyżej wspomnianych trudności spowodowało powstanie nowego rozwiązania w postaci generatora własnych potrzeb, umieszczonego na jednym wale z generatorem głównym. Tutaj nakłady inwestycyjne są mniejsze niż poprzednio, jednakże dość duże. Unika się natomiast komplikacji po stronie cieplnej i koszty ruchu oraz utrzymania są niewielkie. Pewność zasilania jest duża i podobnie jak poprzednio układ jest niewrażliwy na zaburzenia dochodzące do rozdzielni głównej. Poza tym przy wysokim obecnie napięciu generatora — 10,5 kV i więcej — generator własnego użytku ma tę jeszcze zaletę, że daje energię przy wysokim napięciu przyjętym dla silników, a zatem czyni zbędną transformację. Wadami tego rozwiązania są trudności regulacji obciążenia generatorów własnego użytku, gdy generatory główne pracują równolegle. Poza tym długość zespołu większa się bardzo przez dodanie generatora własnego użytku i jego wzbudnicy.

Zarówno turboszpół własnego użytku jak i generator własnego użytku utraciły znaczenie z rozpowszechnieniem wielkich silników zwartych, ruszających przy pełnym napięciu i niezaopatrzonych w ochronę zanikową. Takie silniki są znacznie mniej wrażliwe na krótkotrwałe zaburzenia, czy nawet na chwilowy całkowity zanik napięcia, gdyż po przywróceniu napięcia same ruszają, pobierają jednak

duży prąd rozruchowy, który jest niejednokrotnie nie do zniesienia dla stosunkowo małych generatorów własnego użytku.

Z wyłuszczonej wyżej względów turboszpół własnego użytku stają się coraz rzadsze. W stopniowo rozbudowywanych zakładach rolę tę obejmuje zwykle jedna ze starszych mniejszych maszyn. W nowych elektrowniach spotyka się je przeważnie tam, gdzie ze względu na ciepłownictwo korzystne jest zainstalowanie niewielkiego zespołu przeciwprężnego. Generatory własnego użytku są jeszcze dość rozpowszechnione na zachodzie, a zwłaszcza w Anglii.

Zaczepek z szyn generatora. W nowych zakładach jednak dominujące znaczenie zdobywa nowy system zasilania potrzeb własnych, a mianowicie z zaczepek z szyn generatora. Nakłady inwestycyjne są niewielkie, koszty ruchu i utrzymania również nieznaczne, jednakże i pewność ruchu mniejsza niż poprzednio. Pobieranie energii odbywa się za pomocą zaczepek z szyn generatora pomiędzy generatorem a transformatorem blokowym. Wszelkie zaburzenia dochodzące do szyn głównych odbijają się na potrzebach własnych, aczkolwiek są nieco tłumione przez transformator blokowy. W razie natomiast odłączenia generatora od szyn potrzeby własne zasilane są nadal i to jest najistotniejsze, gdyż, jak już wspomniano, obecnie stosowane silniki zwarte nie są wrażliwe na wahania, a nawet chwilowy zanik napięcia.

Zarówno generator własnego użytku, jak i zaczepek z szyn generatora szczególnie nadają się dla układu blokowego. Wszelkie silniki danego bloku zasilane są z jednego odrębnego źródła. Należy jednak znaleźć zasilanie dla potrzeb ogólnozakładowych, jak nawęglanie, przygotowanie wody, warsztaty itp. Ta sprawa dotyczy nie sposobu zasilania, lecz raczej zastosowanego układu połączeń, sposobu podziału całości zasilania na szereg rozdzielni.

##### 6. Układy połączeń.

Zasilanie równoczesne z kilku źródeł. W praktyce niezmiernie rzadko stosuje się wyłącznie jeden sposób zasilania potrzeb własnych; przeważnie stosuje się różne kombinacje wyżej omawianych sposobów i to w różnych układach połączeń.

Najczęściej spotyka się połączenie: 1) zasilania z turbiny lub generatora własnego użytku, bądź też z zaczepek generatora i 2) zasilania z szyn głównych. Przy tym w elektrowniach o układzie połączeń kolektorowym, tzn. gdzie kotły pracują na wspólny kolektor parowy, z którego zasilane są turbiny, kombinacje zasilania są dokonane w ten sposób, że odbiory wrażliwsze są przyłączone do pewniejszego źródła, natomiast odbiory mniej wrażliwe i luźniej związane z ruchem są zasilane z szyn głównych (rys. 14). Jeżeli elektrownia ma układ połączeń blokowy, to poszczególne generatory własnego użytku czy zaczepek generatora zasilają silniki należące do danego bloku, a z szyn zasilane są potrzeby ogólne jak nawęglanie, warsztaty itp.

Połączenie dwu sposobów zasilania może mieć dwójaki charakter: a) przerzucenia części zasilania na drugie źródło, albo b) zapewnienia rezerwy.

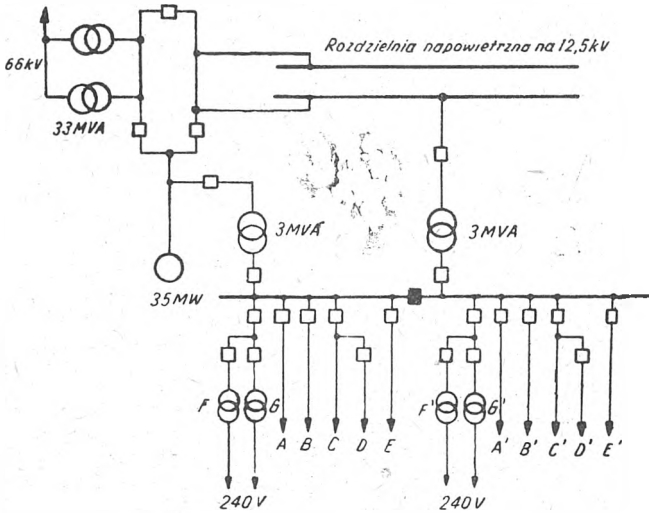
Ponieważ turbina własnego użytku jest kosztowniejsza zarówno w nakładach inwestycyjnych, jak i w eksploatacji ze względu na niższą sprawność, niż duże turboszpół główne, buduje się ją możliwie ograniczonej mocy dla pokrycia wrażliwych odbiorów. Resztę pokrywa się tańszą energią z głównych szyn. Ten system spotyka się szczególnie tam, gdzie rolę turbin własnego użytku grają stare, nieekonomiczne maszyny. Przy generatorze własnego użytku i zaczepek z szyn generatora przerzuca się na zasilanie z szyn odbiory ogólnego znaczenia „nie pasujące“ do żadnego z bloków.

Rezerwa zasilania potrzeb własnych. We wszystkich wyżej opisanych wypadkach transformatory z szyn głównych grają także rolę zasilania rezerwowego, gdyż jest rzeczą jasną, że jako rezerwy używa się urządzeń najtańszych.

Jeżeli rezerwę stanowi niedociążony transformator, na który można w razie potrzeby przerzucić obciążenie sąsiedniej sekcji przy pomocy wyłącznika czy odłącznika, to taką rezerwę nazywamy ukrytą (rys. 11). Jeżeli natomiast jako rezerwa służy specjalny nieobciążony transformator, włączany w wypadku zakłócenia ruchu czy planowego wyłączenia innego źródła zasilania, to taką rezerwę nazywamy jawną (rys. 16a, b, c).



Poszczególne źródła zasilania potrzeb własnych względnie poszczególne sekcje pracują niepołączone ze sobą. Dopiero w razie potrzeby włącza się rezerwowe źródło zasilania. Dawniej dokonywano tego ręcznie, w nowych instalacjach dzieje się to samoczynnie. W razie zaniku napięcia w jednej z sekcji włącza się samoczynnie w ciągu niespełna sekundy źródło rezerwowe bez względu na to, czy wyłączenie



Rys. 11. Schemat potrzeb własnych elektrowni Silver Gate — przykład ukrytej rezerwy \*)

- A, A' Pompy skroplinowe
- B, B' Pompy wody chłodzącej
- C, C' Wentylatory ciągu
- D, D' Wentylatory podmuchowe
- E, E' Pompy zasilające
- F, F' Transformatory 1-faz. na 100 kVA
- G, G' Transformatory trójfazowe na 750 kVA

głównego źródła zasilania nastąpiło wskutek działania ochrony, czy też wskutek omyłki obsługi.

Jeżeli jednak po włączeniu zasilanie rezerwowe będzie wyłączone przez ochronę przekaźnikową, wtedy powtórne włączenie nie jest możliwe, gdyż wyłącznik zostaje zablokowany.

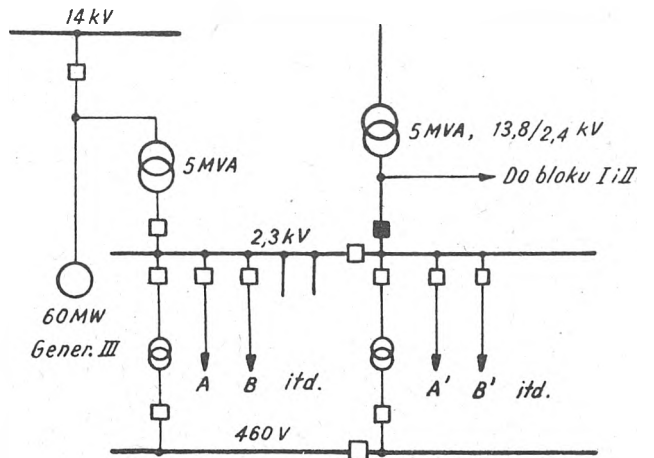
Sekcjonowanie potrzeb własnych ma za zadanie nie tylko ograniczenie zaburzeń do małego odcinka ruchu elektrowni, ale również ułatwienie remontu oraz zmniejszenie mocy zwarcia. Nie zaleca się zbyt głębokiego sekcjonowania, gdyż komplikuje ono i podraża budowę oraz utrudnia obsługę. Na ogół stosuje się sekcjonowanie według zasadniczych jednostek tj. turbozespołów lub kotłów. To drugie jest na ogół głębsze, gdyż liczba kotłów jest często większa od liczby turbin.

Przy odpowiednio dokonanych podziale remonty i czyszczenie rozdzielni odbywa się w czasie remontu jednostek podstawowych. Cała sekcja bywa wtedy odłączona i może być dokładnie i bezpiecznie przejrzana, oczyszczona i naprawiona w lepszych na ogół warunkach niż przy układzie o dwu układach szyn. To też ostatnio rozdzielnie potrzeb własnych są wykonywane z reguły z jednym układem szyn jako tańsze i prostsze. Statystyki ZSRR wykazały że w rozdzielniach o jednym układzie szyn jest 100 razy mniej błędnych operacji niż przy dwóch układach szyn. Elastyczność zaś układu podzielonego na wiele sekcji nie ustępuje wielkim rozdzielniom z podwójnymi szynami.

W Stanach Zjednoczonych, gdzie buduje się wielkie kotły w układzie monoblokowym, tj. jeden kocioł na turbinę, istnieje tendencja do sekcjonowania jeszcze głębszego. Tam przeważnie sekcja odpowiada jedną blokowi podzielona jest jeszcze na dwie podsekcje. Wszelkie większe napięcia są dublowane i do jednej podsekcji dołączona jest jedna połowa napędów, do drugiej druga. Obie podsekcje jednego bloku są zasilane bądź z jednego źródła i rezerwę jawną stanowi transformator z szyn rozdzielni głównej lub podstacji napowietrznej jak w elektrowni Paddy's Run (rys. 12) czy też Philips (rys. 13), bądź też zasilane są odrębnie, a rezerwę ukrytą stanowią nieobciążone w pełni transformatory jak w elektrowni Silver Gate (rys. 11).

Pokazany na rys. 14 schemat potrzeb własnych elektrowni Berlin West jest klasycznym układem, łączącym za-

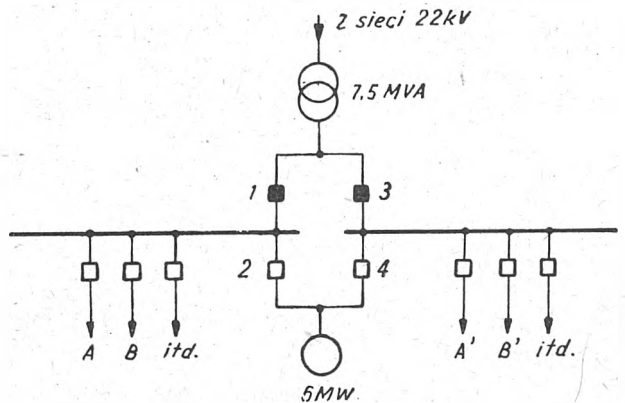
silanie z turbozespołu własnego użytku z zasilaniem za pomocą transformatorów z szyn głównych w przypadku



Rys. 12. Schemat potrzeb własnych jednego bloku elektrowni Paddy's Run — przykład rezerwy jawnej \*)

- A, A' Pompy skroplinowe
- B, B' Pompy wody chłodzącej
- itd. (por. rys. 11)

układu kolektorowego. Turbozespoły własnego użytku zasilają odbiory wrażliwe, jak wentylatory ciągu i podmuchowe, oraz ogólne potrzeby kotłowni i elektrowni jak rów-



Rys. 13. Schemat potrzeb własnych jednego bloku elektrowni Philips w okręgu Pittsburgha \*)

Przykład zasilania z generatora własnego użytku; rezerwę jawną stanowi transformator z rozdzielni napowietrznej. Blokada wyłączników uniemożliwia równoczesne włączenie 1 i 2 lub 3 i 4.

- A, A' Wentylatory ciągu
- B, B' Wentylatory podmuchu
- itd.

niez centralną pompownię wody chłodzącej. Wszystkie te odbiory mogą być zasilane w razie potrzeby z szyn głównych 30 kV. Każdy z transformatorów jest przyłączony do innej sekcji szyn głównych połączonych przez dławiki. Nawęglanie jako niewrażliwe oraz pompy zasilające ze względu na rezerwę w postaci turbopomp parowych są zasilane tylko z szyn głównych.

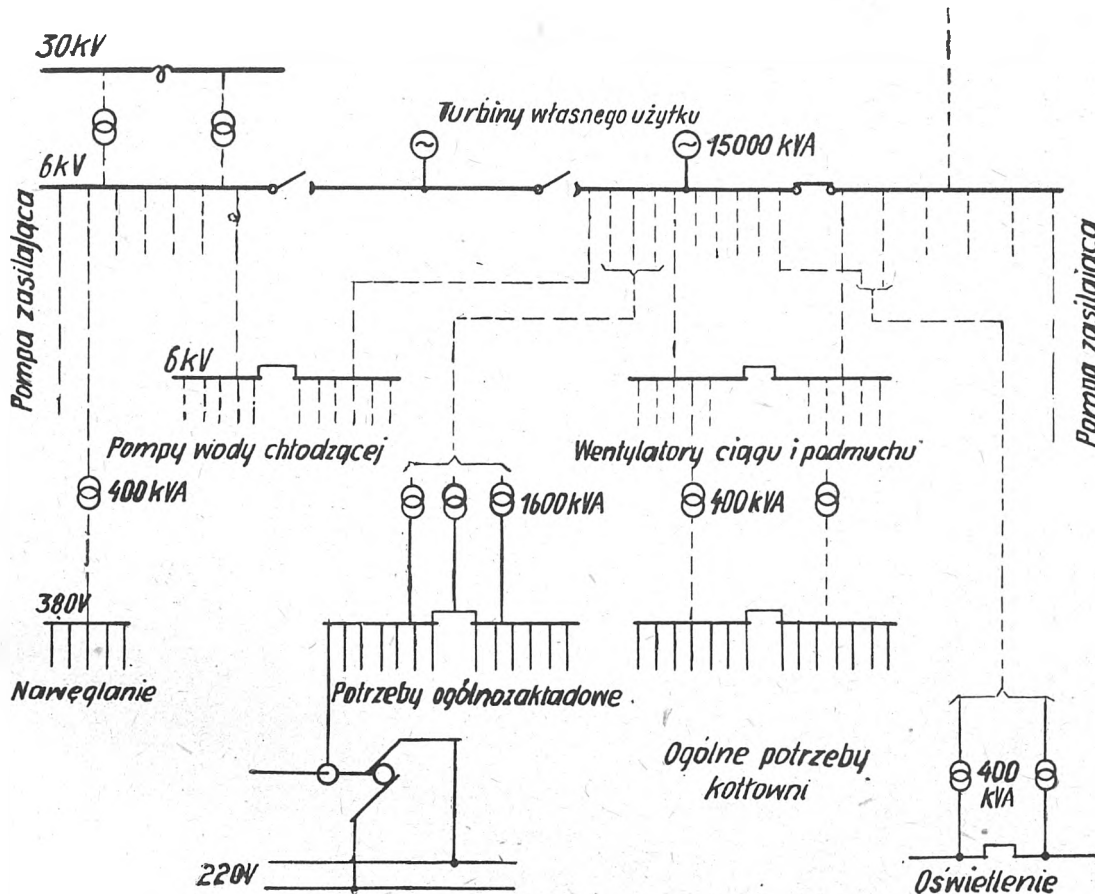
Inaczej — bardziej nowoczesnie — rozwiązane jest zasilanie potrzeb własnych elektrowni podane przez autora amerykańskiego (rys. 15). Tutaj połączone jest zasilanie z generatora własnego użytku oraz z zaczeptu z szyn generatora z zasilaniem z szyn głównych poprzez transformator.

W układzie tym dwa generatory po 60 MW pracują poprzez dławiki na podwójny układ szyn na 13,2 kV, podzielony na dwie sekcje za pomocą wyłączników i dławików. Każdy blok posiada własną rozdzielnię potrzeb własnych wysokiego napięcia (2,3 kV), zasilającą ważniejsze odbiory

\*) Czarne prostokąty oznaczają wyłączniki otwarte w normalnym ruchu i włączane samoczynnie przy zaniku napięcia w danej sekcji.

turbin i kotłów. Rozdzielnie są wyposażone w jeden układ szyn, podzielony na dwie sekcje. Jedna sekcja połączona jest przez transformator na 2,5 MVA, 13,2/2,3 kV z szynami generatora głównego, druga z jednym wspólnym dla

Sprawa transformatora niskiego napięcia (6/0,38 czy 3/0,5) może być rozwiązana w trojaki sposób. Transformator ten może być przyłączony bądź do szyn wysokiego napięcia rozdzielni potrzeb własnych (rys. 16a), bądź bez-



Rys. 14. Schemat potrzeb własnych elektrowni Berlin West

obu bloków generatorem własnych potrzeb na 2 MW, 2,3 kV.

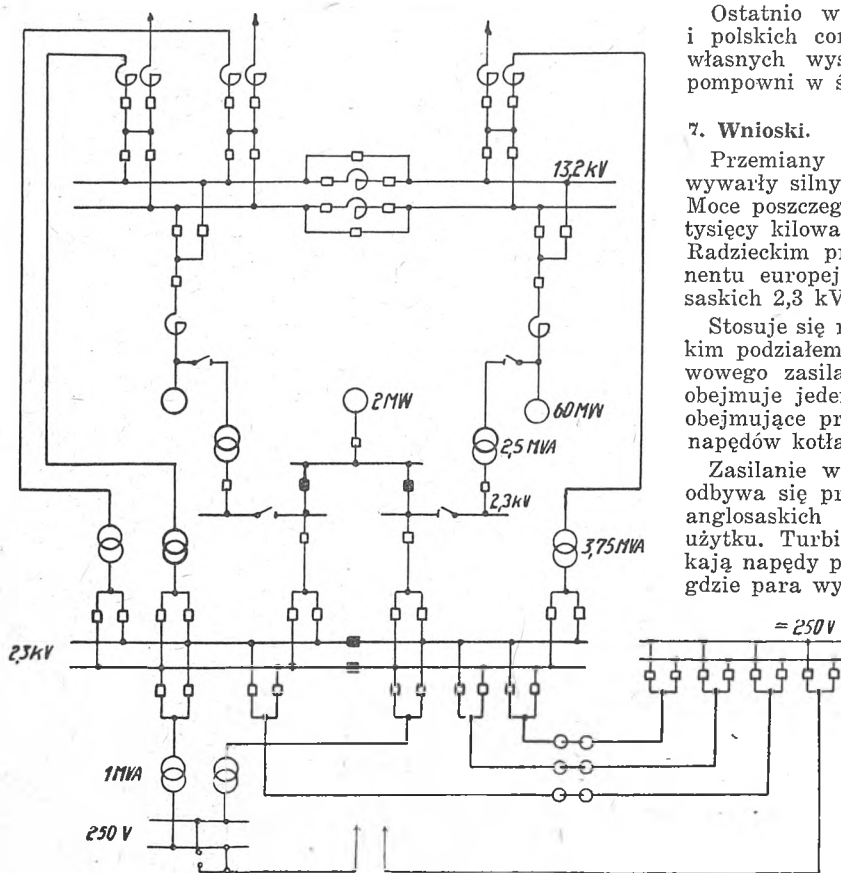
Osobliwością tego układu jest to, że turbogenerator własnego użytku biegnie luzem i służy tylko jako rezerwa. Jego mała moc wyłącza równoczesne zasilanie obu sekcji, stanowi on rezerwę w razie wypadnięcia z ruchu zasilanie jednego z zaczepek szyn generatora. Potrzeby ogólnozakładowe zasilane są z rozdzielni na 2,3 kV o dwóch układach szyn, sekcjonowanych na 2 części. Rozdzielnia ta zasilana jest z szyn głównych za pomocą trzech transformatorów po 3,75 MVA na 13,2/2,3 kV dołączonych do odejść z szyn głównych. Układ wyłączników umożliwia zasilanie potrzeb własnych z zewnątrz przy odłączonych szynach głównych. Odbiory niskiego napięcia na 250 V zasilane są z rozdzielni potrzeb ogólnozakładowych za pośrednictwem dwóch transformatorów na 1000 kVA, 2300/250 V. Prądu stałego dostarczają trzy przetwornice dwumaszynowe prądu stałego po 200 kW, 2300 V/250 V oraz bateria akumulatorów. Prąd stały służy do oświetlenia potrzebowego, drobnych pędów oraz jako rezerwowe wzbudzenie głównych generatorów.

Na rys. 16a przedstawiony jest układ zasilania z zaczepek szyn generatora; jako rezerwa służy transformator z szyn głównych wysokiego napięcia. Jest to schemat zasilania potrzeb własnych przyjęty dla pierwszego etapu budowy jednej z naszych wielkich elektrowni. Ten system stosowany w Związku Radzieckim, a ostatnio często i u nas zdaje się łączyć szczęśliwie niskie nakłady inwestycyjne i małe koszty ruchu z dużą pewnością ruchu i prostotą urządzenia. Charakteryzuje go to, że wszystkie odbiory zakładowe przypisane są do poszczególnych bloków, przy czym dany blok obejmuje nie tylko duże silniki wysokiego napięcia, ale również i niskiego napięcia. Rezerwa przez samoczynne przełączanie na transformator rezerwowy zapewniona jest nie tylko dla szyn wysokiego, ale także i niskiego napięcia każdej sekcji.

pośrednio do zaczepek generatora przy zastosowaniu osobnego transformatora (rys. 16b) lub też transformatora trójzwojowego (rys. 16c). W rozwiązaniu drugim i trzecim zaoszczędza się na stratach jednej transformacji. Układy te są jednakże dość rzadko stosowane, gdyż w wypadku bezpośredniego przyłączenia do zaczepek generatora trzeba stosować wyłącznik na znacznie wyższą moc wyłączalną oraz w obu wypadkach (rys. 16b i 16c) wzrasta moc zwarcia na szynach niskiego napięcia. Najczęściej stosowany jest układ pierwszy (rys. 16a). Przemawia za nim jeszcze i to, że stosunek mocy odbiorów na niskim napięciu do mocy odbiorów na wysokim napięciu jest w związku ze wzrostem mocy jednostek coraz wyższy i wynosi w nowych elektrowniach 1:10, a nawet 1:12.

Rozmieszczenie rozdzielni potrzeb własnych. Bardzo ważna jest sprawa wybrania należytego miejsca dla rozdzielni potrzeb własnych. Rozmieszczenie zależy przede wszystkim od przyjętego schematu. Jeżeli zastosowano rozdzielnie oddziałowe, tzn. jeżeli w jednej rozdzielni zgrupowano odbiory należące do odpowiedniego elementu siłowni, jak nawęglanie, pompownia, kotłownia, młynownia itp., to takie rozdzielnie winny być umieszczone w środku ciężkości danego oddziału. Jeżeli zaś przyjęto podział według bloków, to celowe może być skupienie rozdzielni w jednym miejscu i zasilanie z niej wszystkich silników. Pierwszy sposób daje oszczędności na kablach, ale zwiększa koszty aparatury wskutek dużej ilości doprowadzeń, drugi daje na ogół wyższe koszty kabli, tańszą aparaturę. To też regułą jest, że rozdzielnie niskiego napięcia są rozdrobnione i rozrzucone po całej siłowni przeważnie w postaci tanich okapturzonych rozdzielni, a rozdzielnie wysokiego napięcia raczej skupione. Wybór zależy nie tylko od przyjętego schematu elektrycznego, ale i od przestrzennej kompozycji elektrowni, która wpływa na terenowe rozmieszczenie silników.





Ostatnio w rozwiązaniach radzieckich, amerykańskich i polskich coraz częściej spotyka się rozdzielnie potrzeb własnych wysokiego napięcia, umieszczone na parterze pompowni w środku siłowni pomiędzy turbinami i kotłami.

#### 7. Wnioski.

Przemiany i udoskonalenia w budownictwie elektrowni wywarły silny wpływ na ukształtowanie potrzeb własnych. Moce poszczególnych silników wzrosły, dochodząc do rzędu tysięcy kilowatów. Wielkie silniki są zasilane w Związku Radzieckim przy napięciu 3 lub 6 kV, na reszcie kontynentu europejskiego przeważnie 6 kV, w krajach anglosaskich 2,3 kV, względnie 4 kV.

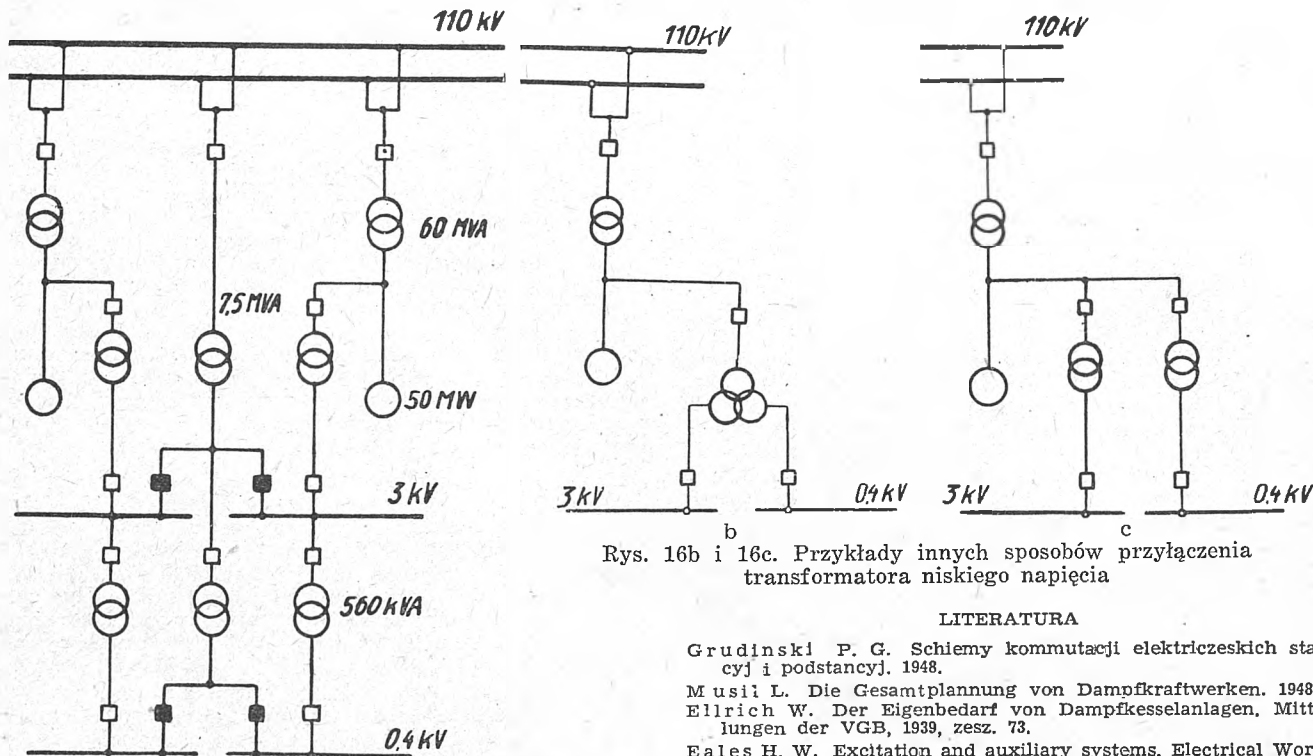
Stosuje się rozwiązania o jednym układzie szyn, z głębokim podziałem na sekcje o samoczynnym włączaniu rezerwowego zasilania, przy czym u nas najmniejsza sekcja obejmuje jeden kocioł, w Ameryce zaś stosuje się sekcje, obejmujące przeważnie połowę napędów bloku tzn. połowę napędów kotła i turbiny.

Zasilanie w Związku Radzieckim i środkowej Europie odbywa się przeważnie z zacsepów generatora, w krajach anglosaskich często spotyka się generatory własnego użytku. Turbina własnego użytku zanika. Również zanikają napędy parowe, które zdarzają się w tych wypadkach, gdzie para wylotowa z turbin ma zastosowanie do celów

Rys. 15. Schemat potrzeb własnych zasilanych z trzech źródeł — turbina własnego użytku, zaczepek z szyn generatora, transformator z szyn głównych \*)

W niektórych niemieckich elektrowniach (Einheitskraftwerk), mających blisko siebie zgrupowane młyny, wentylatory ciągu i powietrza, rozdzielnie były umieszczone w ze-

grzejnych. Silniki z reguły trójfazowe, zwarte, uruchamiane bez specjalnych urządzeń rozruchowych do największych mocy, dochodzących obecnie do 3500 kW.



Rys. 16b i 16c. Przykłady innych sposobów przyłączenia transformatora niskiego napięcia

Rys. 16a. Schemat potrzeb własnych przy zasilaniu z zacsepów generatora \*)

wewnętrznej części bloku budynków między kominami, obok młynów i wentylatorów.

\*) Czarne prostokąty oznaczają wyłączniki otwarte w normalnym ruchu i włączane samoczynnie przy zaniku napięcia w danej sekcji.

#### LITERATURA

- Grudinski P. G. Schiemy kommutacji elektriczeskich stan-  
cyj i podstancyj. 1948.  
Musil L. Die Gesamtplanung von Dampfkraftwerken. 1948.  
Elirich W. Der Eigenbedarf von Dampfkesselanlagen. Mitteil-  
ungen der VGB, 1939, zes. 73.  
Eales H. W. Excitation and auxillary systems. Electrical World,  
1949, 21. V.  
Gilt C. M., de Bellis A. M., Webb R. L. Power system  
electrical equipment. Standard Handbook, 1941.  
Gaefert G. A., Logan Kerr S., Knowlton A. E. Prime  
movers. Standard Handbook, 1941.  
Łosjew S. M. Parowye turbiny. 1947.  
Rom E. I. Kotelnyje ustanowki. 1946.  
Frank T. Zapotrzebowanie własne dużych elektrowni paro-  
wych. Biuletyn Techniczny ZEOG, 1948, zes. 2.  
Łagowski A. i Pakszwer W. Tępiowyje elektriczeskije  
stancji, 1948.

PROF. WŁODZIMIERZ SZUMILIN

# Przesyłanie energii na napięciach wyższych od dotychczas stosowanych (CIGRE)

**Treść.** Rozwój przesyłu wymagający wyższych napięć niż dotychczas stosowane. Możliwości takiego przesyłu prądem zmiennym i stałym. Urządzenia przesyłowe na 400—500 kV prądu 3-fazowego w doświadczeniach i budowie. Przesyłanie prądem stałym. Ocena urządzeń ze strony technicznej i gospodarczej.

**Передача энергии при сверхвысоких напряжениях (CIGRE, 1948 г.).** Развитие передач, которые требуют более высоких напряжений чем применяемые доныне. Возможность работы таких электропередач на переменном и постоянном токе. Перелаточные установки трехфазного тока на 400—500 кВ — опытные и промышленные, начатые постройкой. Установки постоянного тока. Оценка передаточных устройств с технической и экономической точки зрения.

**Transmission of electric energy at voltages higher than hitherto used (C. I. G. R. E., 1948).** The development of power transmission systems necessitating higher voltages than hitherto. The possibilities of power transmission in the case of both A. C. and D. C. Transmission equipment for 3-phase current, 400—500 kV, experimental and under construction. D. C. power transmission. Assessment of equipment in both technical and economic respect.

## 1. Uwagi wstępne.

Prace na sesjach Międzynarodowej Konferencji Wielkich Sieci Elektrycznych (CIGRE) grupowały się do 1948 roku w trzech sekcjach: 1) wytwarzanie, przetwarzanie i przesyłanie prądu; 2) budowa, izolacja i utrzymanie linii napowietrznych i podziemnych; 3) eksploatacja, zabezpieczenia i praca równoległa układów sieciowych.

W okresie lat powojennych poczęły się wyłaniać zagadnienia związane z projektem i budową potężnych układów przesyłowych, mających pracować na napięciach wyższych od dotychczas stosowanych, a więc, praktycznie biorąc, na napięciach wyższych od 220 kV.

Wprawdzie od 1937 r. pracuje na napięciu 287,5 kV linia przesyłowa Boulder Dam — Los Angeles w Kalifornii (300 MW, 430 km), lecz ta winna być zaliczona do „rodziny” linii 220-kilowoltowych. Linie, o których mowa niżej, są to linie o napięciach rzędu 400—500 kV i długościach rzędu 500—1000 km. Rozpoczęcie eksploatacji takich linii jest sprawą najbliższej przyszłości. Zagadnienia z nimi związane wydzielono na ostatniej sesji MKWSE do odrębnej (4-ej) sekcji prac, co dowodzi, że zagadnienia te są już na czasie.

Na tle problemu przesyłania bardzo wielkich mocy (ponad 200 MW) na b. znaczne odległości (ponad 500 km) przy zastosowaniu b. wysokich napięć (ponad 220 kV) powstało kapitalne zagadnienie, czy przesył ten ma być dokonywany po linii dotychczasowej praktyki — prądem zmiennym, czy też na nowej drodze — prądem stałym.

Na podstawie prac MKWSE w 1946 r. \*) można było przypuszczać, że przesył prądem stałym w niedługim czasie dozna realizacji, jednakże projekty linii przesyłowych w wielkim stylu skryształizowały się wcześniej na prądzie zmiennym i pierwsze instalacje tego rodzaju mają być uruchomione już w 1950 r., natomiast wielkie linie prądu stałego nie wyszły jeszcze ze stadium teoretycznych rozważań, zasadniczych badań i niemożności uporania się z trudnościami natury technicznej i technologicznej, wyłaniającymi się przy ich wykonaniu.

W sprawie przesyłu prądem zmiennym MKWSE 1948 r. rozważała stronę techniczną i gospodarczą budowy i eksploatacji układów przesyłowych o napięciach rzędu 400 kV i wyżej. W szeregu krajów bądź już wykonano, bądź też podjęto w szerokiej skali praktyczne badania doświadczalne w tym zakresie.

W kwestii wykonania samej linii najpoważniejszymi zagadnieniami zarówno z technicznego, jak i gospodarczego punktu widzenia są: izolacja linii, zjawisko ulotu i zaburzenia radiofoniczne. Porównano m. inn. zastosowanie dwu pełnych — normalnych dla 220 kV — przewodów, zawieszonych jako przewody bliźniacze, oraz przewodów wewnątrz pustych o dużej średnicy odpowiedniej dla napięcia rzędu 400 kV.

Z eksploatacyjnych zagadnień wysuwały się na czoło: wpływ charakterystyk generatorów na stateczność przesyłania przy obciążeniach małych i b. dużych, zastosowanie oporów biernych (dławików) bocznikujących, przepięcia powstające przy raptownym zaniku obciążenia.

Z innych zagadnień natury zarówno technicznej, jak gospodarczej wymienić należy: określenie gospodarnego

napięcia w zależności od wielkości mocy i odległości przesyłania — korzyści znacznych przekrojów przewodów; różne środki pozwalające zwiększyć przelotność linii — zmniejszenie oporu biernego maszyn, stosowanie przewodów bliźniaczych o zmniejszonym oporze biernym, zastosowanie kondensatorów łączonych szeregowo, poziom i najkorzystniejszy spadek napięcia roboczego.

W sprawie przesyłu prądem stałym główne tematy były następujące.

Zakres stosowania przesyłu prądem stałym, obejmujący nie tylko przerzucanie wielkich mocy na znaczne odległości, lecz również przypadki specjalne, np. przekraczanie cieśnin morskich za pomocą kabla b. wysokiego napięcia, przesył przez obszary pustynne (również za pomocą kabla), gdzie utrzymanie linii napowietrznych napotykałoby na szczególne trudności i inne.

Sprawy aparatury wciąż jeszcze nastroczają wiele niepokonanych trudności, a przede wszystkim ponowne zapalenie luku, wadliwość komutacji oraz wciąż jeszcze brak pewnego w działaniu wyłącznika na duże moce wyłączalne.

Z innych ważniejszych tematów omawiano: dostarczanie mocy biernej dla falowników (przekształtników zmieniających prąd stały na zmienny) na krańcu odbiorczym, zastosowanie ziemi jako przewodu powrotnego (choćby w przypadkach uszkodzeń), ogólne kwestie techniczne i ekonomiczne przesyłu prądem stałym.

Należy stwierdzić, że dotychczas nie został dokonany przesył wielkiej mocy na znaczną odległość za pośrednictwem prądu stałego. Sprawy znajdują się wciąż jeszcze w stadium badań i doświadczeń, które winny być nadal prowadzone z wytrwałością, aby mieć nadzieję, lecz bynajmniej nie pewność, że praktyczne zastosowanie prądu stałego do celów wielkiego przesyłu energii nastąpi w okresie najbliższych 5 do 10 lat.

Jak już wspomniano, sprawa izolacji jest jednym z ważniejszych zagadnień w wielkich projektach przesyłania energii na napięciach wyższych od 220 kV, co wynika ze szczególnie dużego wpływu, który wywiera na koszt budowy linii, transformatorów i aparatury obrany poziom izolacji.

W związku z tym rozważano następujące sprawy: kształt i wielkość przepięć wyłączeniowych i wytrzymałość na nie izolacji; wpływ sposobu uziemienia punktu zerowego na wspomniane przepięcia i możliwość obniżenia poziomu izolacji na stacjach transformatorowych przy bezpośrednim uziemieniu punktu zerowego; wpływ przepięć dynamicznych w liniach bardzo długich; zastosowanie porównawcze odgromników i iskierników do zabezpieczenia urządzeń stacyjnych od przepięć.

## 2. Przesyłanie prądem zmiennym.

W ostatnich latach w szeregu krajów wykonano doświadczalne instalacje próbnych linii prądu zmiennego o napięciu rzędu 400—500 kV oraz przeprowadzono szereg badań mających na celu określenie warunków eksploatacji tych linii.

W końcu 1946 r. w Chevilly pod Paryżem uruchomiono doświadczalną stację transformatorową na 500 kV w związku z oddaniem do eksploatacji w tymże czasie dwutorowej linii na 220 kV Le Breuil — Chevilly o długości ponad 400 km. Linia ta ma być w przyszłości przekształcona na

\*) Ob. Przegląd Elektrotechniczny, 1947, z. 7/8, str. 236—240.



jednotorową linię o napięciu rzędu 400 kV (dokładna wielkość będzie ustalona na podstawie prowadzonych badań).

Zadaniem doświadczalnej stacji w Chevilly miał być przede wszystkim wybór typu przewodów, które należałoby zastosować, oraz ustalenie największej, a zarazem najkorzystniejszej wysokości napięcia rzędu 400 kV, na którym linia miałaby w przyszłości pracować.

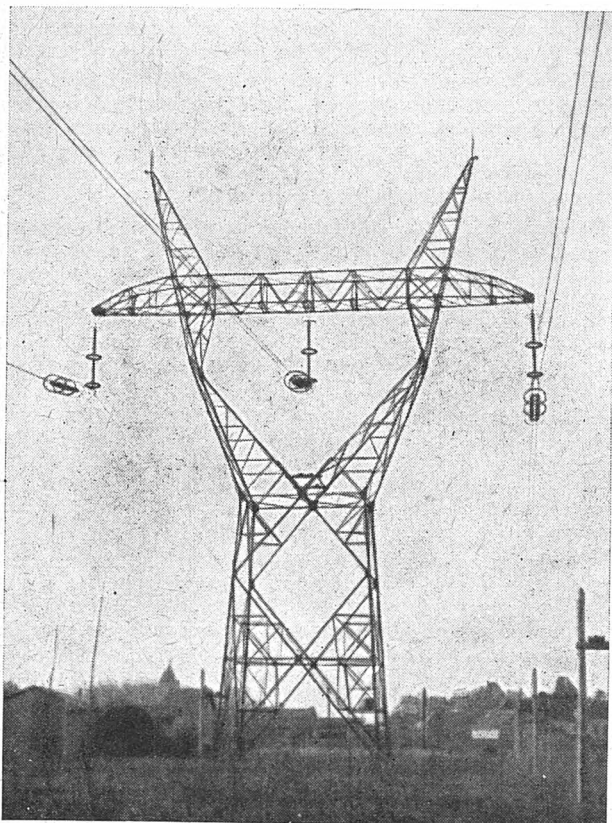
Podobna instalacja doświadczalna została pobudowana w pobliżu elektrowni Tidd w stanie Ohio (USA).

W Szwecji znajduje się w budowie linia przesyłowa na napięcie rzędu 400 kV o długości ok. 970 km, której częściowe uruchomienie przewiduje się w 1950 r., a całkowite w 1951 r.

W Anglii i Szwajcarii dokonano ostatnio szeregu badań nad zjawiskiem ulotu pod kątem widzenia eksploatacji linii najwyższych napięć. Wprawdzie w krajach tych nie ma na razie widoków uruchomienia linii przesyłowych o tak wysokich napięciach, jednak przemysły tych krajów, jako ewentualni dostawcy aparatury i transformatorów na eksport, są zainteresowane wspomnianymi badaniami.

W Związku Radzieckim już przed wojną sporządzono projekt linii przesyłowej na 400 kV, który był pierwszym kompletnym opracowaniem teoretycznych i praktycznych zagadnień, wiążących się z przesyłaniem energii elektrycznej na odległość 1 000 km. Dziś problem ten powrócił na porządek dzienny aktualnych spraw energetyki radzieckiej, jednak już nie jako projekt pojedynczej instalacji, lecz jako zagadnienie podniesienia skali napięć w całości układów elektroenergetycznych Związku.

Francja. Jak już wspomniano, na stacji w Chevilly kończy się obecnie dwutorową linię na 220 kV. Przekształcenie tej linii w linię o napięciu 400 kV może być dokonane w dwojaki sposób: 1) przez zdemontowanie istniejących przewodów (normalnych dla 220 kV: stalowo-aluminiowych o przekroju 411 mm<sup>2</sup> i średnicy 26,4 mm) i zawieszenie na ich miejsce trzech przewodów wewnątrz pu-



Rys. 1. Słup linii doświadczalnej na 400—500 kV w Chevilly

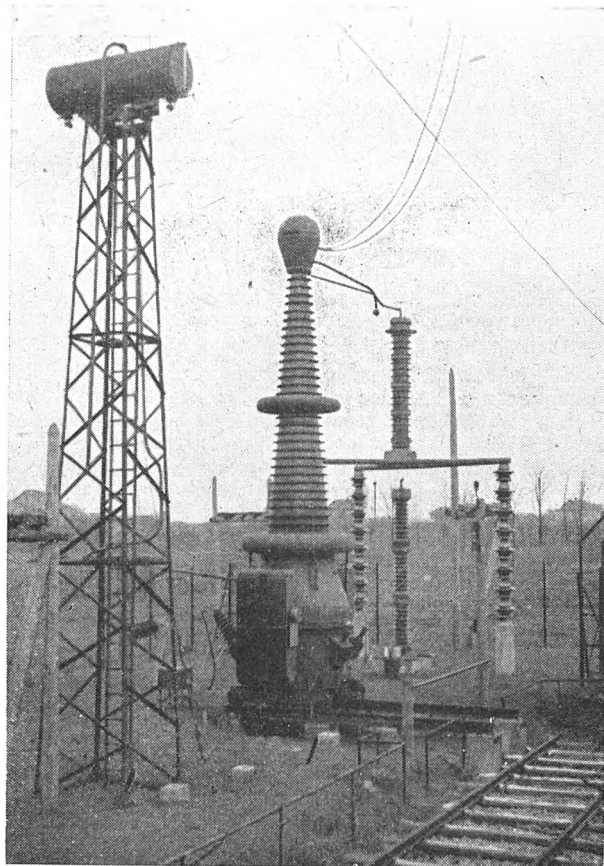
stych o dużej średnicy, odpowiedniej dla napięcia 400 kV; 2) przez przegrupowanie 6 przewodów istniejących w wiązki bliźniacze po 2 przewody na każdą fazę.

Na stacji w Chevilly wykonano jedno przesło doświadczalne o rozpiętości 500 m (rys. 1). Jest to średnia rozpiętość przesła linii Chevilly — Le Breuil.

Przy eksperymentowaniu na tak krótkiej linii traci się, oczywiście, wpływ czynników wyrównawczych, które dawałyby efekt średni na linii o większej długości, z drugiej jednak strony zyskuje się to, że warunki meteorologiczne dla krótkiego odcinka linii doświadczalnej dają się ściśle ustalić, a przeto lepiej i systematyczniej można przeprowadzić badania i wyciągnąć odpowiednie wnioski.

Moc transformatora zasilającego została dokładnie dostosowana do zasilania doświadczalnego odcinka linii napięciem ściśle sinusoidalnym. Pozwala to wykonać niektóre pomiary wysokiego napięcia przez pomiary na napięciu zasilającym, gdyż straty w transformatorze nie są zbyt duże w stosunku do strat na ulot, a byłyby nadmierne w przypadku transformatora o wielkiej mocy.

Transformatory są jednakowe o mocy 106 kVA każdy (rys. 2). Uzwojenie pierwotne na 11 kV posiada urządze-



Rys. 2. Transformator zasilający linię doświadczalną na 400—500 kV w Chevilly

nie regulacyjne do zmiany przekładni transformatora (w 64 stopniach) w granicach od 308 do 500 kV wtórnego napięcia międzyfazowego.

Zacisk wtórny transformatora, tj. od strony linii, posiada głowicę metalową, zawierającą transformator prądowy, kondensator (dzielnik pojemnościowy) oraz watomierz — celem dokonywania bezpośrednich pomiarów strat. Głowica posiada poziomą szczelinę umożliwiającą odczytywanie wskazań za pomocą lornetki przez obserwatora usadowionego na szczycie drabinki przymocowanej do słupa, dźwigającego konserwator olejowy transformatora (rys. 2).

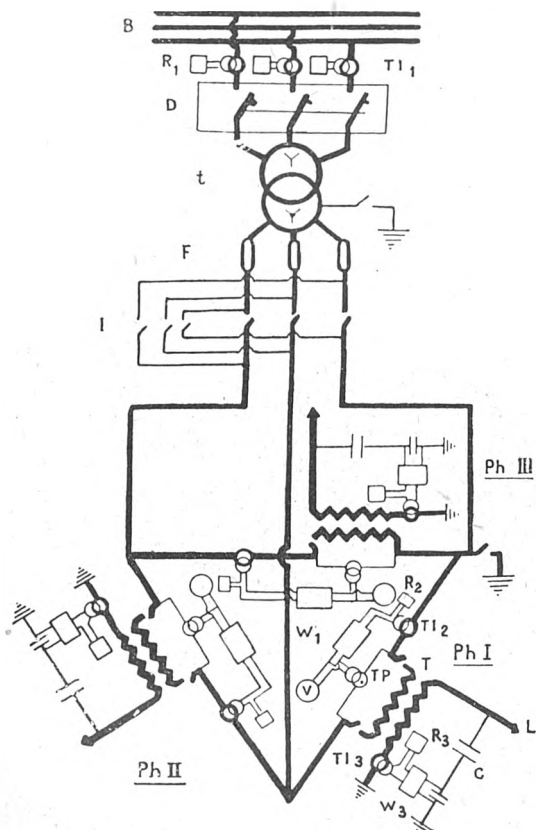
Ogólny schemat elektryczny stacji podany jest na rysunku 3.

Poza tym do specjalnych badań zjawiska ulotu stacja posiada 11-metrowy odcinek linii jednofazowej, zawieszony w osi cylindrycznej siatki metalowej uziemionej o średnicy 2 m. Siatka, która może być poddana działaniu sztucznego deszczu, stanowi powierzchnię ekwipotencjalną i podaje natężenie pola na powierzchni przewodu linii (rys. 4).

Przeprowadzono szereg badań celem ustalenia wielkości strat ulotowych oraz zakłóceń radiofonicznych w zależności od licznych czynników, z których ważniejsze są: wpływy atmosferyczne, a więc ciśnienie i wilgotność powietrza oraz stan pogody; starzenie się powierzchni przewodów; układ przewodów bliźniaczych, a więc poziomy czy

pionowy, odległość między nimi, liczba rozpórek; wpływ przewodu odgromowego; wpływ pierścieni ochronnych; praca jedno-, dwu- lub trójfazowa; wielkość napięcia roboczego; oddziaływanie elektrodynamiczne między przewodami.

Pomiary prowadzono dwiema zasadniczymi metodami — mostkową oraz metodą watomierza rejestrującego. Sta-



Rys. 3. Ogólny schemat stacji doświadczalnej w Chevilly

- T — transformator na  $11/\sqrt{3}$  kV
- C — dzielnik pojemnościowy
- $T1_2$  — przekładnik prądowy na 25/5 A
- $T1_3$  — „ „ na 0,5/5 A
- TP — napięciowy na 15/0,1 kV
- $W_1, W_2, W_3$  — watomierze zapisujące
- $R_1, R_2, R_3$  — przekaźniki przetężeniowe
- F — bezpieczniki topikowe
- I — przełącznik kolejności faz

rano się wyeliminować i ustalić wpływy poszczególnych czynników.

Przeprowadzone badania dotyczyły na razie przewodów bliźniaczych, zawieszonych w odległości 14,5 m między fazami. Próbny odcinek linii posiadał 2 stalowe linki odgromowe o przekroju 70 mm<sup>2</sup>, pomiędzy którymi odległość pozioma wynosiła 22 m, a wysokość nad przewodami roboczymi 14 m. Wysokość zawieszenia przewodów roboczych wynosi 24 m, zwis 16 m, najmniejsza odległość od ziemi w środku przęsła 8 m. Dla utrzymania odległości między poszczególnymi przewodami bliźniaczymi (w wiązce danej fazy) zastosowano rozpórki z drzewa bakielizowanego, umieszczane bądź w środku przęsła, bądź też w kilku jego punktach. Odległość wspomnianą można było zmieniać w granicach od 20 do 80 cm.

Łańcuch izolatorów przelotowy (pionowy) zawierał 24 izolatory kołpakowe o średnicy 285 mm i wysokości (skok) 155 mm. Łańcuch odciągowy (poziomy) podwójny zawierał 2 × 24 szt. takich samych izolatorów.

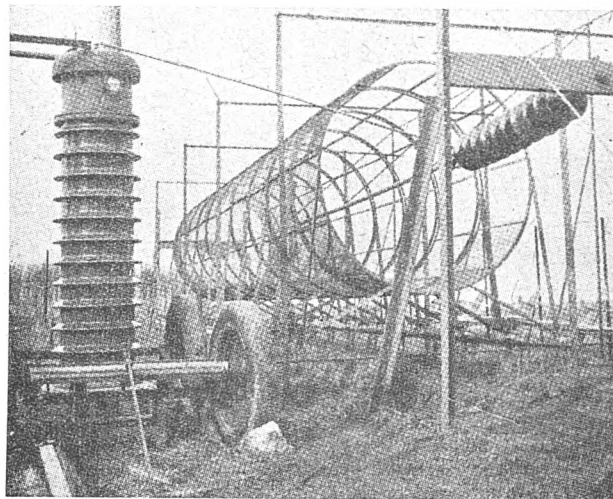
Badania nad pojedynczymi przewodami, wewnątrz pustymi, o średnicach zewnętrznych 40, 45 i 50 mm były w toku.

Wyniki badań dadzą się streścić w następujący sposób.

Straty na ulot linii trójfazowej przy odległości 40 cm między przewodami bliźniaczymi o powierzchni zestarzałej

- a) przy dobrej pogodzie i napięciu:
  - 400 kV poniżej 0,5 kW/km
  - 420 „ „ 0,7 „
  - 440 „ „ 1,0 „
- b) przy silnym deszczu i napięciu:
  - 397 kV wartość szczytowa 65 kW/km
  - 413 „ „ „ 80 „

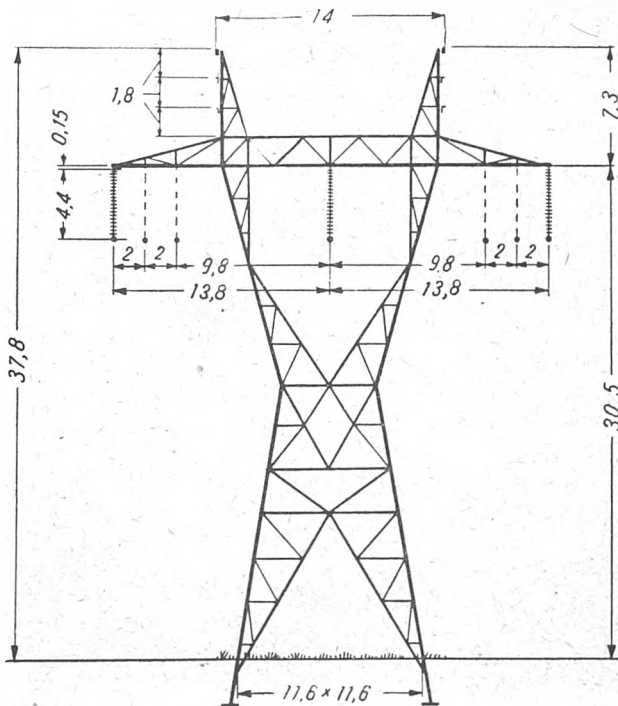
Liczne pomiary wykazały, że najkorzystniejsza odległość między poszczególnymi przewodami bliźniaczymi mieści się w granicach od 40 do 60 cm. Niższa wartość jest ko-



Rys. 4. Siatka do badania ulotu

rzystniejsza z punktu widzenia strat, górna — z uwagi na liczbę rozpórek.

Wybór największego napięcia roboczego jest dyktowany stratami na ulot i zakłóceniami radiofonicznymi. Straty przy 400 kV i dobrej pogodzie (0,5 kW/km) odpowiadają stratom w istniejących liniach o napięciu 220 kV. Zakłó-



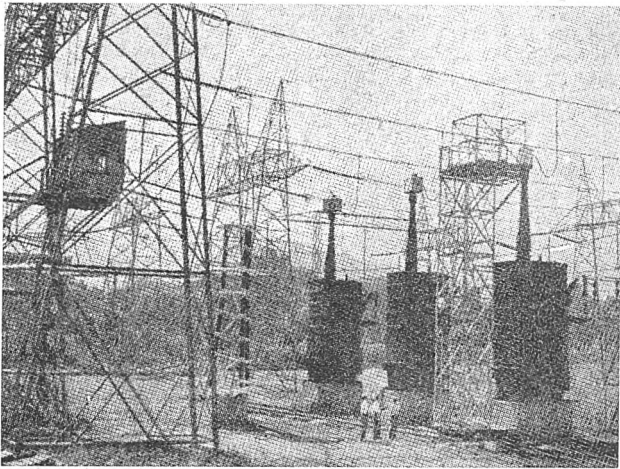
Rys. 5. Profil słupa amerykańskiej linii doświadczalnej na 500 kV (Tidd)

cenia radiofoniczne są nieco większe niż w najnowszych liniach na 220 kV. Punktem wyjścia w tym ostatnim zagadnieniu jest ustalenie takiej odległości od linii, dla której pole zakłócające winno być niższe od pewnej wartości zadanej, a więc np. 50  $\mu\text{V/m}$ .



Przy przejściu z napięcia 400 na 440 kV straty na ulot wzrastają, zależnie od pogody, 1,5—3,0-krotnie, a zakłócenia radiofoniczne prawie w dwójnasób.

Przeciętna wartość strat, mierzonych przez 500 godz. przy złej pogodzie dla odległości między przewodami bliźniaczymi 40 cm i przy napięciu 440 kV, wynosiła 5,2



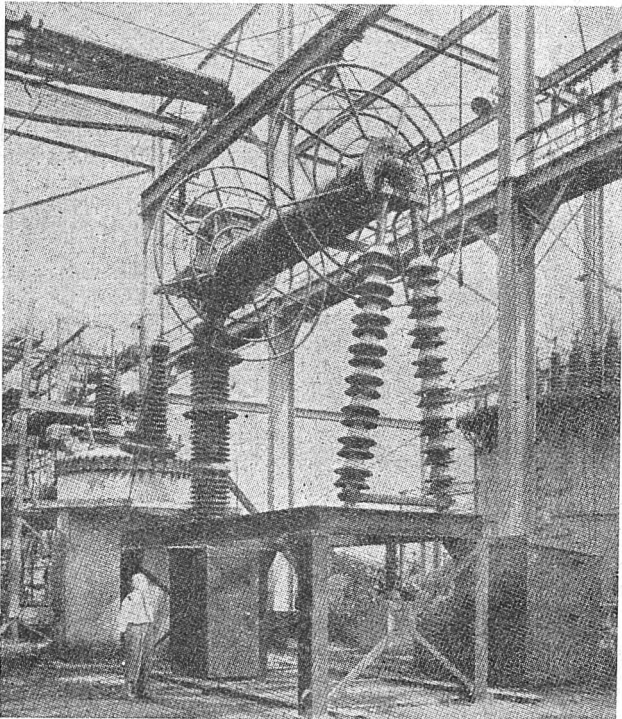
Rys. 6. Transformatory stacji doświadczalnej na 500 kV w Tidd

kW/km, co dawałoby dla linii o długości 400 km ogólną wielkość strat 2 100 kW, a więc wielkość, która bez wątpienia może być przyjęta.

Natomiast wzmożone przy 440 kV zakłócenia radiofoniczne budzą zastrzeżenia ze strony specjalistów.

W konkluzji właściwym rozwiązaniem wydaje się linia z przewodami bliźniaczymi o wzajemnej odległości 40—50 cm, pracująca przy napięciu w granicach od 400 do 440 kV.

Ameryka. Mniej ciekawe od danych francuskich z Chevilly były dane amerykańskie z Tidd, gdyż nie zawie-

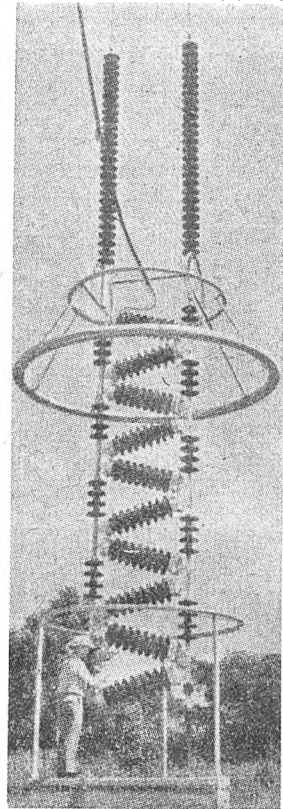


Rys. 7. Biegun wyłącznika na 10 000 MVA, 360 kV

rały one żadnych wyników badań ani też odpowiednich wniosków.

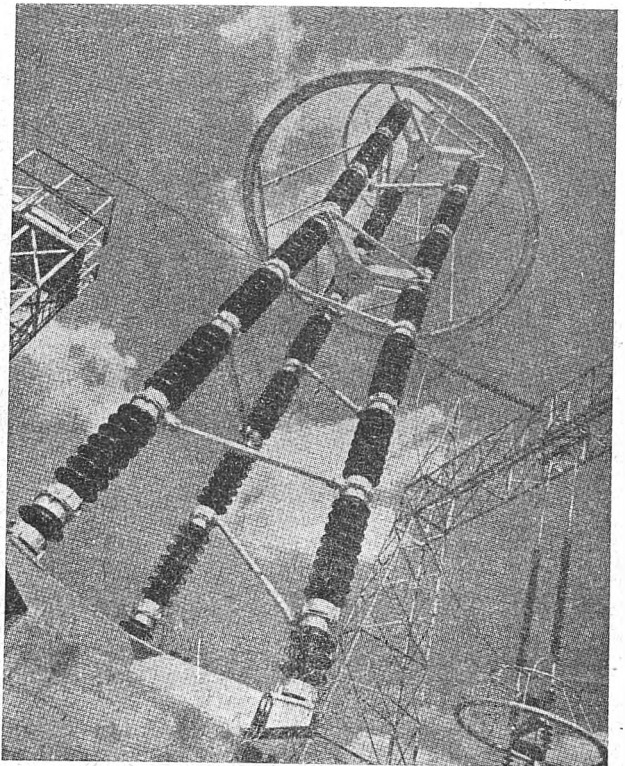
W Tidd wybudowano 3 doświadczalne odcinki linii, które mogą być poddawane różnym napięciom w granicach od 264 do 500 kV. Jeden odcinek jest jedнопrzęsłowy o rozpiętości 244 m; dwa pozostałe są o długości 2 252 m każdy, mają po 7 słupów, średnia rozpiętość wynosi zatem ok. 320 m.

Przewody pojedyncze o dużych średnicach (35,6, 41,9 i 50,8 mm) mają być dwójakiego rodzaju: 1) stalowo-aluminiowe o specjalnej konstrukcji, wypełnione między



Rys. 8. Odgromnik typu wiszącego

duszą stalową a opłotem aluminiowym papierem nasyconym; 2) miedziane, wewnątrz puste lub z duszą spiralną



Rys. 9. Odgromnik typu stojącego

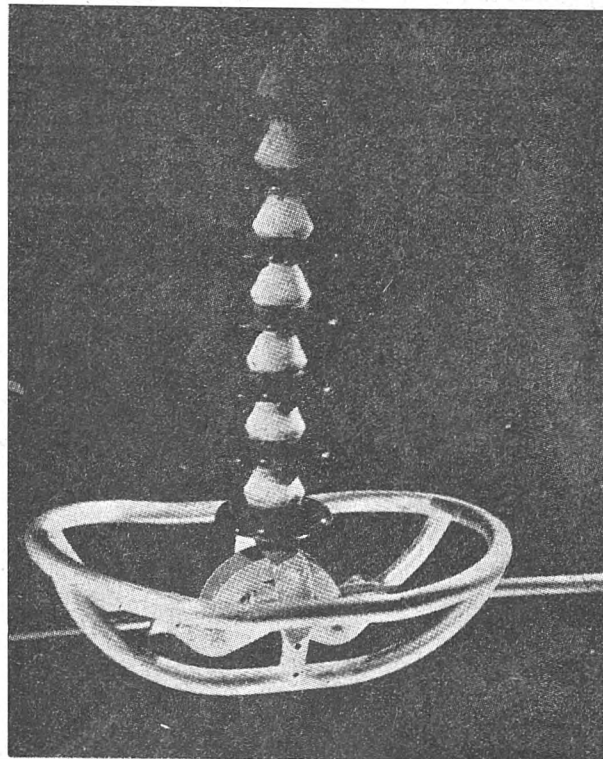
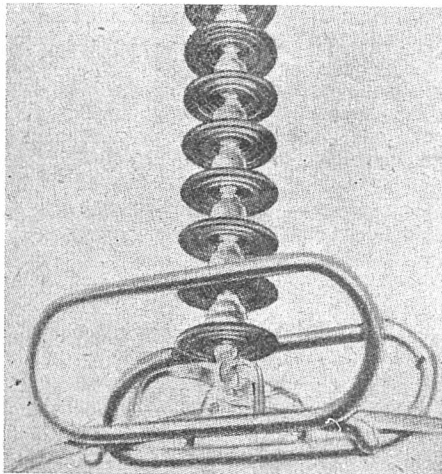
z taśmy miedzianej w kształcie litery I. Mają też być badane przewody bliźniacze, o których brak jest bliższych danych.

Wysokość zawieszenia przewodów wynosi ok. 26 m, najmniejsza odległość od ziemi w środku przęsła — ok. 12,2 m.

Słupy wykonano tak, że umożliwiają one zawieszenie przewodów w różnych odległościach między poszczególnymi fazami, a mianowicie: 9,76, 11,59 i 13,72 m. Również linki odgromowe mogą być zawieszane na różnych wysokościach nad przewodami, a mianowicie: 6,71, 8,54, 10,37 i 12,20 m. Profil słupa podaje rys. 5.

Trzy opisane wyżej odcinki linii są bezpośrednio, bez wyłączników, przyłączone do szyn zbiorczych stacji doświadczalnej i są zasilane przez grupę trzech transformatorów 1-fazowych o łącznej mocy 5 000 kVA (rys. 6). Transformatory połączone są w gwiazdę, punkt zerowy bezpośrednio uziemiony.

Przyrządy pomiarowe są zainstalowane w głowicach aluminiowych na przepustowych izolatorach transformatorów. Odczytywanie wskazań dokonywa się za pomocą

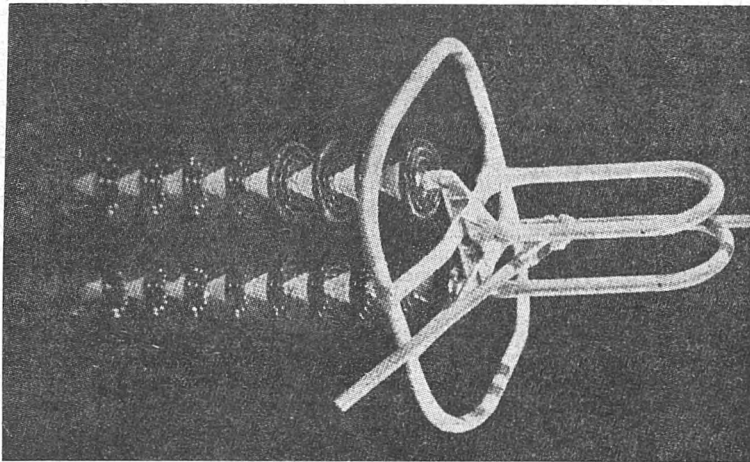
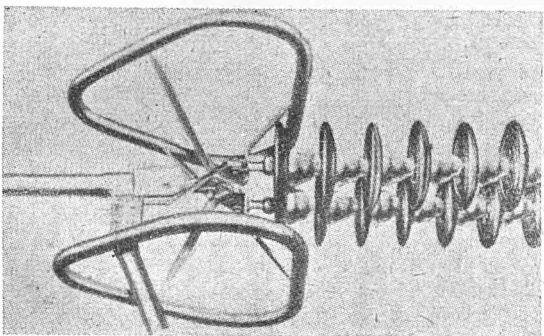


Rys. 10 i rys. 11. Pierścienie ochronne zawieszonych przewodów

lunetki z kabiny obserwacyjnej, umieszczonej na żelaznej konstrukcji wsporczej i odległej od transformatorów o ok. 20 m.

Jeden biegun wyłącznika, typu impulsyjnego, o małej zawartości oleju, o znamionowej 3-fazowej mocy wyłączalnej 10 000 MVA przy 360 kV zostanie przyłączony do jednej z szyn zbiorczych celem zbadania jego izolacji pod napięciem roboczym (rys. 7).

Izolację linii wykonano z łańcuchów izolatorów kołpakowych o średnicy 250 mm i wysokości (skok) 145 mm. Łańcuchy liniowe mają po 30 izolatorów, stacyjne po 26 sztuk. Przewidziano 2 typy pierścieni ochronnych, od strony przewodu, dla zawieszenia przelotowego (rys. 10 i 11) oraz dwa typy dla zawieszenia odciągowego (rys. 12 i 13). Od strony słupa pierścieni ochronnych nie przewiduje się.



Rys. 12 i rys. 13. Pierścienie ochronne zawieszonych przewodów

Trzy odgromniki 1-biegunowe zabezpieczają transformator, a jeden zabezpiecza wyłącznik. Odgromniki są dwóch typów elektrycznie podobnych, lecz w różnym wykonaniu konstrukcyjnym. Rys. 8 przedstawia typ wiszący, odporny na trzęsienie ziemi. Odgromnik jest zawieszony na stalowej konstrukcji wsporczej. Elementy czynne ułożone są w zryzek pomiędzy dwoma łańcuchami izolatorów.

Drugi typ odgromnika — stojący, jest bardziej skomplikowany i zajmuje dużo więcej miejsca (rys. 9).

Obydwa typy odgromników są przewidziane na największe napięcie znamionowe 350 kV, czyli na 70% największego napięcia międzyfazowego. Ta wielkość jest niższa od przeciętnie stosowanej (80%). Odgromniki są urządzone w taki sposób, że istnieje możliwość zwierania poszczególnych ele-

mentów czynnych dla zmniejszenia znamionowego napięcia odgromnika. Będzie to potrzebne przy dłuższych okresach pracy pod napięciem niższym od 500 kV.

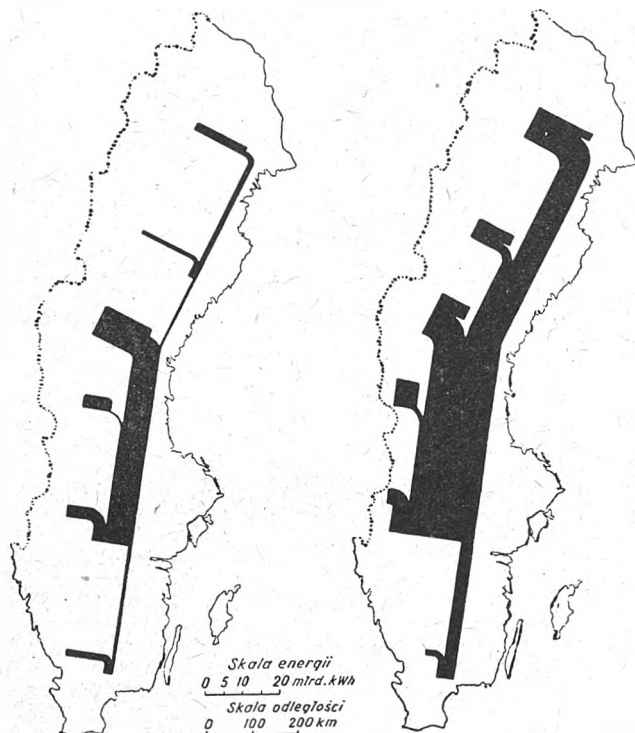
Szwecja. Specjalne warunki energetyczne w Szwecji postawiły na porządku dziennym zaraz po wojnie, jako zagadnienie palące, przejście wielkich układów przesyłowych z napięcia 220 kV na napięcie wyższe. Podstawą energetyki szwedzkiej jest biały węgiel, który dotychczas jest wyzyskany tylko w 35%. Potężne źródła energii wodnej, które mogą być gospodarczo racjonalnie wyzyskane, znajdują się na dalekiej północy kraju (poza kręgiem polarnym), podczas gdy główne ośrodki spożycia energii elektrycznej leżą w środku i na południu kraju, w odległości 1 000 km i więcej.

Obecnie moc 750 MW, przy rocznej wytwórczości 4 miliardów kWh, jest przesyłana 5 liniami o napięciu 220 kV na średnią odległość ok. 450 km. Przewiduje się, że w 1955



roku trzeba będzie przesyłać ok. 7 mlrd. kWh, a w dalszej przyszłości — gdy wszystkie źródła wodno-elektryczne Szwecji będą wykorzystane — wypadnie przesyłać ok. 3 000 do 3 300 MW przy rocznej wytwórczości ok. 16—18 mlrd. kWh na średnią odległość ok. 700 km. Wówczas ogólna roczna wytwórczość energii elektrycznej w Szwecji miałaby wynosić 40 mlrd. kWh wobec obecnych 14 (rys. 14).

Zadaniu temu napięcie 220 kV nie mogłoby sprostać, gdyż liczba linii musiałaby wynosić ponad 30, co gospodarczo nie byłoby racjonalne. Zdecydowano się na zastosowanie systemu prądu 3-fazowego o napięciu znamionowym 380 kV (przy największej wartości 400 kV), jakkolwiek



Rys. 14. Przesyłanie energii elektrycznej w Szwecji  
Lewy wykres — stan w 1955 r.; prawy — przy pełnym wykorzystaniu sił wodnych

w Szwecji poświęcono wiele uwagi zagadnieniom przesyłania energii elektrycznej prądem stałym b. wysokiego napięcia. Rozważano nawet rozwiązanie kombinowane: na tych samych słupach miała być prowadzona linia przesyłowa prądu 3-fazowego na 220 kV oraz 2-przewodowa prądu stałego b. wysokiego napięcia. Jednakże koncepcje te porzucono wobec braku pewności, że układy przesyłowe prądu stałego, gwarantujące należyty termin uruchomienia, będą mogły być na wymagany termin uruchomione.

Pierwszą z nowych wielkich arterii energetycznych ma być linia przesyłowa z daleko na północy położonej elektrowni wodnej w Harspranget, biegnąca poprzez pośrednią stację transformatorową elektrowni w Midskog (485 km), do krańcowej stacji transformatorowej na południu w Hallsberg (również 485 km). Ogólna moc przesyłana będzie rzędu 400 MW.

Wyniki badań co do wymaganej liczby linii i odnośnych kosztów podaje tabl. I.

Tablica I. Zestawienie kosztów linii różnych napięć

| Napięcie kV | Rodzaj przewodu                 | Liczba linii | Koszty inwest. w (%) | Koszty eksploatac. w (%) |
|-------------|---------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| 220         | Pojedynczy                      | 24           | 175                  | 165                      |
| 330         | „                               | 10           | 100                  | 100                      |
| 380         | „                               | 8            | 94                   | 92                       |
| 380         | Bliźniaczy (2 przewody na fazę) | 6            | 86                   | 89                       |
| 440         | Bliźniaczy                      | 4—5          | 84                   | 85                       |

Aczkolwiek napięcie znamionowe 440 kV wykazywało największe korzyści gospodarcze, jednak względy techniczne przemówiły ostatecznie za obraniem napięcia 380 kV.

Elektrownia w Harspranget będzie posiadała 3 generatory (lub 4 w razie późniejszej rozbudowy) o następujących danych charakterystycznych. Opory bierne synchroniczne: podłużny  $X_d = 0,635$ ; poprzeczny  $X_q = 0,39$ . Opory bierne przejściowe: podłużny  $X'_d = 0,22$ ; poprzeczny  $X'_q = 0,25$ . Generatory mają małe opory bierne przejściowe (22 i 25%) dla zwiększenia stateczności pracy układu.

Transformatory będą 1-fazowe (łączone w grupy 3-fazowe) o mocy 112 MVA każdy, o przekładni 16/370 kV i o napięciu zwarcia 9%. Poza tym będą zainstalowane 3-fazowe transformatory regulacyjne o mocy przejściowej 27 MVA i napięciu 16/±30 kV. Na napięciu 16 kV będą zainstalowane również opory bierne bocznikujące o mocy rzędu 100 MVA.

Dla zmniejszenia prądów zwarcia po stronie 16 kV transformatory 1-fazowe posiadają obwód magnetyczny o 5 rdzeniach i mają 3 oddzielne uzwojenia, zasilane każde przez jeden generator. Wobec powyższego generatory nie będą połączone równolegle po stronie 16 kV.

Linia Harspranget — Midskog (485 km) będzie posiadała po 2 bliźniacze stalowo-aluminiowe przewody na fazę, każdy o przekroju 592 mm<sup>2</sup> i średnicy 31,7 mm. Odległość między przewodami bliźniaczymi 45 cm, odległość między fazami 12 m.

Oporność omowa linii:  $R = 0,028 \Omega/\text{km}$ . Oporność indukcyjna  $X = 0,341 \Omega/\text{km}$ . Przewodność pojemnościowa  $\omega B = 3,45 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1}/\text{km}$ .

Moc ładowania powyższego odcinka linii wyniesie 250 MVA przy 380 kV.

W pośredniej stacji transformatorowej w Midskog, znajdującej się przy elektrowni wodnej o mocy 110 MVA, sieć 380-kilowoltowa będzie połączona z siecią 220-kilowoltową za pośrednictwem transformatorów o ogólnej mocy ok. 250 MVA. Opory bierne bocznikujące o mocy rzędu 120 do 160 MVA będą przyłączone do trzecich uzwojeń transformatorów na 380/220 kV.

Linia Midskog-Hallsberg (485 km) będzie posiadała dane takie same, jak poprzednio opisany odcinek.

Końcowa stacja transformatorowa w Hallsberg połączy sieć 380-kilowoltową z siecią 220-kilowoltową za pośrednictwem transformatorów o ogólnej mocy ok. 500 MVA. Prócz kompensatora synchronicznego o mocy 75 MVA będą zainstalowane opory bierne bocznikujące o mocy rzędu 80—120 MVA. Drugi podobny kompensator przewiduje się w przyszłości.

Wszystkie punkty zerowe transformatorów na 380 kV będą bezpośrednio uziemione.

W układzie sieci 380- i 220-kilowoltowych, mających współpracować ze sobą, będą zachowane (gwoli zapobieżenia zakłóceniom, pochodzącym od uszkodzeń w sieciach 220-kilowoltowych) istniejące w nich środki zabezpieczające, a mianowicie: cewki Petersena, wyłączanie bardzo szybkie, ponowne samoczynne włączanie wyłączników liniowych i samoczynne wyłączanie generatorów w przypadku samoczynnego wyłączenia linii.

Głównymi przedmiotami badań przy projektowaniu omawianego układu przesyłowego były: zjawisko ulotu z punktu widzenia strat i zakłóceń radiofonicznych oraz ustalenie poziomu izolacji dla wyposażenia linii i stacji transformatorowych. Pomiarzy były prowadzone częściowo na liniach istniejących, częściowo na linii doświadczalnej o długości 480 m, zainstalowanej w Instytucie badawczym, w których napięć w Upsali.

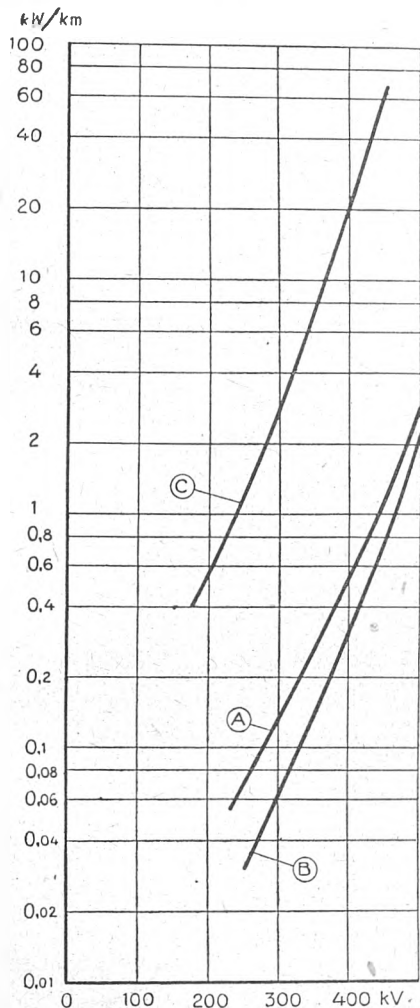
Krzywe na rys. 15 podają straty ulotowe w linii 380-kilowoltowej o przewodach opisanych wyżej. Na osi odciętych podane są napięcia robocze, na osi rzędnych — straty w kW/km dla trzech faz. Krzywa A podaje średnie straty przy dobrej pogodzie, krzywa B — przy pogodzie najlepszej, krzywa C — przy pogodzie najgorszej (gęsta mgła i tworzenie się sadzi). Krzywe podane są dla poziomu morza. Zwiększenie wysokości o 100 m powoduje zmniejszenie krytycznego napięcia ulotu o 1,2%.

Aby móc ocenić gospodarcze znaczenie strat na ulot, zbadano ich zmienność wzdłuż linii oraz w funkcji czasu, z uwzględnieniem zmiany warunków atmosferycznych. Na tej podstawie uzyskano krzywe względnego czasu trwania

strat dla danego krótkiego odcinka linii (rys. 16) oraz dla całości strat wzdłuż całej linii (rys. 17). Na podstawie tych krzywych ustalono następujące zależności w liczbach względnych:

- |  |         |
|--|---------|
| a) średnie straty przy dobrej pogodzie równe najmniejszym stratom całej linii                    | 1       |
| b) najmniejsza wartość strat dla poszczególnych krótkich odcinków linii przy pogodzie najlepszej | ok. 0,5 |
| c) największa wartość strat dla poszczególnych krótkich odcinków linii przy pogodzie najgorszej  | ok. 50  |
| d) największa wartość strat dla całej linii przy pogodzie najgorszej                             | ok. 10  |
| e) średnia wartość roczna strat dla całej linii  | ok. 4   |

Straty na ulot mają poważne znaczenie gospodarcze przy wyborze rodzaju i wymiarów przewodu oraz korzystniejszego napięcia roboczego.



Rys. 15. Straty na ulot w linii 380-kilowoltowej

Co do zakłóceń radiofonicznych powodowanych omawianą linią, to wartość pola zakłócającego jest tutaj mniejsza niż przy istniejących liniach na 220 kV.

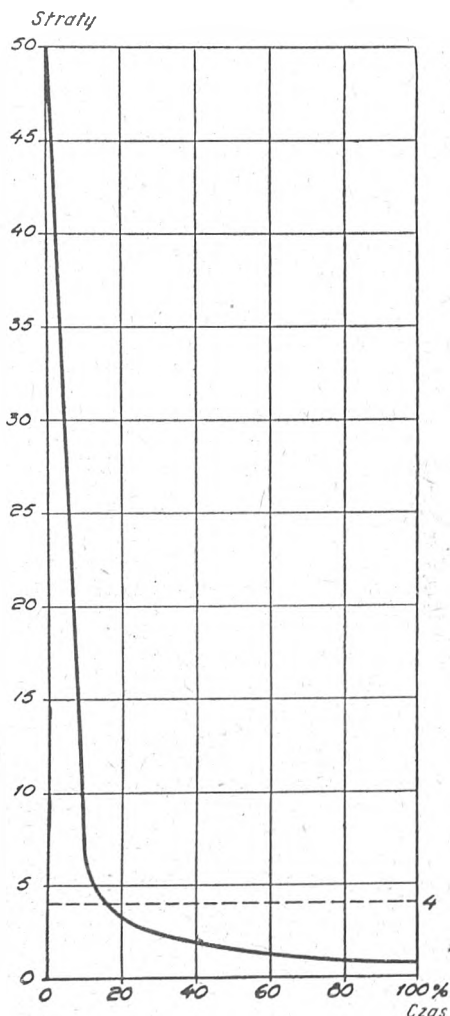
Poziom izolacji transformatorów i aparatury ma odpowiadać napięciu udarowemu 1775 kV. Dopuszczalna wielokrotność przepięć łączeniowych wynosi 3,7—4,0. Łańcuchy izolatorów liniowych, po 20 szt. izolatorów kołpakowych o skoku 170 mm, z pierścieniami ochronnymi u dołu i różkami u góry, będą posiadały następujące charakterystyki przeskołu:

|                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| falą udarową 1/50 na sucho      | 1750 kV (wartość maksym.) |
| " " " " na moko                 | 1680 kV " "               |
| napięciem 50 okr./sek. na sucho | 990 kV (wart. skuteczna)  |
| " " " " na moko                 | 800 kV " "                |

Linia będzie posiadała 2 linki odgromowe zawieszono tak, że kąt ochrony przy słupach będzie wynosił 24°,

w środku zaś przęsła o normalnej rozpiętości 330 m będzie wynosił 20°.

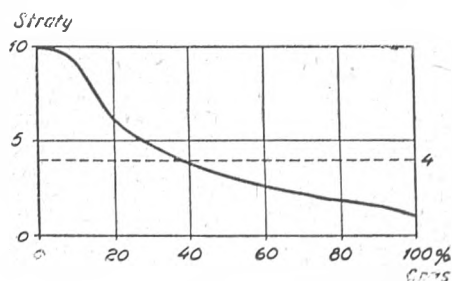
Wobec złej przewodności gruntu wzdłuż trasy linii, dla osiągnięcia średniej wartości uziemienia słupa 38 omów (przeciętna wielkość dla szwedzkich linii 220-kilowoltowych), trzeba będzie wykonywać uziemienia poszczególnych słupów za pomocą specjalnych konstrukcji („kru-



Rys. 16. Krzywa względnego czasu trwania strat na ulot dla krótkiego odcinka linii 380-kilowoltowej

czyh łap“), zużywającej 140 m zakopanego przewodu na słup. Istnieje tendencja do zredukowania przeciętnej wartości uziemienia słupów linii 380-kilowoltowej do ok. 20 omów.

Transformatoriki napięciowe będą typu pojemnościowego dzielnika napięcia o pojemności 0,006  $\mu\text{F}$  na fazę i będą przyłączone do zaczeptu  $17/\sqrt{3}$  kV. Będą one jednocześnie służyły do przyłączenia telekomunikacyjnego wiel-



Rys. 17. Krzywa względnego czasu trwania strat na ulot w linii 380-kilowoltowej

kiej częstotliwości i zabezpieczeń odgromowych. Transformatoriki prądowe będą zwykłego typu o małej zawartości oleju.



Wyłączniki na 380 kV będą powietrzne (15 atm.) na prąd znamionowy 1 000 A, o mocy wyłączalnej 8 000 MVA przy 350 kV. Całkowity czas wyłączenia 0,1 sek. Przewidziane jest wyłączenie 1-fazowe oraz ponowne włączenie. Działanie przekąźników za pośrednictwem wysokiej częstotliwości nośnej.

Zagadnienia specjalne. Czynnikiem, który wywiera zapewne największy wpływ na gospodarczą kalkulację linii, jest poziom izolacji ustalony dla linii, a w większym jeszcze stopniu poziom izolacji dla urządzeń zainstalowanych na jej krańcach. Te poziomy izolacji w znacznym stopniu zależą od sposobu uziemienia punktu zerowego układu. Dla napięć wyższych od 220 kV rozwiązaniem jedynie słusznym wydaje się bezpośrednie i stałe uziemienie wszystkich punktów zerowych transformatorów. Pozwala to na zastosowanie niższych poziomów izolacji oraz na użycie odgromników wyregulowanych na napięcie rzędu 75% największego napięcia roboczego. W wyniku przeprowadzonych badań można przypuszczać, że odgromniki takie mogą skutecznie odprowadzać ładunki o natężeniu do 5 000 A.

Przy nagłym wyłączeniu linii, np. przy 380 kV na krańcu odbiorczym, mogą powstać znaczne wzrosty napięcia: ok. 380 kV w stosunku do ziemi na początku linii oraz ok. 485 kV na jej końcu. Okoliczność ta ma wydatny wpływ na ustalenie poziomu izolacji transformatorów i aparatury.

Koszt transformatorów krańcowych linii, pracujących przy pełnym obciążeniu, właściwym dla danego napięcia (mowa o napięciach najwyższych), zbliża się do kosztów samej linii, gdy długość jej wynosi ok. 160 km.

W dzisiejszym stanie rzeczy stosowanie do przesyłania energii elektrycznej na b. wielkie odległości napięć wyższych od 360—380 kV jest gospodarczo ograniczone kosztem transformatorów. Do wniosków takich dochodzą Amerykanie na podstawie gospodarczych kalkulacji przesyłania mocy rzędu 200 do 350 MW na odległości do 1000 km oraz przesyłania mocy 1000 MW na odległości ok. 320 km.

Z punktu widzenia gospodarczego najkorzystniejszą jest praca linii, przy której obciążenie jej może być powiększone do granic możliwych dla danego poziomu izolacji. Pożądany stosunek oporności czynnej linii do biernej ma wynosić ok. 0,1 przy 60 okr./sek.

Wielkości mocy gospodarczo najkorzystniejsze wahają się w granicach od ok. 160% mocy naturalnej przy odległościach przesyłania ok. 160 km do 100% wartości tej mocy przy odległościach rzędu 1000 km.

Wysokość poziomu izolacji nie musi wzrastać proporcjonalnie do znamionowego napięcia linii, lecz może być względnie obniżona przy napięciach wyższych od 220 kV. Stopień odporności na przepięcia pochodzenia atmosferycznego jest już w liniach 220-kilowoltowych dostatecznie wysoki i nie ma potrzeby znacznego zwiększania go dla linii wyższych napięć.

W sprawie przepięć pochodzenia łączeniowego należy podkreślić, że współczesne wyłączniki nie powinny dopuszczać więcej niż jedno ponowne zapalenie się łuku. Na podstawie przeprowadzonych badań można spodziewać się, że przepięcia łączeniowe w układach z bezpośrednio uziemionym punktem zerowym nie będą przekraczały 3-krotnej wielkości napięcia fazowego, gdy w układach z punktem zerowym izolowanym wielkość ta może być nawet 5-krotna.

Praktyka bezpośredniego uziemienia punktów zerowych w połączeniu z jednokrotnym tylko zapaleniem się łuku (przy wyłączeniu) redukuje w znacznym stopniu zakres zjawisk przejściowych przy wyłączeniu i jeszcze bardziej uzasadnia obniżenie poziomu izolacji.

W układach energetycznych b. wysokiego napięcia z bezpośrednio uziemionymi punktami zerowymi — w porównaniu z układami posiadającymi cewki gasikowe — występuje wydatne obniżenie kosztów, gdyż poziomy izolacji transformatorów i linii mogą być obniżone, jak również ze względu na ulot może być zmniejszona średnica przewodów. Oszczędności wynikają nie tylko z obniżenia kosztów zakładowych, lecz i z polepszenia pewnych warunków eksploatacyjnych, a mianowicie: zabezpieczenia linii, działania odgromników, wyposażenia stacji i zastosowania nowoczesnych wyłączników.

Dwa omawiane wyżej czynniki — straty na ulot i poziom izolacji, wywierające decydujący wpływ na koszt budowy i eksploatacji linii, są podstawą ciekawej w tym względzie kalkulacji amerykańskiej, szczególnie jeśli spojrzymy na nią nie z punktu widzenia absolutnej, lecz względnej wielkości kosztów.

Tablica II podaje roczne koszty eksploatacyjne w dolarach na 100 mil (160 km) linii o napięciu 345 kV, z przewodami pojedynczymi o średnicy 44,5 mm, wyposażonej w łańcuchy izolatorów o normalnej liczbie 20 ogniw. Koszt zakładowe linii przyjęto na 45 tys. dol. na 1 milę (1,6 km). Roczne koszty stałe, zależne od kosztów zakładowych, przyjęto w wysokości 10%. Całość kosztów strat na ulot i w żelazie oszacowano na 100 dol./kW.

Tablica II. Roczne koszty eksploatacyjne

| Obciążenie (MW)          | 100 | 200  | 400   |
|--------------------------|-----|------|-------|
| Koszta stałe (tys. dol.) | 450 | 450  | 450   |
| Straty w miedzi „ „      | 67  | 259  | 1 033 |
| Straty na ulot „ „       | 13  | 13   | 13    |
| Razem (tys. dol.)        | 530 | 722  | 1 496 |
| Średnio (dol./kW)        | 5,3 | 3,61 | 3,74  |

Zmniejszenie długości łańcucha izolatorów (obniżenie poziomu izolacji) oraz odległości między przewodami obniża koszt linii i w pewnej mierze zwiększa moc naturalną linii. W odwrotnym do tego stosunku rosną straty na ulot, powodujące konieczność zwiększenia średnicy przewodów. Jak się przy tym układają stosunki, ilustruje przykładowo tabl. III, dotycząca wspomnianej linii na 345 kV. W tablicy podane są straty na ulot w kW na 1 milę (1,6 km).

Tablica III. Zależność strat od długości łańcucha

| Liczba izolatorów w łańcuchu                               | 20    | 24    | 30    |
|--|-------|-------|-------|
| Najmniejszy poziom napięcia udarowego (kV)                 | 1 770 | 2 100 | 2 600 |
| Napięcie przeskoku na sucho*) przy 60 okr./sek. (kV skut.) | 1 140 | 1 350 | 1 700 |
| Odległość między przewodami (m)                            | 10,06 | 11,28 | 12,8  |
| Wielkość strat przy średnicy przewodu:                     |       |       |       |
| 39,6 mm (kW na milę)                                       | 1,60  | 1,38  | 1,12  |
| 40,8 „ „   | 1,46  | 1,28  | 1,06  |
| 44,5 „ „   | 1,28  | 1,10  | 0,92  |
| 48,2 „ „   | 1,14  | 0,98  | 0,80  |

\*) Napięcie przeskoku na mokro wynosi ~ 70% podanych wielkości.

Wielkość powyższych strat na ulot została obliczona na podstawie średnich rocznych strat, przyjętych jako 2-krotnie wyższe niż straty przy dobrych warunkach atmosferycznych.

Szwajcarzy na podstawie swoich badań nad zjawiskiem ulotu na doświadczalnej linii b. wysokiego napięcia z przewodami o średnicy 50 mm dochodzą do wniosku, że przy projektowaniu tych linii należy się liczyć, jako z wartościami przeciętnymi, z następującymi stratami na ulot: ponad 1 kW/km na 1 przewód linii 150-kilowoltowej oraz analogicznie ponad 5 kW/km przy linii 400-kilowoltowej.

Te same badania poświęcają dużo uwagi stratom na ulot w zależności od warunków atmosferycznych. Krzywe na rys. 18 podają wyniki tych badań. Na osi odciętych mamy napięcia skuteczne względem ziemi, na osi rzędnych wielkość strat w kW/km dla jednego przewodu. Krzywe od 1 do 4 odnoszą się do pogody słonecznej lub też pochmurnej i lekko mglistej; krzywe 5 i 6 — do niewielkich opadów śnieżnych; krzywe od 7 do 9 — do silnych opadów śnieżnych oraz deszczowych.

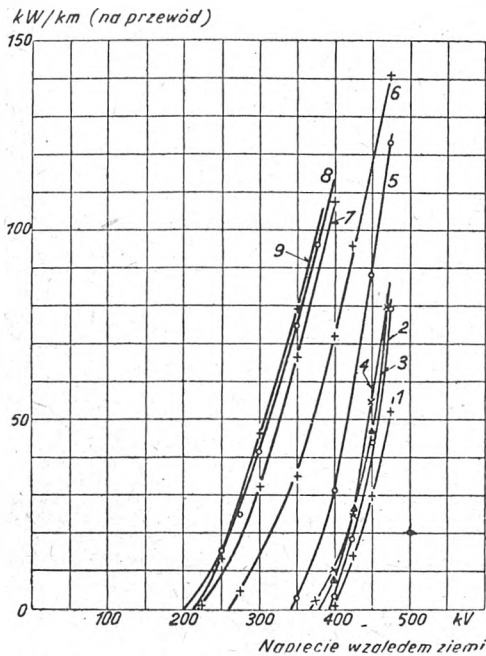
Obliczenia oparte na wynikach tych doświadczeń wykazują, że dla 2-torowej linii o napięciu 400 kV i długości 600 km, z przewodami pojedynczymi o średnicy 50 mm, straty na ulot przy deszczu mogą osiągnąć 120 000 kW.

Jako środek, pozwalający zmniejszyć w niekorzystnych warunkach atmosferycznych straty na ulot, brane jest

pod uwagę w liniach b. wysokiego napięcia czasowe obniżenie napięcia roboczego, co jest godne zalecenia również przy małych obciążeniach.

W sprawie wzajemnej wielkości napięć na początku i końcu wielkich linii przesyłowych istnieje tendencja, ażeby napięcia te były, jeśli już nie równe sobie, to przynajmniej bliskie. Pożądane jest również, ażeby różnica między napięciem znamionowym a największym roboczym nie przekraczała 5%.

Ręczna regulacja napięcia jest możliwa wtedy, kiedy opór bierny obciążenia pojemnościowego przekracza



Rys. 18. Straty na ulot w zależności od pogody

wzdłużny opór bierny synchroniczny generatorów, regulacja zaś samoczynna — kiedy przekracza poprzeczny opór bierny samoczynny.

Dla możliwości ręcznego włączania linii pod napięcie i zasilania jej w stanie jałowym przez jeden tylko (o odpowiedniej mocy) generator winien on posiadać mały opór bierny synchroniczny, jak również winny być zastosowane w tym celu w jego obwodzie bocznikujące dławiki.

Przy wielkościach obciążeń, nie przekraczających mocy naturalnej linii, napięcie pośrodku linii winno być utrzymane na najwyższej dopuszczalnej dla danej linii wysokości; napięcia na krańcach będą zatem nieco niższe. Przy obciążeniach zaś wyższych od mocy naturalnej napięcia na krańcach winny być utrzymane na najwyższej dopuszczalnej wysokości.

### 3. Przesyłanie prądem stałym.

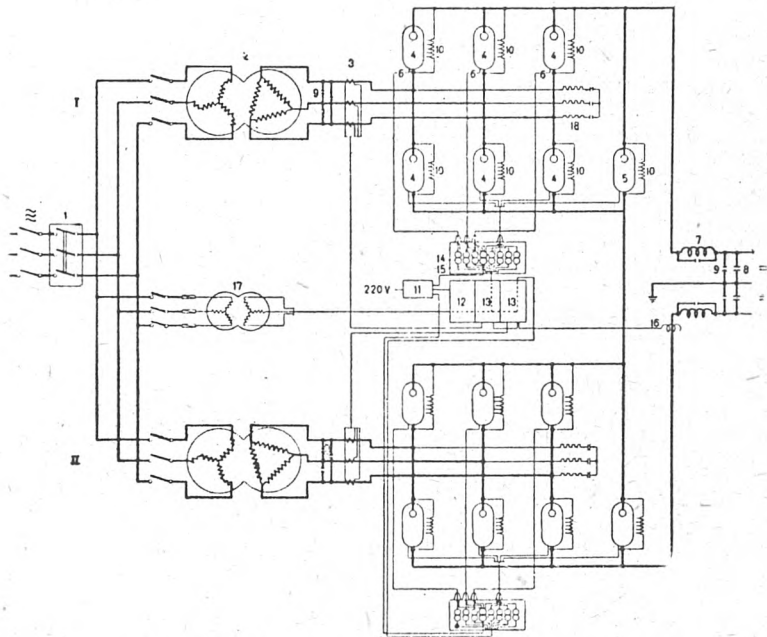
Jak już wspomniano wyżej, nie mamy dotychczas poważniejszych danych eksploatacyjnych w dziedzinie przesyłu wielkiej mocy na znaczną odległość za pośrednictwem prądu stałego. Dotychczasowe próby nie przekraczały kilku lub kilkunastu megawatów (maksimum 25 MW).

W Szwecji, gdzie sprawą przesyłania prądem stałym interesują się najwięcej, linia doświadczalna Trollhättan—Mellerud stanowi instalację reprezentującą zaledwie w skali 1:25 wielkość przyszłych spodziewanych ostatecznie urządzeń. Schemat ogólnej stacji przekształtnikowej podany jest na rys. 19.

Realizacja wielkiego szwedzkiego układu przesyłowego na 380 kV prądu zmiennego odciąża w znacznym stopniu niezbędne środki finansowe i absorbuje siły techniczne ze szkodą dla zagadnień prądu stałego. Mimo to — wobec niewystarczającej wielkości dotychczasowych doświadczalnych urządzeń prądu stałego — zdecydowano rozbudować stację Trollhättan celem zbadania w dostatecznie dużej skali urządzeń przekształceniowych, następujących wcięż jeszcze wiele kłopotów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.

Doświadczenia będą dokonywane na trzech przekształtnikach jednofazowych, posiadających 5 anod połączonych

równolegle; będą one połączone jako układ trójfazowy w gwiazdę; obciążenie będzie w postaci opornika wodnego; część tylko anod będzie przyłączona do transformatora wysokiego napięcia; inne anody będą przyłączone do specjalnego transformatora niskiego napięcia i z tej strony będą zasilane na pełne obciążenie dokładnie w tych samych warunkach, co anody włączone na transformator wysokiego napięcia. Jest to układ stosowany często do prób prostowników średnich napięć. W ten sposób wymiary transformatora i zużycie energii będą zmniejszone. Dane charakterystyczne zaworów są następujące: 400 A przy 31,5 kV



Rys. 19. Schemat ogólnej stacji przekształtnikowej Trollhättan — Mellerud

1. Wyłącznik samoczynny prądu zmiennego
2. Transformatory główne
3. Transformatorki prądowe
4. Główny zawór prostownikowy
5. Zawór prostownikowy bocznikujący
6. Pomocnicze zasilanie w punkcie 6
7. Cewki indukcyjne
8. Kondensatory
9. Iskierniki
10. Potencjometry
11. Trójfazowe pomocnicze zasilanie
12. Tablica z miernikami i rozrządem wyłącznika
13. Urządzenie do sterowania siatkowego
14. Transformatory izolujące
15. Trójfazowe transformatory izolujące
16. Transduktory miernicze
17. Urządzenia tłumiące.

prądu stałego w trójfazowym układzie pracy i odpowiednio 400 A i 63 kV przy układzie 6-fazowym. Pozwoli to na dokonywanie długotrwałych prób z przekształtnikami o mocy 25 MW przy 63 kV.

Jako linia przesyłowa ma służyć czwarty przewód zawieszony na wspornikach linii 3-fazowej 220-kilowoltowej; jako przewód powrotny służyłaby bądź ziemia, bądź też przewód odgromowy linii 3-fazowej. Nie były to wówczas, jak zwykle, przewód stalowy, lecz przewód miedziany lub stalowo-aluminiowy izolowany na niewielkie napięcie.

Gdy powyższe próby dadzą wyniki pomyślne, przewiduje się następnie uruchomienie urządzenia przesyłowego na 100 MW przy 250 kV, a w dalszej kolejności takiego, które pozwoliłoby przesyłać moc rzędu 300 do 600 MW na odległość rzędu 1000 km.

Będą to odległości, przy których prąd stały będzie mógł skutecznie konkurować z prądem 3-fazowym (poczynając od 500—600 km). Tłumaczy się to tym, że linie przesyłowe wysokiego napięcia prądu stałego są mniej kosztowne w budowie i eksploatacji od linii prądu 3-fazowego, natomiast odwrotnie rzecz się ma ze stacjami krańcowymi tych linii, gdyż stacje prądu stałego posiadają bardziej skomplikowane urządzenia, transformatory muszą być o konstrukcji specjalnej i posiadać liczne organy pomocnicze, również budynki tych stacji wypadają droższe.



Poza tym z uwagi na dość długi czas uruchamiania tych urządzeń potrzebne jest, ze względu na natychmiastową rezerwę, stałe utrzymywanie w ruchu rezerwowego zespołu przekształtnikowego, co pociąga za sobą dodatkowe koszty i zużycie urządzeń.

W przewidywaniach realizacji na prądzie stałym wielkiego przesyłu energii z północy na południe Szwecji, kiedy będą wchodziły w grę odległość 1000 km, moc 500 MW i napięcie 500 kV, a więc prąd rzędu 1000 A, jest rozważana również alternatywa powrotu prądu przez ziemię, co byłoby rozwiązaniem najtańszym. Przy tym jednak rozwiązaniu trzeba się liczyć ze znacznymi prądami błędzącymi w ziemi i w szynach kolejowych, powodującymi korozję kabli ziemnych i zakłócającymi sygnalizację kolejową. Dla uniknięcia tych ujemnych skutków przewiduje się umieszczenie elektrody na południowym krańcu w morzu, w punkcie wybrzeża zachodniego. Na krańcu północnym przewiduje się możliwość znalezienia pokładów mineralnych, które mogłyby posłużyć za elektrodę; w wypadku niemożliwości takiego rozwiązania należałoby umieścić północną elektrodę również w morzu, na zachodnich wybrzeżach Norwegii. Doświadczenia wykazały, że koszt zanurzonych w morzu elektrod nie byłby wielki, jednakże przewody dość znacznej długości, łączące stacje krańcowe z elektrodami, choć byłyby niezbyt wysokiego napięcia, pociągnęłyby za sobą wydatki, które częściowo zniweczyłyby gospodarcze korzyści użycia ziemi, jako przewodu powrotnego.

Według przybliżonych obliczeń porównawczych kosztu budowy stacji krańcowych o mocy rzędu 300 MW wynoszą na 1 kVA mocy zainstalowanej: dla prądu stałego o napięciu  $2 \times 250$  kV 111 koron szwedzkich (30,8 dol.), dla prądu zaś zmiennego o napięciu 380 kV — 49 koron szwedzkich (13,6 dol.).

Porównanie kosztów jedno i dwutorowych linii przesyłowych prądu stałego i zmiennego wskazuje na to, że stosunek ceny linii jednotorowej i dwutorowej jest mniejszy przy prądzie stałym niż przy zmiennym, co można objaśnić warunkami idealnej symetrii pojedynczego obwodu o 2-ch przewodach przy prądzie stałym.

Moc przesyłana linią prądu stałego nie zawiera składnika mocy biernej, lecz stacje przekształtnikowe wymagają pewnej mocy biernej do swej pracy przetwarzania prądu. Prostowniki pracują z  $\cos \varphi = 0,9$  —  $0,95$  opóźniającym, natomiast falowniki z  $\cos \varphi = 0,8$  —  $0,9$  wyprzedzającym. Innymi słowy w tym drugim przypadku wymagana jest od sieci odbiorczej prądu zmiennego moc bierna ok.  $0,5$  —  $0,75$  kVA na każdy dostarczony kilowat.

Dla zapewnienia stałości częstotliwości i napięcia moc maszyn synchronicznych odbiorczej sieci prądu zmiennego winna być tego samego rzędu co moc urządzeń przesyłowych prądu stałego.

Przebieg rozwoju sieci prądu zmiennego wykazuje, że moce zwarcia były w nich początkowo niewielkie, lecz w ciągu ostatniego 20-lecia, w miarę podwyższania się napięć i rozwoju pracy równoległej, ogromnie wzrosły, i dziś dałyby się określić w liczbach następujących:

|                              |          |      |      |      |
|------------------------------|----------|------|------|------|
| Napięcie (kV)                | 10       | 110  | 220  | 400  |
| Normalna moc przesyłana (MW) | 4—10     | 50   | 120  | 600  |
| Moc zwarcia (MVA)            | 400—1000 | 2500 | 3500 | 8000 |

Przy zastosowaniu prądu stałego do wielkiego przesyłu energii należy oczekiwać, że trudności powodowane wzrostem prądów zwarcia będą o wiele większe niż przy prą-

dzie zmiennym. To też z biegiem czasu, gdy praca równoległa układów przesyłowych prądu stałego stanie się faktem dokonanym wraz z rozwojem wyłączników prądu stałego, prądy zwarcia będą musiały z konieczności ulec ograniczeniu, czego nie obserwujemy obecnie w dostatecznym stopniu przy prądzie zmiennym.

Wobec możliwości dopuszczenia w kablach prądu stałego o wiele wyższych napięć izolacji niż przy prądzie zmiennym — szczególnie ponętne są przy prądzie stałym perspektywy przesyłu energii za pomocą linii kablowych b. wysokiego napięcia, które może być mogły skutecznie konkurować z napowietrznymi liniami prądu zmiennego.

Układy prądu stałego mogą stanowić elastyczne ogniwo w pracy równoległej układów prądu zmiennego o różnych częstotliwościach, w szczególności gdy chodzi o sprawy regulacji mocy i częstotliwości. Również w innych warunkach prąd stały może ujawnić swoje walory: gdyby np. linia przesyłowa b. wysokiego napięcia prądu stałego zasilała z odległej elektrowni wodnej sieć prądu zmiennego, to pozwoliłoby to turbinom pracować przy zmiennych szybkościach z lepszą sprawnością dla różnych obciążeń.

W sprawie rozdziału energii elektrycznej należy przypuszczać, że prąd 3-fazowy zachowa swoje obecne pozycje zdobyte dzięki nieskomplikowanym i gospodarczo opłacalnym sposobom transformacji i łatwości, z którą rozdział ten może być dokonywany i kontrolowany.

#### SPIS REFERATÓW

1. P. Ailleret et F. Cahen. La station expérimentale à 500 kV de Chevilly. Résultats d'une année d'essais: emploi de conducteurs en faisceaux, effet couronne, rapprochements.
2. D. Renaudin. Station expérimentale à 400 kV de Chevilly. Mesure des pertes et étude de l'effet couronne.
3. J. W. Gross et C. F. Wagner. Les essais à 500 kV de Tldd.
4. W. Borgquist et A. Vrethem. Le réseau suédois à 380 kV.
5. F. Beldi. Nouvelles recherches sur les pertes par effet de couronne d'une ligne de transmission.
6. J. Herlitz. Problèmes relatifs au fonctionnement des réseaux de transport d'énergie à haute tension et à grande distance.
7. Ph. Sporn et A. C. Monteith. Le transport de l'énergie électrique à très haute tension.
8. S. B. Crary. Étude de la transmission d'énergie en courant alternatif à longue distance du point de vue économique.
9. Dr Aeschlimann. Recherches concernant la coordination de l'isolement dans les installations à haute tension.
10. L. Bellaschi. Coordination et protection de l'isolement des stations.
11. H. M. Lacey. Influence de l'effet de couronne dans l'atténuation des surtensions sur les lignes aériennes.
12. V. V. Gay, S. L. Zayenz et M. V. Kostenko. L'effet de couronne de choc.
13. P. J. Ryle. Calcul pratique des transmissions d'énergie à longue distance en courant alternatif; construction et emploi d'une machine à calcul à diagramme circulaire.
14. Ph. Sporn. Rapport du Comité International d'études pour la transmission de courant alternatif à très haute tension.
15. A. U. Lamm. Progrès réalisés en Suède dans le transport de l'énergie en courant continu à haute tension.
16. C. E. Söderbaum, I. Beckius, M. Böckman et R. Lundholm. Transport en courant continu avec retour par la terre.
17. F. Busemann. Les transmissions d'énergie à haute tension en courant continu du point de vue des études de réseaux importants.

INŻ. ZYGMUNT SKOCZYŃSKI

Główny Instytut Elektrotechniki

## Oporności maszyn synchronicznych

Treść. Tematem artykułu jest próba usystematyzowania niektórych wielkości, charakterystycznych dla maszyn synchronicznych, oraz ustalenia definicji tych wielkości i wyjaśnienia ich znaczenia fizycznego. Analiza warunków pracy i zachowania się maszyn synchronicznych ma duże znaczenie w teorii równowagi statycznej i dynamicznej układu energetycznego, jak również przy obliczaniu prądów zwarcia w rozbudowanych układach energetycznych. Wzrost mocy wyłączalnej wyłączników i strona ekonomiczna przesyłania coraz to większych mocy zapoczątkowały rozwój nowych teorii, albowiem sposób przedstawienia maszyny synchronicznej przy pomocy oporności synchronicznej oraz oporności, związanej z rozproszeniem stojana, okazał się niewystarczający. Zachowanie się maszyny synchronicznej w warunkach przejściowych oraz w warunkach ustalonych leży niewątpliwie u podstaw nowych koncepcji. W pracy niniejszej uwzględniono również wpływ nasycenia magnetycznego oraz wymagania, związane z ustaleniem stałych zastępczych dla maszyny w warunkach, narzuconych zwarcieciem niesymetrycznym. Stałe te rozpatrzone są z punktu widzenia ściślejszej analizy rozproszenia magnetycznego. Zwrócona jest również uwaga na zasadnicze różnice pomiędzy europejską i amerykańską metodą przedstawienia maszyny synchronicznej. Autor rozpatruje oporność przejściową wstępną i oporność udarową oraz różnego rodzaju oporności synchroniczne. Wreszcie omawia zasadnicze własności stałych dla maszyn synchronicznych ze względu na zależność tych własności od nasycenia magnetycznego.

Спротивления синхронных машин. Темой статьи является систематизация некоторых количеств, характеризующих синхронную машину, установление номенклатуры этих величин и выяснение их физического смысла. Анализ условий работы и расчета синхронной машины имеет большое значение в теории статического и динамического равновесия электроэнергетической системы; а также при расчете токов короткого замыкания в больших энергетических системах. Растущая мощность выключения современных выключателей и экономическая сторона работы все более и более крупных мощностей привели к созданию новой теории, но применение синхронных машин синхронных сопротивлений и сопротивлений с рассеиванием статора, оказалось недостаточным. Поведение синхронной машины в аварийных и в установившихся условиях составляет основу для короткого замыкания. Обращено внимание на существенную разницу между европейским и американским методом изображения синхронной машины. Рассматривается переходное начальное сопротивление, импульсное сопротивление и динатическое сопротивление синхронных сопротивлений. Обсуждаются свойства постоянных величин синхронных машин в связи с зависимостью этих свойств от магнитного насыщения.

Reactances of synchronous machines. The author attempts to systematize certain of the quantities characteristic for synchronous machines, as well as to fix a definition for these quantities and to elucidate their physical sense. An analysis of operating conditions and of the performance of a synchronous machine is of material importance in the theory of static and dynamic stability of a power system, as well as for the calculation of short-circuit currents in extensive power systems. The increase in the breaking capacity of circuit breakers and the economic considerations in respect of the increasingly higher power transmission have prompted the development of new theories, considering that the method of characterizing a synchronous machine merely according to synchronous reactance and to reactance connected with stator leakage field has proved inadequate. The performance of a synchronous machine under transient and steady conditions undoubtedly constitutes the basis for these new conceptions. Consideration has also been given to the influence of magnetic saturation, as well as to the requirements pertaining to the determination of alternative constants for a machine under conditions enforced by asymmetrical short-circuits. These constants are being considered with a view to more accurate analysis of the magnetic leakage. Attention has further been given to the cardinal differences between the European and American methods of characterizing synchronous machines. The article deals also with initial transient and sub-transient reactance, as well as with various forms of synchronous reactances. Finally, the article deals with the cardinal properties of constants for synchronous machines, due to the contingence of these properties on magnetic saturation.

1. Wstęp.

Szybki rozwój techniczny zagadnienia przesyłu wielkich mocy na duże odległości oraz rozbudowa sieci wysokich napięć i tworzenie sieci zamkniętych zmusiło do szukania nowych dróg i metod rozwiązywania problemów, które dawniej nie istniały, bądź były świadomie pomijane milczeniem.

Nasuwały się tu przede wszystkim trudności związane z ujęciem analitycznym:

- 1) zwarć niesymetrycznych,
- 2) równowagi rozbudowanych układów energetycznych w stanie ustalonym i niestalonym.

Stosowane w takich przypadkach stare metody obliczeń i przestarzałe koncepcje — nawet fizyczne — dawały wyniki daleko odbiegające od rzeczywistości.

Jednym z bardzo zasadniczych zagadnień, które wymagało naświetlenia oraz daleko sięgających badań doświadczalnych i teoretycznych, było i jest obecnie zagadnienie właściwego przedstawienia prądnic synchronicznej w postaci określonej oporności biernej (oporność czynną pomijamy).

Blizsza analiza przebiegu składowej zmiennej prądu zwarcia w funkcji czasu wykazała, że składowa ta nie daje się przedstawić w postaci tylko jednej krzywej wykładniczej. W ciągu kilku pierwszych okresów prąd zwarcia

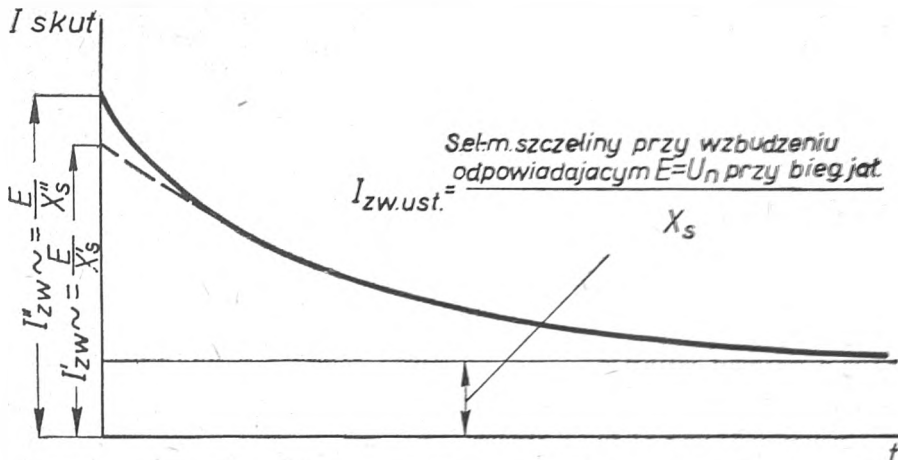
Przedstawienie maszyny synchronicznej w postaci oporności przejściowej głównej, czy też wstępnej, zależy od warunków jej pracy, nie występuje jednak wszystkich potrzeb. Szeroko rozwinięta współpraca wytwórci elektrycznych coraz bardziej wykazuje potrzebę bliższego i szerszego rozpatrzenia zagadnienia równowagi w stanie ustalonym i niestalonym.

Na tle tych właśnie zagadnień powstaje konieczność wprowadzenia pewnych zasadniczych modyfikacji przede wszystkim w stosunku do oporności synchronicznej.

Znaczenie i wykorzystanie oporności — przejściowej głównej ( $X'_s$ ), wstępnej ( $X''_s$ ) oraz synchronicznej ( $X_s$ ) — z punktu widzenia prądu zwarcia przedstawione jest na rys. 1.

Prowadzone w chwili obecnej prace Zakładu Wielkiej Mocy Głównego Instytutu Elektrotechniki w związku z obliczaniem prądów zwarcia i przepływu mocy oraz ustaleniem warunków równowagi przy współpracy równoległej wykazały konieczność usystematyzowania i uzgodnienia powyższych wielkości z danymi prądnic, pracujących w krajowej sieci wysokiego napięcia.

Wobec wagi powyższego zagadnienia Główny Instytut Elektrotechniki zamierza przeprowadzić próby i badania, mające na celu ustalenie najbardziej typowych przebiegów prądów zwarcia dla prądnic, z których pracą w sieci kra-



Rys. 1. Wartość skuteczna składowej zmiennej prądu zwarcia trójfazowego (zwarcie ze stanu nieobciążonego przy s. el.-m. =  $U_n$ )  
 $E$  s. el.-m. biegu jałowego bezpośrednio przed zwarcie równa  $U_n$

zmniejsza się według osobnej krzywej wykładniczej, dla której osią odciętych jest krzywa wykładnicza przedstawiająca przebieg prądu zwarcia po upływie dłuższego okresu czasu. Niewątpliwie, do ustalonego drogą doświadczalną przebiegu prądu zwarcia należało dostosować koncepcje fizyczne i ich teoretyczne uzasadnienie. W ten sposób powstało pojęcie oporności przejściowej głównej i wstępnej dla prądnic synchronicznej, które to oporności pozwalają obliczyć przejściowy główny i wstępny prąd zwarcia. Duże postępy w budowie wyłączników wysokiego napięcia i wielkich mocy potwierdziły nie tylko słuszność, ale również konieczność takiego ujęcia prądu zwarcia.

jowej należy się liczyć. Na tym tle będą dokonane badania natury teoretycznej, które pozwolą ustalić powyższe oporności z punktu widzenia jakościowego i ilościowego przy uwzględnieniu wymagań i możliwości naszej energetyki.

Artykuł niniejszy jest próbą usystematyzowania i uzgodnienia różnorodnych określeń i pojęć, z którymi najczęściej się spotykamy i które nieraz nasuwają zasadnicze wątpliwości.

W pracy niniejszej pominięto zasadniczo oporność czynną prądnic. Dlatego też określenie stałych zastępczych prądnic przy pomocy słowa „oporność“ należy rozu-

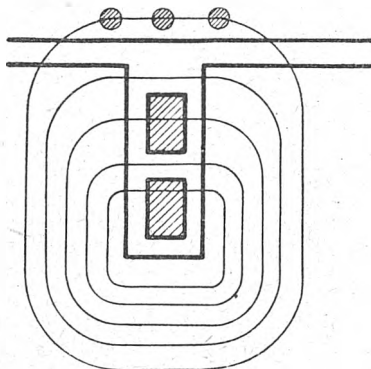


mieć jako oporność bierną charakteru indukcyjnego. Podane określenia, definicje i sens fizyczny rozpatrywanych wielkości w wielu przypadkach nie wyczerpują zagadnienia. Pozwalają one jednak zrozumieć zasadnicze tendencje występujące w nowoczesnych metodach obliczania.

Ogromny zakres zagadnień oraz szereg zasadniczych wątpliwości, które muszą powstawać w związku z treścią artykułu, mogą stanowić podstawę do dyskusji w szerszym gronie elektryków.

## 2. Oporność przejściowa wstępna $X_s^*$

Oporność ta związana jest z rozproszeniem stojana (żłobkowe, szczelinowe, czołowe) powiększonym o pewien składnik. Składnik ten zależy od rozproszenia, odpowiadającego tym liniom sił pola magnetycznego wytwarzanego przez uzwojenie tłumiące, które nie znajduje swych odpowiedników ani w strumieniu wytwarzanym przez uzwojenie stojana, ani w strumieniu uzwojenia wzbudającego. Oporność przejściowa wstępna uwzględnia więc wpływ rozproszenia uzwojenia tłumiącego. Należy jednak pamiętać, że wzrost rozproszenia (żłobkowego, szczelinowego, czołowego) zależy również od reakcji podłużnej twornika<sup>\*)</sup>. Przy uproszczeniu całego tego skomplikowanego rozumowania przyjmuje się nieraz, że wpływ uzwojenia tłumiącego na wzrost rozproszenia (żłobkowego, szczelinowego, czołowego) można uwzględnić w formie rozproszenia odpowiadającego tym liniom sił pola magnetycznego stojana, które zamykają się w żelazie wirnika na głębokości, odpowiadającej klatkowemu uzwojeniu tłumiącemu (połą-



Rys. 2

czonemu lub rozdzielonemu przy biegunach wydatnych z blach), lub — przy wirnikach turbogeneratorów z biegunami ukrytymi — na głębokości, na której działają powierzchniowe prądy tłumiące (rys. 2).

Jeżeli prądnicą posiada bieguny wydatne, ale bez uzwojenia tłumiącego, to zmiany magnetyczne powstałe w chwili zwarcia przenikną aż do uzwojenia wzbudającego wirnika i oporność przejściowa wstępna będzie niemal jednakowa z opornością przejściową główną.

Działanie uzwojenia tłumiącego oraz powierzchniowych prądów tłumiących wirnika polega na przeciwdziałaniu tych elementów zmianie strumienia w szczelinie w chwili zwarcia, co wywołuje zwiększenie prądu pierwotnego zwarcia. Jeżeliby nie istniał strumień rozproszenia skojarzony z elementami tłumiącymi, to — przy pominięciu rozproszenia związanego z obwodem wzbudzenia — oporność przejściowa wstępna byłaby odpowiednikiem jedynie rozproszenia samego stojana (żłobkowego, szczelinowego, czołowego). Działanie elementów tłumiących — zanim jeszcze rozpocznie się oddziaływanie uzwojenia wzbudającego — powoduje lekki pozorny wzrost oporności stojana, dając oporność przejściową wstępną. Przebieg składowej przejściowej wstępnej symetrycznego prądu zwarcia, która to składowa zanika w ciągu pierwszych okresów (wartości skuteczne), wyraża się związkiem

$$A = (I''_{zw} - I'_{zw}) e^{-t/T''_{zw}}$$

i jest przedstawiony na rys. 4. Składowa ta w chwili  $t = 0$  łącznie z prądem przejściowym głównym zwarcia określa prąd przejściowy wstępny zwarcia.

Bardzo trafne i jednocześnie niesłychanie proste ujęcie zależności oporności przejściowych — wstępnej i głównej — od rozproszenia:

<sup>\*)</sup> Subtransient reactance, réactance subtransitoire.  
<sup>\*)</sup> Reakcja podłużna stojana osłabia wpływ rozproszenia uzwojenia wzbudającego.

- 1) żłobkowego, czołowego i szczelinowego,
  - 2) uzwojenia wzbudającego,
  - 3) uzwojenia tłumiącego,
- oraz
- 4) reakcji podłużnej twornika
- podał Kostienko w swoim dziele o stanach nieustalonych w maszynach elektrycznych.

## 3. Oporność przejściowa główna $X'_s$

Znaczenie fizyczne oporności przejściowej wstępnej łatwiej znacznie jest zrozumieć po bliższym wyjaśnieniu sensu fizycznego oporności przejściowej głównej.

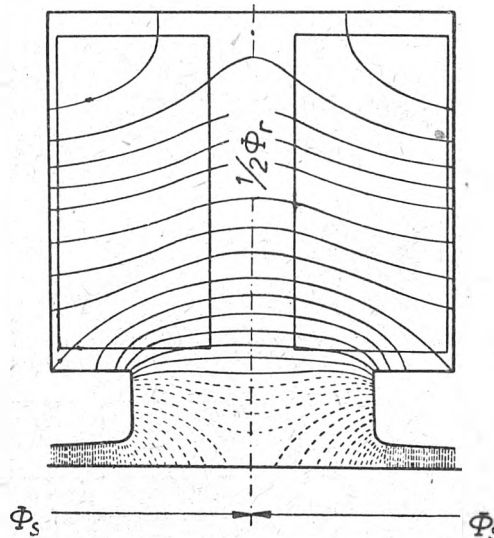
Oporność ta, jako wielkość miarodajna dla składowej zmiennej prądu zwarcia przy pominięciu zjawisk występujących w ciągu kilku pierwszych okresów, jest wynikiem wzajemnego oddziaływania uzwojenia stojana i uzwojenia wzbudającego.

W rozumowaniu poniższym pomijamy działanie uzwojenia tłumiącego oraz powierzchniowych prądów tłumiących.

W chwili zwarcia działanie rozmagasowujące prądu zwarcia w uzwojeniu stojana działa w kierunku zmniejszenia liczby skojarzeń magnetycznych w obwodzie wzbudzenia. Bezwładność magnetyczna obwodu wzbudzenia przeciwdziała tym zmianom, albowiem w uzwojeniu wzbudającym indukuje się prąd takiej wielkości, która kompensuje rozmagasowujące działanie prądu stojana.

Jeżeliby nie istniało rozproszenie magnetyczne w obwodzie wzbudzenia, to strumień szczeliny  $\Phi_s$  (rys. 3) pozostałby bez zmiany i prąd zwarcia byłby ograniczony jedynie rozproszeniem stojana (żłobkowe, szczelinowe, czołowe). Uzwojenie wzbudające posiada jednak strumień rozproszenia  $\Phi_r$ , a rozproszenie to jest w przybliżeniu proporcjonalne do wielkości prądu wzbudającego.

Rozproszenie to wzrasta więc ze wzrostem prądu wzbudającego, który — jak widzieliśmy — zwiększa się w pierwszej chwili zwarcia skutkiem bezwładności magnetycznej obwodu wzbudającego. Zwiększone rozproszenie zmniejsza strumień w szczelinie (tak aby strumień całkowity  $\Phi_s + \Phi_r$  obwodu wzbudającego pozostał bez zmian), a — co za tym idzie — powoduje pozorne powiększenie rozproszenia stojana wyrażające się zmniejszeniem prądu zwarcia w stosunku do wartości określonej jedynie rozproszeniami — żłobkowym, szczelinowym, czołowym. Nim jednak skutkiem działania tłumiącego uzwojenia



Rys. 3

wzbudającego nastąpi zmniejszenie prądu zwarcia, działając będą uzwojenia tłumiące lub prądy powierzchniowe, które będą przeciwdziałały maleniu strumienia w szczelinie (mają one znacznie mniejsze rozproszenie niż uzwojenie wzbudające) zmniejszając w rezultacie oporność przejściową główną do wartości odpowiadającej oporności przejściowej wstępnej.

Oporność przejściowa główna, która w prądnicach z biegunami wydatnymi i bez uzwojeń tłumiących jest równa niemal oporności przejściowej wstępnej, uwzględnia więc

<sup>\*)</sup> Transient reactance, réactance transitoire, resultierende Streureaktanz.

wzrost rozprożeń (żłobkowego, szczelinowego, czołowego) wywołany rozproszeniem uzwojenia wzbudającego. Wzrost ten nie odpowiada jednak ściśle rozproszeniu uzwojenia wzbudającego, ale jest zmniejszony dzięki łagodzącemu działaniu ubocznemu reakcji podłużnej twornika.

Strumień rozproszenia uzwojenia tłumiącego, który działa podobnie jak rozproszenie uzwojenia wzbudającego, powoduje, że oporność przejściowa wstępna jest większa od oporności odpowiadającej rozproszeniu samego stojana (żłobkowemu, szczelinowemu, czołowemu).

Okres, w którym występuje działanie tłumiące uzwojenia tłumiącego lub prądów powierzchniowych, jest przy 50c/s rzędu 1—4 okresów (co odpowiada ok. 0,05 sek.).

Rozumowanie powyższe słuszne jest w założeniu, że rozproszenie stojana nie zależy od wielkości prądu w jego uzwojeniu, a więc od nasycenia; jak wiemy, założenie takie nie jest całkowicie uzasadnione. Przebieg tej składowej prądu zwarcia, która uwzględnia oddziaływanie uzwojenia wzbudającego (w odniesieniu do wartości skutecznych), wyraża się związkiem

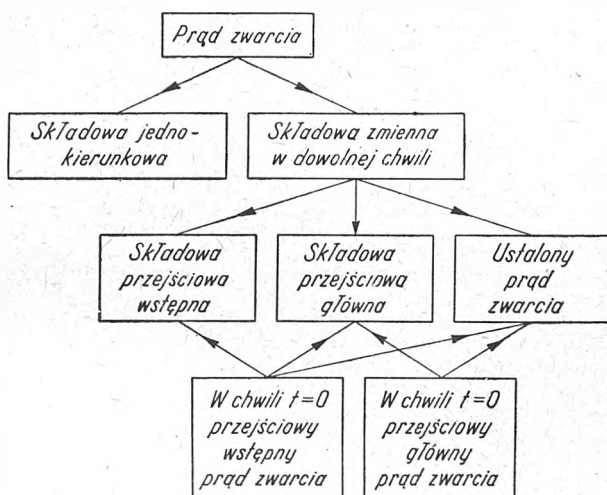
$$(I'_{zw} - I_{zw. ust.}) e^{-t/T'_{zw}}$$

Składowa ta (zwana składową przejściową główną) łącznie ze składową ustaloną określa w chwili  $t = 0$  prąd przejściowy główny zwarcia.

Często bardzo spotyka się określenie składowej przejściowej głównej jako sumy składowej ustalonej oraz tej składowej, która w pracy niniejszej przyjęta została jako składowa przejściowa główna.

Przebieg wszystkich składowych prądu zwarcia łącznie ze składową ustaloną, ale przy pominięciu składowej jednokierunkowej przedstawiony jest na rys. 4, który został sporządzony w skali logarytmicznej.

Następujący schemat służy do łatwiejszego wyjaśnienia wzajemnego stosunku pomiędzy poszczególnymi składowymi prądu zwarcia:



#### 4. Oporność udarowa $X_{ud}^*$ .

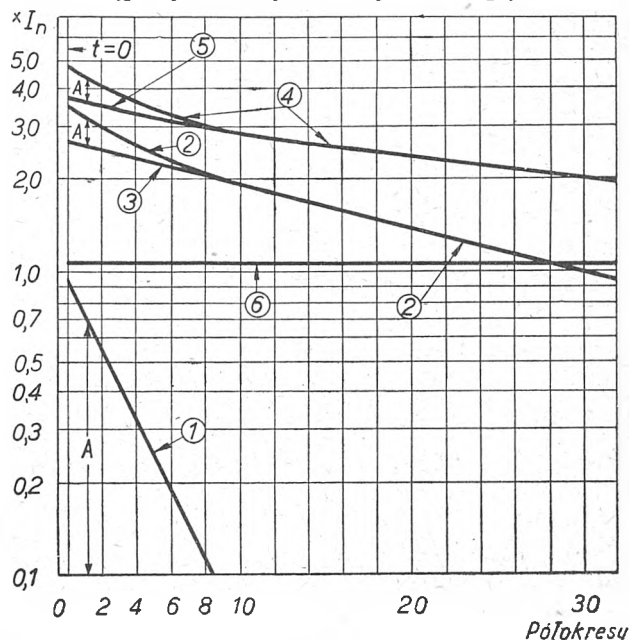
W przeciwieństwie do przepisów amerykańskich i angielskich w literaturze i przepisach niemieckich do obliczania prądów zwarcia, a w szczególności składowej zmiennej, nie spotyka się rozróżnienia pomiędzy opornością przejściową główną i wstępną (wspomina się jedynie o zanikaniu prądu w pierwszej chwili zwarcia szybszym, niżby to odpowiadało jednej krzywej wykładniczej). Wprowadzone jest natomiast pojęcie oporności udarowej. Wprowadzone jest natomiast pojęcie oporności udarowej postawić zasadnicze zarzuty.

Aczkolwiek wyniki otrzymane przy stosowaniu oporności udarowej mogą być w wielu przypadkach bardzo zbliżone do wyników uzyskanych przy posługiwaniu się opornością przejściową — wstępną lub główną, to jednak nie może to służyć jako dowód fizycznej słuszności koncepcji oporności udarowej. Pod tym bowiem kątem widzenia można pojęcie oporności udarowej postawić zasadnicze zarzuty.

Jeżeli wyjdziemy ze słusznego fizycznie założenia, że oddziaływanie (reakcja) twornika przy zwarcu nie odgrywa w pierwszym okresie roli skutkiem tego, że bezwładność magnetyczna obwodu wzbudzenia eliminuje osłabiający wpływ pola stojana, to — zgodnie z definicją oporności synchronicznej i jej sensem fizycznym — przedsta-

wienie prądnicy w chwili zwarcia za pomocą odpowiedniej oporności łączy się z właściwą interpretacją ogólnego pojęcia oporności stojana.

Na tej podstawie możemy powiedzieć, że oporność przejściowa wstępna jest zmodyfikowaną — ze względu na dzia-



Rys. 4

- 1 Składowa przejściowa wstępna (A) prądu zwarcia
- 2 Składowa zmienna prądu zwarcia minus ustalony prąd zwarcia
- 3 Składowa przejściowa główna prądu zwarcia
- 4 Składowa zmienna prądu zwarcia
- 5 Składowa przejściowa główna plus ustalony prąd zwarcia
- 6 Ustalony prąd zwarcia

łanie tłumiące warstwy zewnętrznej magnesnicy lub uzwojenia wzbudającego — opornością stojana z magnesnicą lub opornością Potiera (Potiersche Reaktanz, Gesamtstreuung, Ständer-Streublindwiderstand bei eingefahrenem Läufer)\*).

Póki zmiany występujące przy zwarcu przenoszą się ze stojana na magnesnicę, można w przybliżeniu formalnie uważać, że oporność przejściowa wstępna jest równa oporności Potiera, a w wielu przypadkach zbliżona do oporności rozproszenia stojana i magnesnicy. Przypadek taki zachodzi wówczas, gdy mamy do czynienia z prądnicą o biegunach wydatnych, ale bez uzwojeń tłumiących. Wówczas:

$$X''_s \cong X'_s \cong X_p \approx X_{tw+m} = X_{ud}$$

gdzie  $X_{tw+m}$  jest opornością rozproszenia stojana i magnesnicy, wyznaczoną drogą analityczną lub doświadczalną. Nie należy jednak zapominać o zasadniczych różnicach charakteru fizycznego pomiędzy opornością udarową i przejściową wstępną (wpływ rozproszenia uzwojenia wzbudającego). Równość tych oporności zasługuje jednak na szczególną uwagę. Zarówno oporność przejściowa główna (która jest niemal równa w tym przypadku oporności przejściowej wstępnej), jak i wyznaczona wykreślnie oporność Potiera są, oczywiście, większe od oporności rozproszenia żłobkowego i połączeń czołowych. W pierwszym przypadku rozbieżność ta wywołana jest zmniejszaniem się strumienia magnetycznego w szczelinie, które z kolei jest wywołane rozproszeniem w obwodzie wzbudzenia przy wzroście prądu wzbudającego. W przypadku oporności Potiera rozbieżność ta uwarunkowana jest tym, że włączamy do niej rozproszenie, które w prądnicach tych zależy wyraźnie od nasycenia. Działanie tego rozproszenia daje w wyniku — choć inną drogą — zmniejszenie strumienia w szczelinie. Godny podkreślenia jest fakt, że w obu przypadkach otrzymujemy niemal taki sam procentowy wzrost oporności rozproszenia żłobkowego i połączeń czołowych.

Koncepcja oporności udarowej jako oporności rozproszenia stojana z magnesnicą pomija zasadniczo wpływ rozproszenia magnesnicy, co jest usprawiedliwione jedynie

\* Jak się później przekonamy, utożsamianie obu oporności, które formalnie określają tę samą wielkość, jest w ogólnym przypadku niedopuszczalne.

\* Stosstreublindwiderstand, relative Stosstreuspannung.



w przypadku turbogeneratorów lub prądnic z biegunami wydatnymi i uzwojeniem tłumiacym. Założenie, że złagodzony reakcją podłużną twornika wpływ rozproszenia uzwojenia wzbudzającego (co zresztą przyjmują również autorzy niemieccy uzasadniając to złagodzenie przy pomocy prądów wirowych) będzie tego samego rzędu, co wpływ rozproszenia pomiędzy biegunami uzwojenia stojana przy wyjętej magneśnicy, prowadzi w wielu przypadkach do przyjęcia dla oporności udarowej wartości zbyt dużych. Należy również pamiętać, że wpływ rozproszenia magneśnicy na oporność przejściową główną będzie w prądnicach europejskich raczej większy niż w prądnicach amerykańskich, które odznaczają się mniejszą reakcją podłużną twornika.

W przypadku więc prądnic z biegunami wydatnymi i bez uzwojenia tłumiaczego wyniki, które daje koncepcja oporności udarowej i przejściowej wstępnej, mogą być nieraz bardzo zbliżone, aczkolwiek definicja obu wielkości jest różna i nie ulega najmniejszej wątpliwości, że jaśniejsza i słusznym jest definicja oporności przejściowej wstępnej. Przypisywanie jednak znaczenia fizycznego równości oporności Potiera i oporności przejściowej wstępnej jest niedopuszczalne i prowadzi do zupełnie błędnych wniosków. Równość oporności przejściowej wstępnej i Potiera występuje szczególnie przy małych raczej opornościach synchronicznych i jest charakterystyczna dla prądnic amerykańskich.

Z chwilą jednak, gdy mamy do czynienia z prądnicami o biegunach wydatnych, posiadającymi uzwojenia tłumiacze, to ostatnie grają rolę pewnego ekranu, który nie dopuszcza, aby zmiany zachodzące w pierwszej chwili w stojanie przenosiły się na obwód wzbudzenia, a więc na magneśnicę. W tym przypadku miarodajna dla składowej zmiennej prądu zwarcia jest niemal wyłącznie oporność samego stojana (rozproszenie żłobkowe, szczelinowe, czołowe).

W tym przypadku:

$$X''_s \cong X_{tw} \approx X - X_w = X_{ud},$$

gdzie  $X_w$  odpowiada tzw. rozproszeniu wnekowemu,  $X$  zaś jest tzw. rozproszeniem stojana przy wyjętej magneśnicy (określenie niewątpliwie wadliwe i sprzeczne z rzeczywistym znaczeniem tej wielkości). Innymi słowy  $X''_s$  czyli oporność przejściowa wstępna, odpowiada oporności stojana przy wyjętej magneśnicy po odjęciu oporności, odpowiadającej rozproszeniu wewnętrznemu stojana (wnekowemu). Tak określona oporność udarowa, zbliżona niewątpliwie do oporności rozproszenia stojana (przy uwzględnieniu żłobków, szczeliny, połączeń czołowych), różni się jednak od  $X''_s$  wskutek pominiętego zupełnie w tym rozumowaniu rozproszenia uzwojenia tłumiaczego. Operowanie rozproszeniem wnekowym wymaga jednego jeszcze wyjaśnienia, które rzuca pewne światło na związane z taką koncepcją wątpliwości. Rozproszenie określające oporność stojana z magneśnicą jest całkowitym rozproszeniem, które łącznie z reakcją twornika określa oporność synchroniczną. Rozproszenie to oprócz części związanej ze żłobkami i połączeniami czołowymi zawiera część, która jest związana nierozłącznie z magneśnicą.

Rozproszenie stojana i magneśnicy, bądź stojana przy wyjętej magneśnicy jest niewątpliwie większe od rozproszenia, które jest miarodajne dla składowej zmiennej prądu zwarcia w pierwszej chwili jego powstania. Wielu autorów niemieckich uważa, że tę nadwyżkę można przyjąć jako rozproszenie wnekowe. Jest to, oczywiście, mniej lub więcej słusznym koncepcją, ale tylko koncepcją, nie zawsze zresztą dająca zadawalające wyniki w praktyce: można jej jednak przypisać pewien ograniczony sens fizyczny. Jeżeli byśmy jednak chcieli stosować pojęcie oporności wnekowej w przypadku prądnic z uzwojeniami tłumiaczami w połączeniu z opornością Potiera wyznaczoną wykreślnie, to błąd popełniony przy wyznaczaniu oporności przejściowej wstępnej mógłby być znaczny. W przypadku więc posługiwania się charakterystykami prądnic synchronicznej uzależnianie od siebie oporności przejściowej wstępnej i oporności Potiera nie jest właściwe. Należy tu zwrócić uwagę, że rozbieżność pomiędzy ogólnym pojęciem rozproszenia stojana i rozproszeniem stojana przy obecnej magneśnicy będzie zależała od tego, czy rozproszenie związane ze strumieniem przechodzącym przez szczelinę (rozproszenie szczelinowe) zaliczymy do rozproszenia stojana, czy też do reakcji twornika; co do tego zdania są podzielone i decyzja zależy od rodzaju zagadnienia, w którym wielkość ta ma być użyta.

Wyraźne rozgraniczenie pomiędzy stojanem i magneśnicą, które wprowadza pojęcie oporności przejściowej wstępnej, uzasadnia w przypadku obecności uzwojeń tłumiaczych koncepcję rozproszenia wnekowego. Zagadnienie rozdziału trzech zasadniczych rozproszczeń stojana pomiędzy jego rzeczywiste rozproszenie i reakcję twornika powstało w związku z modyfikacją teorii Blondela (rozkład reakcji twornika na reakcję podłużną i poprzeczną) podaną przez Doherty'ego i Nickle'a. Z teorii tej jasno wynika, że rozproszenie stojana obejmuje wyłącznie rozproszenie żłobkowe i połączeń czołowych. Koncepcja takiego rozproszenia stojana została przyjęta również dla turbogeneratorów, ponieważ okazała się bardzo poręczną przy wyjaśnianiu między innymi znaczenia fizycznego oporności przejściowej wstępnej oraz przy rozwiązywaniu zagadnień związanych z równowagą układu energetycznego. Stąd też częste rozbieżności w sposobie określania oporności rozproszenia stojana.

Grupę pośrednią stanowią turbogeneratory szybkobieżne z uzwojeniem wzbudzającym rozłożonym równomiernie, czyli z biegunami utajonymi.

W tym przypadku rolę elementu tłumiaczego odgrywa zewnętrzna warstwa magneśnicy i oporność miarodajna dla składowej zmiennej prądu zwarcia w chwili  $t=0$ , szczególnie w prądnicach amerykańskich, jest niemal równa oporności Potiera przy  $p=1$ , a mniejsza od niej przy  $p=2$ . Nie znaczy to jednak bynajmniej, aby oporność przejściowa wstępna była równa oporności rozproszenia stojana z magneśnicą. Brak jednak wyraźnych elementów tłumiaczych przy tego rodzaju prądnicach może obarczać wyniki otrzymane przy stosowaniu koncepcji oporności wnekowej poważnymi odchyleniami od rzeczywistości.

Stosowane nagminnie w literaturze niemieckiej słownictwo i symbolika prowadzi przy stosowaniu pojęcia oporności rozproszenia wnekowego do nieuchronnego, zasadniczego pomieszania pojęć. Utożsamianie oporności Potiera z opornością rozproszenia stojana z magneśnicą, oparte wyłącznie na ilościowej równości oporności Potiera i oporności przejściowej wstępnej w przypadku turbogeneratorów (szczególnie przy  $p=1$ ) oraz prądnic z biegunami wydatnymi i bez uzwojenia tłumiaczego prowadzi właśnie przy tych ostatnich prądnicach do zasadniczego błędu. Wpływ nasycenia magnetycznego oraz rozproszenia uzwojenia wzbudzającego powoduje bowiem w tym ostatnim przypadku to, że oporność Potiera jest znacznie większa od oporności rozproszenia stojana z magneśnicą. Ta właśnie nadwyżka przyjęta jest jako oporność rozproszenia wnekowego. Jedynie przy turbogeneratorach oporność Potiera (w stosunku do napięcia znamionowego), oporność rozproszenia stojana z magneśnicą i oporność przejściowa wstępna są tego samego rzędu. W żadnym jednak przypadku — jeśli chcemy uniknąć sprzeczności — nie jest dopuszczalne przyjmowanie dla oporności udarowej definicji jakiegokolwiek rozproszenia stojana.

Dla uniknięcia nieporozumień podamy definicje i znaczenia trzech rodzajów rozproszenia stojana, występujących w pracy niniejszej.

1. Rozproszenie stojana bez magneśnicy, a więc nie uwzględniające wpływu tych linii sił pola magnetycznego, które przebiegają pomiędzy stojanem i magneśnicą. Jest to więc jedynie rozproszenie żłobkowe i połączeń czołowych. Zarówno oporność przejściowa wstępna, jak i oporność udarowa uwzględniają fakt, że to właśnie rozproszenie jest główną częścią rozproszenia, które określa oporność prądnic synchronicznych w pierwszej chwili zwarcia w przypadku, gdy istnieje warstwa ekranująca (obwód tłumienia) stojan od magneśnicy. Koncepcja oporności przejściowej wstępnej nadaje jej jednak wyraźny sens i interpretację fizyczną i jasno określa jej zależność od rozproszenia żłobkowego i połączeń czołowych. W przypadku oporności udarowej rozproszenie obwodu tłumiaczego jest pominięte milczeniem, a wpływ jego uwzględniany jest nieraz tylko przy pomocy współczynników (Arnold, Richter). Jeżeli uwzględnimy, w jaki sposób można wyznaczyć rozproszenie stojana z magneśnicą przy pomocy rozproszenia wnekowego, to jasne jest, że określenie rozproszenia miarodajnego dla oporności udarowej jako różnicy rozproszenia stojana i magneśnicy i rozproszenia wnekowego jest tylko pewnym założeniem, opierającym się na decydującej roli, którą w pierwszej chwili zwarcia odgrywa rozproszenie żłobkowe i połączeń czołowych.

2. Rozproszenie stojana z magneśnicą, a więc uwzględniające wpływ linii pola magnetycznego, które przenikają do magneśnicy. Przyjęcie jednoznaczności

oporności przejściowej wstępnej i oporności rozproszenia stojana i magneśnicy, oparte w przypadku prądnic z biegunami wydatnymi bez uzwojenia tłumiącego na ilościowej równości oporności przejściowej wstępnej i oporności Potiera, jest — jak już zaznaczono — fizycznie nieuzasadnione. Logiczną konsekwencją takiego założenia jest konieczność wprowadzenia pojęcia rozproszenia wnekowego.

3. Rozproszenie i oporność Potiera. Zgodnie z metodą wykreślnego wyznaczania oporności Potiera można ją uważać formalnie jako oporność związaną z rozproszeniem stojana z magneśnicą. Założenie takie jest jednak przyczyną istotnych rozbieżności przy prądnicach z biegunami wydatnymi. Utożsamianie natomiast wyznaczonej wykreślnie oporności Potiera z obliczonym lub zmierzonym rozproszeniem stojana i magneśnicy, które to wielkości mogą być niemal równe dla prądnic z biegunami wydatnymi bez uzwojeń tłumiących, prowadzi przy turbogeneratorach do zasadniczych sprzeczności. Wówczas bowiem oporność przejściowa wstępna może być tego samego rzędu, co i oporność Potiera.

Wysunięte w powyższych rozważaniach zastrzeżenia przeciwko utożsamianiu oporności Potiera z jakimkolwiek rozproszeniem stojana (z magneśnicą bądź też i bez magneśnicy), które to utożsamianie uzasadnione jest formalnie równością oporności Potiera oraz oporności przejściowej wstępnej, znajdują swój wyraz we wzajemnej zależności oporności Potiera oraz oporności rozproszenia stojana z magneśnicą przy różnych napięciach. Okazuje się bowiem (Kostienko, Kilgore), że oporność Potiera może być — szczególnie przy prądnicach z biegunami wydatnymi — wielokrotnie większa od oporności rozproszenia stojana z magneśnicą. W turboprawdnicach rozbieżności te są znacznie mniejsze i nie ulegają dużym wahaniom przy zmianie napięcia, przy którym są mierzone.

Omówione wyżej rozbieżności w zupełności usprawiedliwiają zastrzeżenia, które należy wysunąć przeciwko utożsamianiu oporności przejściowej wstępnej z opornością określoną rozproszeniem stojana z magneśnicą, a tym samym przeciwko koncepcji rozproszenia wnekowego przy określaniu oporności udarowej. Można wysunąć również zastrzeżenia przeciwko określeniu oporności Potiera jako oporności odpowiadającej rozproszeniu stojana z magneśnicą. Z punktu widzenia eksploatacji zupełne — nawet formalne — uniezależnienie od siebie oporności przejściowej wstępnej, oporności Potiera i rozproszenia stojana z magneśnicą ma niewątpliwie cenne zalety i jest bardzo logiczne. Wobec ogromnego zastosowania wydaje się również uzasadnione określenie rozproszenia stojana jako rozproszenia jedynie żłobkowego i połączeń czołowych. Pojęcie oporności i rozproszenia wnekowego ma niewątpliwie znaczenie dla konstruktora, na tym jednak kończy się jego rola.

Jeżeli pomimo tych zasadniczych zastrzeżeń przyjąć koncepcję oporności udarowej określonej za pośrednictwem oporności i rozproszenia wnekowego:

a) przy turbogeneratorach oraz prądnicach z biegunami wydatnymi i uzwojeniami tłumiącymi

$$X''_s \approx X - X_w = X_{ud},$$

b) przy prądnicach z biegunami wydatnymi bez uzwojeń tłumiących

$$X''_s \approx X_{tw+m} \approx X_{ud},$$

zrozumieliśmy stąd metodą obliczenia wartości skutecznej udarowego prądu zwarcia (z uwzględnieniem składowej jednokierunkowej) podana przez Arnolda:

$$I_{ud} = \kappa \frac{U}{X_{st}} = \kappa I_{zw}$$

gdzie

a)  $1,1 < \kappa < 2,5$  przy turbogeneratorach i prądnicach z biegunami wydatnymi i uzwojeniem tłumiącym (średnio 1,8),

b)  $1,1 < \kappa < 1,5$  przy prądnicach z biegunami wydatnymi bez uzwojeń tłumiących (średnio 1,3);

$U$  jest napięciem na zaciskach prądnicy.

W przepisach VDE-0670 koncepcja współczynnika  $\kappa$  została utrzymana, uwzględniono jednak fakt, że oporność udarowa i oporność rozproszenia stojana z magneśnicą nie są dla obliczenia prądu zwarcia wielkościami jednoznaczными.

Oporność udarową prądnicy metoda VDE zaleca obliczać na podstawie współczynnika  $u$ , będącego stosunkiem

składowej zmiennej prądu zwarcia do prądu znamionowego (Stosskurzschlussverhältniss).

Metoda VDE zaleca posługiwać się przy obliczaniu składowej zmiennej prądu zwarcia  $I_{zw}$  podwyższonym napięciem znamionowym\* (zwarcie ze stanu obciążonego!) i opornością udarową ( $1/u$ ), natomiast przepisy A. I. E. E. (Protective Devices Committee) zalecają obliczać prąd przejściowy wstępny zwarcia  $I''_{zw}$  za pośrednictwem oporności przejściowej wstępnej oraz znamionowego napięcia niepodwyższonego (metoda ta daje dobre wyniki do 8—10 okresów po zwarcie).

Należy również pamiętać, że warunek

$$I_{zw} = I''_{zw}$$

zazwyczaj nie jest spełniony i mogą istnieć zasadnicze rozbieżności.

Godny uwagi jest również fakt, że przepisy A. I. E. E. (Nr. 503, June 1945) przy definicji oporności przejściowej wstępnej prądnicy posługują się znamionową wartością jej s. el.-m. bezpośrednio przed wystąpieniem zwarcia (a więc zwarcie ze stanu jałowego!). Współczynniki podane przez A. I. E. E. do obliczenia wyłącznika uwzględniają jednak fakt, iż zwarcie występuje ze stanu obciążenia, co wpływa na zwiększenie prądu zwarcia — szczególnie składowej ustalonej.

Po obliczeniu niesymetrycznego prądu wyłączalnego przy pomocy współczynników podanych w tabl. I metoda A. I. E. E.

Tablica I

| Typ wyłącznika | Najmniejsze opóźnienie wyłączenia przy 60 c/s | $\mu_1$ |
|----------------|---|---------|
| 8-okresowy     | 4 okresy                                      | 1,0     |
| 5-okresowy     | 3 okresy                                      | 1,1     |
| 3-okresowy     | 2 okresy                                      | 1,2     |
| 2-okresowy     | 1 okres                                       | 1,4     |

E. wprowadza jeden jeszcze współczynnik uwzględniający dodatkowo rozbieżność pomiędzy napięciem znamionowym i s. el.-m. za opornością przejściową wstępną, która jest miarodajna dla przejściowego wstępnego prądu zwarcia (rys. 7 i 8). W najbardziej niekorzystnych warunkach zwarciovych (zwarcie zasilane bezpośrednio przez duże zespoły prądnic) współczynnik ten wynosi 1,2. Zamiast odpowiedniego doboru współczynnika uzależnionego od miejsca zwarcia (w stosunku do źródła energii) oraz współczynnika podanego w tabl. I można używać współczynników określonych krzywymi z rys. 7 i 8. Przy obliczaniu jednak wytrzymałości dynamicznej wyłącznika współczynnik, określający stosunek całkowitego prądu zwarcia, do przejściowego wstępnego prądu zwarcia, równy jest  $1,6^{**}$ ) i przepisy A. I. E. E. przyjmują, że nie zależy on zasadniczo od położenia miejsca zwarcia. Podwyższenie napięcia o 10% (przy obliczaniu składowej zmiennej prądu zwarcia w chwili  $t = 0$ ) w metodzie VDE nie znajduje jednak w metodzie A. I. E. E. wyraźnego odpowiednika. Podane w tabl. I współczynniki są wartościami proponowanymi na podstawie rys. 7. Zmiana ich — nawet o 20% — uzasadniona jest przebiegiem krzywych na rys. 8. Wprowadzenie współczynnika podwyższenia napięcia najłatwiej możemy uzasadnić rozpatrując zwarcie bezpośrednio na szynach prądnicy. Wartość s. el.-m. za opornością przejściową wstępą można wówczas łatwo wyznaczyć przy prądzie znamionowym i dowolnym  $\cos \varphi$  w funkcji oporności przejściowej wstępnej, przyjmując jako podstawę znamionowe napięcie na szynach prądnicy (współczynniki np. 1,10 odpowiada przy  $\cos \varphi = 0,8$  wartość  $X''_s = 15\%$ ). Takie założenie stanowi punkt wyjścia dla metody VDE. W metodzie A. I. E. E. współczynniki z tabl. I z góry uwzględniają wpływ obciążenia. Jedną więc z zasadniczych różnic pomiędzy koncepcją obu metod sprowadza się do współczynnika podwyższenia napięcia znamionowego przy obliczaniu przejściowego wstępnego prądu zwarcia: metoda VDE przyjmuje, że zwarcie występuje w stanie obciążenia prądnicy, metoda zaś A. I. E. E., że zwarcie to następuje w dowolnym punkcie układu przy biegu jałowym prądnicy. Należy jednak pamiętać, że jeżeli

\* Przy 5% różnicy pomiędzy napięciami znamionowymi prądnicy i sieci i podwyższonym o 10% napięciu znamionowym prądnicy współczynnik ten będzie 1,15 (projekt PN/E-114).

\*\* Współczynnik 1,6 przyjęto zamiast  $\sqrt{3}$  ze względu na zanikanie składowej zmiennej i składowej jednokierunkowej w ciągu pierwszego półokresu po zwarcie.



wyбір wyłącznika nasuwa przy metodzie A. I. E. E. jakiegokolwiek wątpliwości, to obliczenie powinno być przeprowadzone metodą bardziej ścisłą.

Godna podkreślenia jest jeszcze rozbieżność pomiędzy obliczaniem wytrzymałości dynamicznej wyłącznika przy pomocy przejściowego wstępnego prądu zwarcia (A. I. E. E.) lub też składowej zmiennej prądu zwarcia (VDE). Rozbieżność ta wynika stąd, że metoda VDE posługuje się wartościami chwilowymi składowej zmiennej i składowej jednokierunkowej i sumuje je arytmetycznie (udarowy prąd zwarcia), metoda zaś A. I. E. E. przyjmuje wartości skuteczne i sumuje je geometrycznie (niesymetryczny prąd wyłączalny).

Tak więc przy pominięciu zanikania składowej jednokierunkowej i składowej zmiennej wartość szczytowa największego udarowego prądu zwarcia (który decyduje o wytrzymałości dynamicznej wyłącznika) będzie według VDE sumą arytmetyczną wartości chwilowych składowej zmiennej i składowej jednokierunkowej w chwili, kiedy składowa zmienna osiąga pierwszą wartość szczytową (w założeniu, że obie wartości szczytowe są sobie równe):

$$I_{ud} = \frac{2,2 \cdot \sqrt{2}}{X_{ud} + X_{zew}} \quad (\text{w układzie jednostkowym}).$$

W metodzie A. I. E. E. wartość skuteczna największego prądu wyłączalnego niesymetrycznego, który decyduje o wytrzymałości dynamicznej, określona jest jako pierwiastek z sumy kwadratów wartości skutecznej składowej zmiennej i składowej jednokierunkowej w założeniu, że wartość skuteczna składowej jednokierunkowej równa jest wartości szczytowej składowej zmiennej\*).

$$I_{zw} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{X''_s + X_{zew}}\right)^2 + \left(\frac{1}{X''_s + X_{zew}}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{X''_s + X_{zew}} \quad (\text{w układzie jednostkowym}).$$

Jeżeli uwzględnimy, że w ciągu pierwszego półokresu nawet przy  $R_{zw} = 0$  składowa zmienna prądu zwarcia jest stłumiona, to ani współczynnik  $\sqrt{3}$  ani 2 nie są uzasadnione.

Przyjęcie współczynnika 1,6 dla wytrzymałości dynamicznej wyłącznika odpowiada znacznym obostreniom ze względu na prąd wyłączalny niesymetryczny. Metoda A. I. E. E. wychodzi z założenia, że zarówno dla wytrzymałości dynamicznej, jak i dla mocy wyłączalnej miarodajny jest tylko prąd wyłączalny niesymetryczny.

Charakterystyczną różnicą przepisów VDE i A.I.E.E.\*\*) jest sposób uwzględnienia wpływu przebiegu wyłączania w czasie oraz odległości zwarcia (od prądnicy) na wartość prądu zwarcia (łącznie ze składową jednokierunkową). Różnica ta niewątpliwie wynika stąd, że dla prądu wyłączalnego wyłączników (rated interrupting current, Nennauschaltstrom) według przepisów niemieckich miarodajny jest prąd zwarcia bez uwzględnienia składowej jednokierunkowej, którą to składową uwzględniają przepisy A. I. E. E. i angielskie (prąd wyłączalny niesymetryczny). Przy obliczaniu mocy wyłączalnej (rated interrupting kVA, Nennauschaltleistung) istnieje też zasadnicza różnica ze względu na napięcie. A. I. E. E. przyjmuje napięcie znamionowe jako napięcie powrotne, w Anglii przyjmuje się napięcie powrotne w określonych warunkach, przepisy zaś niemieckie (REH) uwzględniają napięcie powrotne, równe napięciu znamionowemu. Stąd też temu samemu wyłącznikowi będzie odpowiadała moc wyłączalna:

|          |          |
|----------|----------|
| U. S. A. | 526 MVA, |
| Anglia   | 456 MVA, |
| Europa   | 385 MVA. |

W przepisach VDE przy obliczaniu udarowego prądu zwarcia (po obliczeniu składowej zmiennej prądu zwarcia) przede wszystkim zwrócona jest uwaga na uzależnienie współczynnika  $\kappa$  od stosunku  $R_{zw}/X_{zw}$  (wpływ składowej jednokierunkowej), czyli od stosunku oporności czynnej i biernej obwodu zwarcia, przy czym  $\kappa < 1,8$ , jeżeli w obwód zwarcia wchodzi przede wszystkim linia napowietrzna. Jeżeli opór czynny może być pominięty, należy przyjmować  $\kappa = 1,8$ .

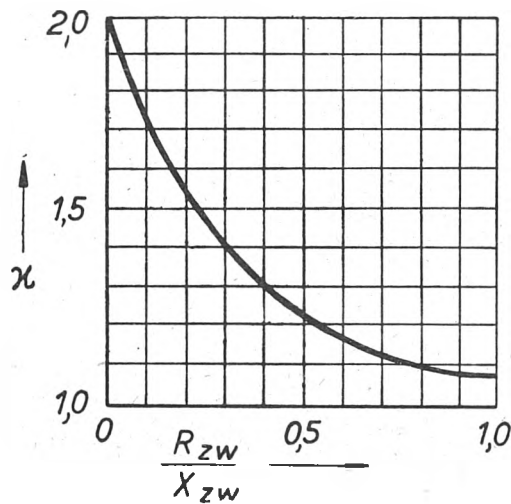
Przebieg krzywej na rys. 5 uzasadniony jest zmianą wartości składowej jednokierunkowej w chwili  $t = 0$  ze

zmianą  $R_{zw}$ , jak i maleniem stałej czasu składowej jednokierunkowej\*).

$$T_{zw} = \frac{X_s + X_{zew}}{2\pi f (r_{tw} + r_{zew})}$$

skutkiem tego, że przy występowaniu w obwodzie zwarcia linii napowietrznych lub transformatorów stosunek oporności indukcyjnej (pomimo jej wzrostu) do oporności czynnej znacznie maleje.

Krzywa ta pomija zasadniczo wpływ zanikania składowej zmiennej (w ciągu pierwszych chwil po zwarcu, naj-

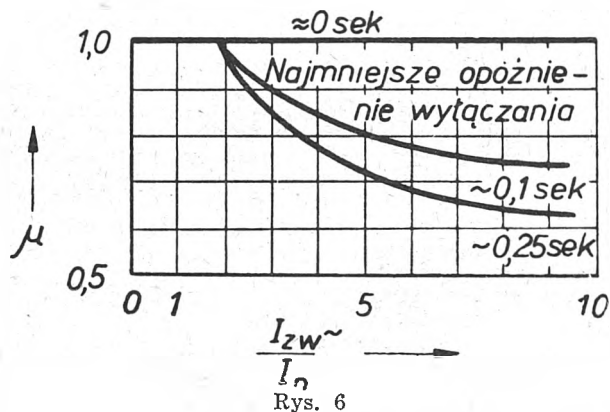


Rys. 5

wyżej 0,5 okresu); zanikanie to zależy w znacznym stopniu od oporności indukcyjnej obwodu zwarcia, a mianowicie stała czasu składowej przejściowej głównej jest proporcjonalna do

$$\frac{X'_s + X_{zew}}{X_s + X_{zew}}$$

a więc wzrasta ze wzrostem  $X_{zew}$  i składowa ta zanika wolniej (rys. 6). Składowa przejściowa główna będzie



Rys. 6

więc wolniej zanikała dla większych wartości stosunku  $R_{zw}/X_{zw}$ \*\*).

Przy uwzględnieniu zanikania składowej zmiennej prądu zwarcia (a przede wszystkim prędkości zanikania składowej przejściowej wstępnej) krzywa określająca współczynnik  $\kappa$  będzie przebiegała poniżej odpowiedniej krzywej na rys. 5 i rozbieżność pomiędzy obydwiema krzywymi będzie malała w miarę wzrostu stosunku  $R_{zw}/X_{zw}$ .

Nie należy również zapominać, że wartość składowej jednokierunkowej zależy wyraźnie od prądu obciążenia w chwili zwarcia, co wynika z warunku zachowania niezmiennych liczby skojarzeń magnetycznych w chwili zwarcia.

\*)  $X_s$  (oporność dla składowej symetrycznej przeciwnej) można przyjąć jako pewną średnią wartość oporności indukcyjnej stojana przy zwartym uzwojeniu wzbudzącym.

\*\*) Można przyjąć, że w podobny sposób będzie się zachowywała składowa przejściowa wstępna, której stała czasu jest proporcjonalna do  $\frac{X'_s + X_{zew}}{X'_s + X_{zew}}$ . Wpływ oporności  $X_{zew}$  na stałą czasu tej składowej jest jednak znacznie mniejszy.

\*) Zgodnie z ogólną definicją wartości skutecznej prądu.

\*\*) A. I. E. E. Trans., 1941, str. 877-881.

Przepisy VDE dopiero przy obliczaniu symetrycznego prądu wyłączalnego ( $I_{ws} = \mu I_{zw}$ ) — co jest zupełnie logiczne — uwzględniają wpływ opóźnienia wyłączania (najmniejszego) i to według wytycznych podanych na rys. 6.

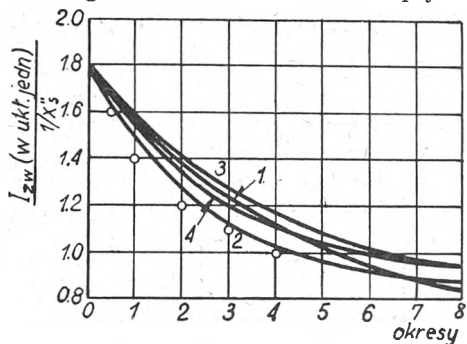
Jasne więc jest, że metoda A. I. E. E. rozdziela przy obliczaniu niesymetrycznego prądu wyłączalnego współczynnik  $\mu$  na dwa czynniki:

$$\mu = \mu_1 \cdot \mu_2 \quad (I_{zw} = \mu I''_{zw})$$

gdzie  $\mu_1$  jest uzależniony od opóźnienia wyłączania (opening time, Schaltverzögung) tj. czasu od chwili powstania zwarcia do chwili rozdzielania styków wyłącznika (proponowana nazwa polska: opóźnienie rozdzielania styków).

Czynnik  $\mu_2$  uwzględnia położenie miejsca zwarcia w stosunku do prądnic zasilającej to zwarcie.

Jako pewne wytyczne mogą służyć podane krzywe. Rys. 8 przedstawia zależność  $\mu$  od opóźnienia wyłączania przy zwarciu w odległości ok. 400 m na 1 kV napięcia linii na-



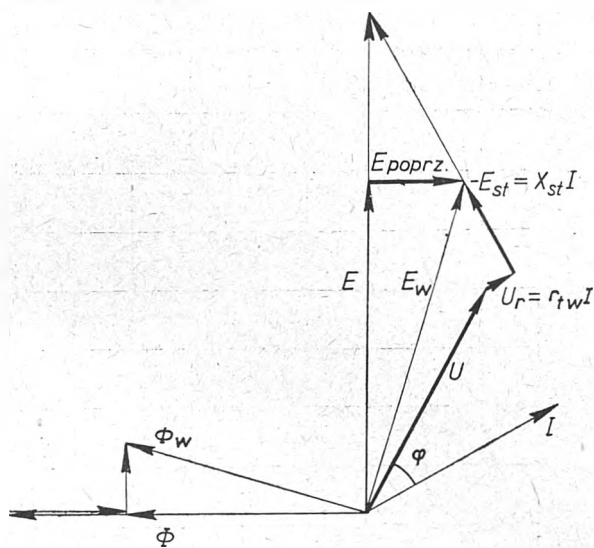
Rys. 7

1. Turbogenerator  $\cos \varphi = 0,8$  bez transformatora
2. "  $\cos \varphi = 0,8$  z transformatorem
3. Napęd wodny  $\cos \varphi = 0,9$  bez transformatora
4. "  $\cos \varphi = 0,9$  z transformatorem

powietrznej, natomiast rys. 7 podaje tę samą zależność dla zwarcia na zaciskach prądnic lub transformatora. W obu przypadkach zwarcie następuje przy pełnym obciążeniu i znamionowym  $\cos \varphi$ .

5. Oporność Potiera  $X_p^*$ .

Oporność ta — aczkolwiek jej definicja jest niewątpliwie najtrudniejsza z punktu widzenia jej znaczenia fizycznego — występuje zarówno w literaturze niemieckiej jak i anglosaskiej. Wynika to stąd, że korzystamy z niej w jednej z najczęściej stosowanych metod wyznaczania spad-



Rys. 9

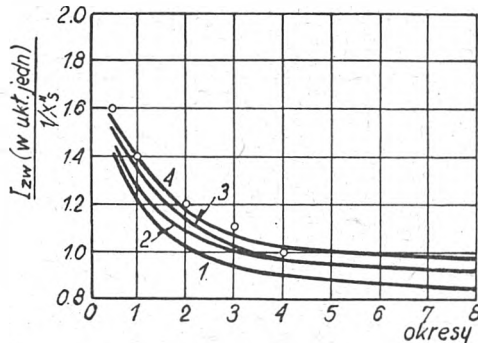
ków napięcia w prądnic. Metoda ta daje wyniki znacznie bardziej zbliżone do rzeczywistości niż np. metoda oporności synchronicznej pozornej (przy założeniu, że  $X_s = \text{const.}$ ), tzw. metoda pesymistyczna.

\*) Potier reactance.

Ażeby dobrze wyjaśnić koncepcję oporności Potiera, najlepiej jest wyjść z odpowiedniego wykresu wektorowego oraz jego syntezy z charakterystyką magnesowania prądnic.

Pomijając chwilowo wyjaśnienie wpływu reakcji twornika, której działanie polega na pozornym indukowaniu w uzwojeniu twornika charakterystycznej s.el.-m., możemy sporządzić dla turbogeneratorsa wykres wektorowy (rys. 9) uwzględniając:

- 1)  $E$  — s.el.-m. wzbudzaną przez pole magnetyczne, po uwzględnieniu reakcji podłużnej twornika,
- 2)  $E_{\text{poprz.}}$  — s.el.-m. wzbudzaną w stojanie skutkiem reakcji poprzecznej twornika,
- 3)  $E_{st}$  — s.el.-m. odpowiadającą rozproszeniu stojana z magnesnicą,
- 4)  $U_r$  — spadek napięcia na oporności czynnej uzwojenia stojana.

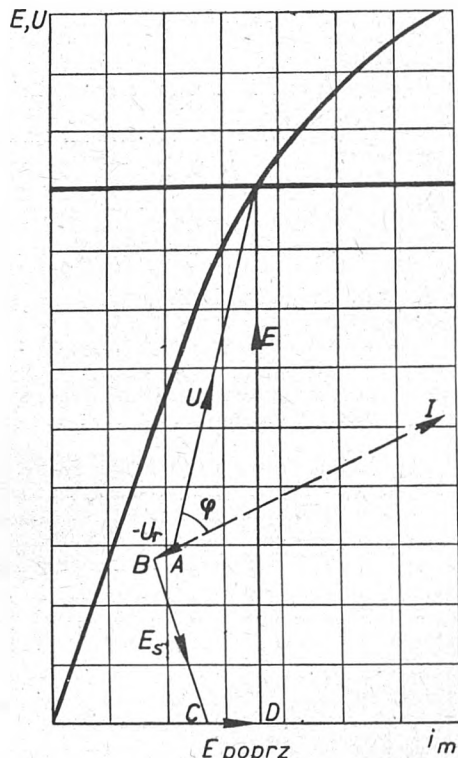


Rys. 8

W przypadku generatora spełnione być musi równanie:

$$\hat{U} = \hat{E} + \hat{E}_{\text{poprz.}} + \hat{E}_{st} - \hat{U}_r$$

Wykres powyższy po odpowiedniej modyfikacji możemy skojarzyć z charakterystyką magnesowania (rys. 10).



Rys. 10

Jeżeli założymy, że rozproszenie stojana nie zależy od nasycenia (ob. dalej), to wszystkie trzy odcinki na wy-

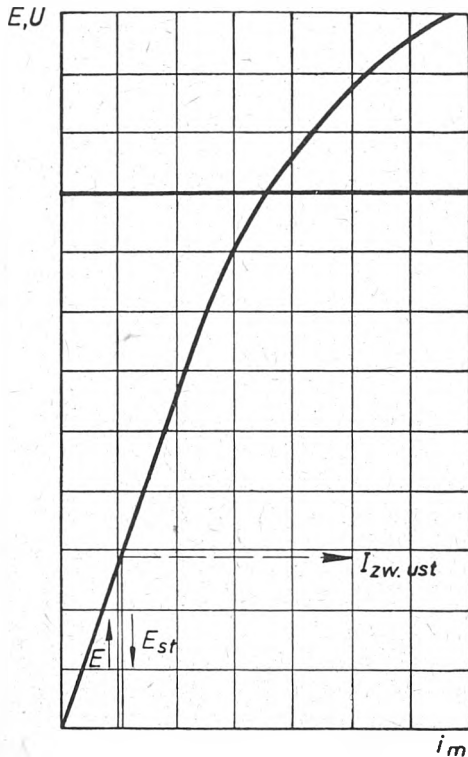


kresie, zawarte pomiędzy  $A-B-C-D$ , są proporcjonalne do prądu stojana.

Jeżeli na zaciskach generatora nastąpi zwarcie, to dla przypadku tego można przyjąć nie tylko  $U_r = 0$ , ale również  $E_{poprz.} = 0$  i oczywiście  $U = 0$ , Otrzymujemy wówczas rys. 11.

Wielkość  $E_{st}$  odpowiada na rysunku spadkowi napięcia (z przeciwnym znakiem), wywołanemu przez prąd zwarcia na oporności rozproszenia stojana z magneśnicą.

Oporność procentowa  $X_{st}$  odpowiada spadkowi napięcia na oporności rozproszenia stojana z magneśnicą przy prądzie znamionowym. Widzimy stąd, że jeżeli reakcja



Rys. 11

podłużna twornika będzie skompensowana, to pozostały prąd wzbudzający będzie indukował s.el.-m., która będzie równoważyła spadek napięcia wywołany rozproszeniem stojana z magneśnicą. Wartość tej s.el.-m. należy, oczywiście, odczytać z charakterystyki magnesowania. Ten stan rzeczy i przyjęcie stałości rozproszenia stojana z magneśnicą oraz stałości reakcji twornika przy stałym prądzie obciążenia, a zmieniającym się prądzie wzbudzenia stanowi podstawę wprowadzenia fikcyjnej oporności Potiera.

Koncepcja tzw. trójkąta Potiera dotyczy zasadniczo przypadku obciążenia prądnicy prądem znamionowym przy spełnieniu dwóch kardynalnych warunków:

1) wzbudzenie rzeczywiste wypadkowe prądnicy odpowiada różnicy arytmetycznej amperozwojów odpowiadających prądowi wzbudzającemu oraz amperozwojów reakcji twornika;

2) przy wzbudzeniu rzeczywistym napięcie na zaciskach prądnicy równe jest różnicy arytmetycznej s.el.-m. indukowanej (po uwzględnieniu reakcji podłużnej twornika) i spadku napięcia na oporności Potiera.

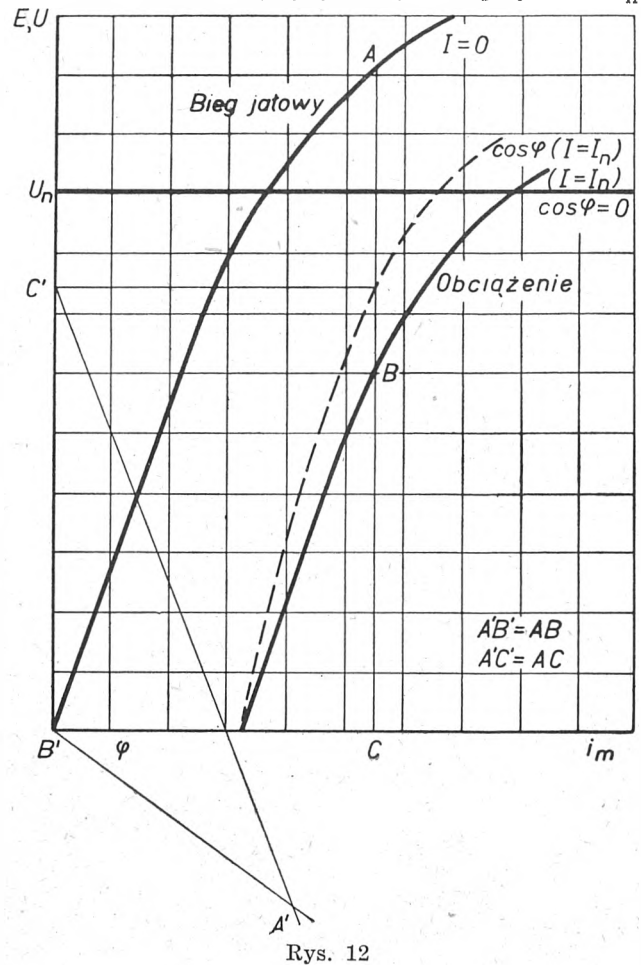
Warunki powyższe są spełnione jedynie przy  $\cos \varphi = 0$ .

Charakterystyka obciążenia przy  $I = I_n$  i  $\cos \varphi = 0$  zasługuje na szczególną uwagę z dwóch powodów:

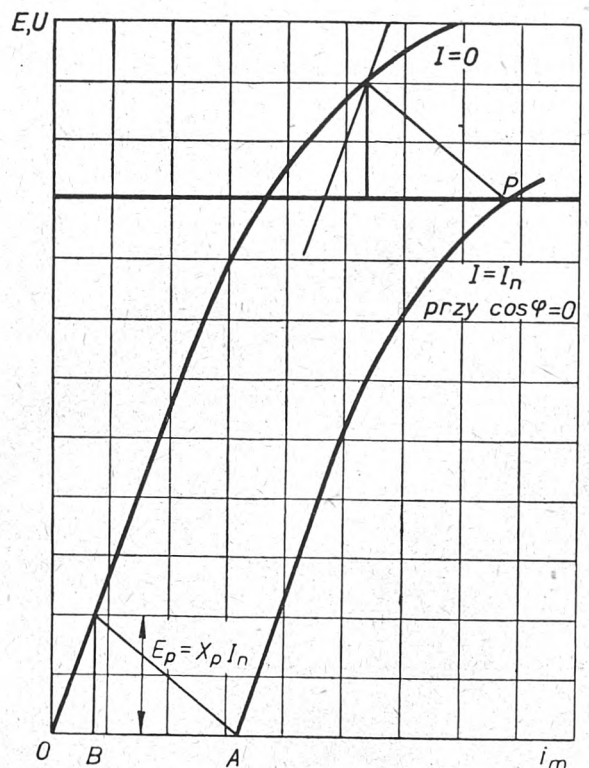
- 1) jest łatwa do wyznaczenia drogą doświadczalną,
- 2) wykreślenie jej przedstawia najmniejsze trudności.

Łatwo można się przekonać, że większa część spadku napięcia przy stałym wzbudzeniu (rys. 12) i  $I = I_n$  przy zmianie  $\cos \varphi$  od 0 do 1 przypada w zakresie zmian współczynnika mocy pomiędzy 1 i 0,8. Wynika stąd, że przy niskich współczynnikach mocy zmiana napięcia skutkiem zmiany  $\cos \varphi$  jest nieznaczna. Stąd też charakterystyka obciążenia zdjęta przy  $\cos \varphi = 0,2$  będzie nieznacznie odbiegała od charakterystyki przy  $\cos \varphi = 0$ .

Założmy więc, że mamy daną charakterystykę biegu jałowego i charakterystykę obciążenia przy  $I = I_n$



Rys. 12



Rys. 13

$\cos \varphi = 0$  — obie wyznaczone doświadczalnie. Dla tej ostatniej wystarczy punkt  $A$ , odpowiadający zwarcia stojana oraz jeden lub dwa dodatkowe punkty leżące już na

tej jej części, która odpowiada wyraźnie stanowi nasycenia magnetycznego (rys. 13).

Metoda konstrukcyjna wyznaczania trójkąta Potiera, a za jego pośrednictwem oporności Potiera na podstawie znanego położenia punktów  $A$  i  $P$  nie wymaga specjalnych wyjaśnień. Sposób powyższy wyznaczania trójkąta Potiera, a za jego pośrednictwem charakterystyk obciążenia, wymaga jednak pewnego zasadniczego uzupełnienia, które wielokrotnie bywa pomijane. Określenie oporności Potiera, uwarunkowanej rozproszeniem stojana łącznie

tylko od obciążenia, ale również od wzbudzenia (wpływ rozproszenia w obwodzie wzbudzenia).

Z tego powodu kształt trójkąta Potiera zmienia się zależnie od tego, czy będzie on odpowiadał zwarciu, czy też napięciu znamionowemu prądniczy \*).

Niektórzy autorzy słusznie uważają, że oporność Potiera tym więcej odpowiada rozproszeniu stojana (z magneśnicą), im większe jest nasycenie magnetyczne, przy którym ją określamy. Ta charakterystyczna zmienność oporności Potiera, której nie uwzględniamy najczęściej przy

Tablica II

|  |                              | U. S. A., 60 c/s             |                  |                  | Europa <sup>1)</sup> , 50 c/s, $p = 1$ |                   |                  |                 |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|--|-------------------|------------------|-----------------|
|  |                              | $X'_s$                       | $X''_s$          | $X_p$            | Kraj                                   | Moc ponad 10 MVA  |                  |                 |
|  |                              |                              |                  |                  |  | $X''_s$           | $X'_s$           |                 |
| Turbogenerator<br>$p = 1$                      | średnio<br>zakres<br>ogólnie | 15,5<br>12—21<br>$1.5 X''_s$ | 9<br>7—14<br>—   | 9<br>7—14<br>—   | Związek Radziecki                      | średnio<br>zakres | 12,5<br>11,5—14  | 21<br>20—23     |
| Turbogenerator<br>$p = 2$                      | średnio<br>zakres<br>ogólnie | 23<br>20—28<br>$1.65 X''_s$  | 15<br>12—17<br>— | 17<br>12—24<br>— | Szwecja                                | średnio<br>zakres | 12,5<br>10,5—14  | 23<br>20,5—27   |
| Prądnicza z bieg. wyd. z uzwojeniem tłumiącym  | średnio<br>zakres<br>ogólnie | 37<br>20—50<br>$1.5 X''_s$   | 24<br>13—35<br>— | 32<br>17—40<br>— | Szwajcaria                             | średnio<br>zakres | 14<br>12,5—18    | 21<br>19—24     |
| Prądnicza z bieg. wyd. z uzwojeniem tłumiącego | średnio<br>zakres<br>ogólnie | 35<br>20—45<br>$1.05 X''_s$  | 32<br>18—41<br>— | 31<br>17—38<br>— | Francja                                |                   | 19,2             | 27,5            |
|  |                              |                              |                  |                  | Anglia                                 |                   | 10               | 16              |
|  |                              |                              |                  |                  | Niemcy                                 | średnio<br>zakres | 10,5<br>9,2—13,9 | 17,5<br>16,6—22 |

<sup>1)</sup> Dane mają charakter orientacyjny

z magneśnicą, jako tej części oporności synchronicznej, która nie zależy od nasycenia, nie daje się utrzymać przy bliższym rozpatrzeniu tych rozprożeń.

Jeżeli wynaczylibyśmy oporność Potiera w kilku punktach zdjętej doświadczalnie charakterystyki obciążenia, to odcinek  $E_p$  odpowiadający stracie napięcia na opor-

wykreślonym wyznaczaniu tej oporności, powoduje, że pomiędzy procentową wartością  $E_{st}$  (przy prądzie znamionowym) a wielkością przyjętą jako oporność Potiera istnieć mogą — choć nie zawsze — znaczne różnice.

Tabl. II podaje wartości oporności w procentach w stanie nasycenia magnetycznego (ob. koniec artykułu).

Tablica III

|  | U. S. A., 60 c/s              |                           | Europa <sup>2)</sup> , 50 c/s, $p = 1$ |                   |                |
|--|-------------------------------|---------------------------|--|-------------------|----------------|
|  | $X_s$ w %                     | $X_s^r$ w % <sup>1)</sup> | $X_s$ w %                              |                   |                |
| Turbogenerator<br>$p = 1$              | średnio 110<br>zakres 95—145  | 75<br>60—100              | Związek Radziecki<br>(5—60 MVA)        | średnio<br>zakres | 175<br>170—205 |
| Turbogenerator<br>$p = 2$              | średnio 110<br>zakres 100—145 | 75<br>60—100              | Szwecja<br>(do 20 MVA)                 | średnio<br>zakres | 145<br>143—150 |
| Biegunki wyd. z uzwojeniem tłumiącym   | średnio 115<br>zakres 60—145  | 65<br>40—100              | Szwajcaria<br>(ponad 40 MVA)           | średnio<br>zakres | 230<br>200—250 |
| Biegunki wyd. bez uzwojenia tłumiącego | średnio 115<br>zakres 60—145  | 65<br>40—100              | Francja<br>(ponad 40 MVA)              |                   | 241            |
|  |                               |                           | Anglia<br>(ponad 40 MVA)               |                   | 210            |
|  |                               |                           | Niemcy<br>(ponad 10 MVA)               | średnio<br>zakres | 200<br>100—220 |

<sup>1)</sup> Według General Electric Company, 1945

<sup>2)</sup> Dane mają charakter orientacyjny

ności Potiera były wielkością zmienną. Zmiany te wywołane byłyby wpływem rozproszenia magneśnicy, od którego to rozproszenia zależy przebieg doświadczalnie zdjętej charakterystyki obciążenia.

Okazuje się poza tym, że przy tym samym wzbudzeniu s. el.-m indukowana przy biegu jałowym jest odmienna od s. el.-m. indukowanej przy obciążeniu (wpływ wyższych harmonicznych oraz warstwy zewnętrznej magneśnicy), podobnie jak i wzrost prądu wzbudzenia przy obciążeniu i tym samym napięciu na zaciskach, zależy nie

## 6. Oporność synchroniczna $X_s^{**}$ .

Wielkość ta, bardzo charakterystyczna dla każdej maszyny synchronicznej, nasuwa bezsprzecznie bardzo wiele wątpliwości zarówno z punktu widzenia jej znaczenia fizycznego, jak i bardzo różnorodnych metod określenia.

<sup>\*</sup>) March L. A., Crary S. B. Armature leakage reactance of synchronous machines. A.I.E.E., 1935, str. 378 oraz wyniki dyskusji na str. 1116.

<sup>\*\*</sup>) Unsaturated synchronous reactance, conventional synchronous reactance, synchronic Reaktanz, reactance synchronic.



Niewątpliwie stosunkowo niewielki zakres jej zastosowania w problemach energetycznych usprawiedliwia do pewnego stopnia tę dowolność i różnorodność.

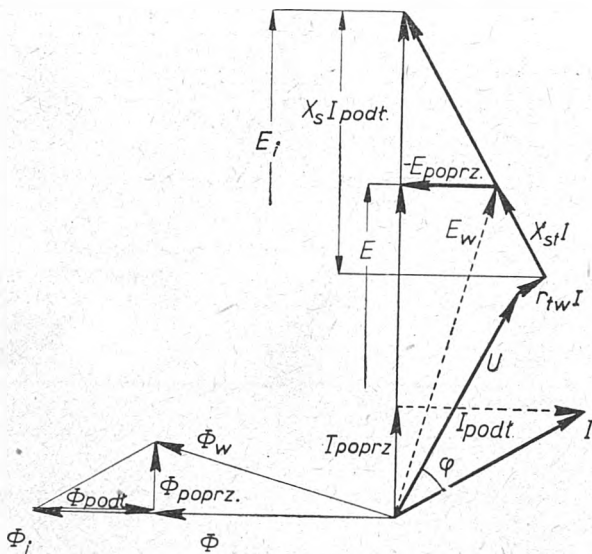
Próba usystematyzowania pojęć i określeń tu występujących wymaga wprowadzenia następujących terminów:

- 1) oporność synchroniczna pozorna  $X_s^z$ ,
- 2) oporność synchroniczna indukcyjna podłużna  $X_s$  (uwzględniająca reakcję podłużną twornika), zwana w pracy opornością synchroniczną, jeśli nie uwzględni nasycenia magnetycznego (tabl. III),
- 3) oporność synchroniczna dopasowana  $X_s^d$  (uwzględniająca nasycenie magnetyczne),
- 4) oporność synchroniczna równoważna  $X_s^r$  (equivalent synchronous reactance \*).

Oporność synchroniczna pozorna nie znajduje dużego zastosowania w teorii maszyn synchronicznych, a obliczone za jej pośrednictwem spadki napięć w celu uzyskania charakterystyki obciążenia daleko odbiegają od rzeczywistości.

Oporność ta bywa przeliczana na podstawie charakterystyki biegu jałowego oraz charakterystyki zwarcia (direct axis synchronous impedance curve) i skutkiem nasycenia w obwodzie magnetycznym jest wielkością zmienną.

Zmienność ta powoduje bardzo charakterystyczny fakt, że wzbudzenie potrzebne do uzyskania prądu zwarcia, równego prądowi znamionowemu, wypada inne przy obliczaniu go na podstawie charakterystyki obciążenia (przy  $I = I_n$ ,  $\cos\varphi = 0$  i  $U = 0$ ) i inne przy obliczaniu go na podstawie charakterystyki zwarcia (rozbieżność ta zależy



Rys. 14

od tego, w jakim zakresie wzbudzenia chcemy przy pesymistycznej metodzie określania spadków napięć otrzymać wyniki bardziej zbliżone do rzeczywistości).

Zdefiniowanie oporności synchronicznej, zarówno poprzecznej jak i podłużnej, wymaga pewnej modyfikacji rys. 9. Na rys. 14 przyjęto oznaczenia:

- $\Phi_1$  — strumień obwodu wzbudzającego,
- $\Phi$  — strumień w szczelinie po uwzględnieniu reakcji podłużnej twornika.

Wykres powyższy w połączeniu z charakterystykami przedstawionymi na rys. 15 pozwala zdefiniować oporność synchroniczną z punktu widzenia metody jej wyznaczania.

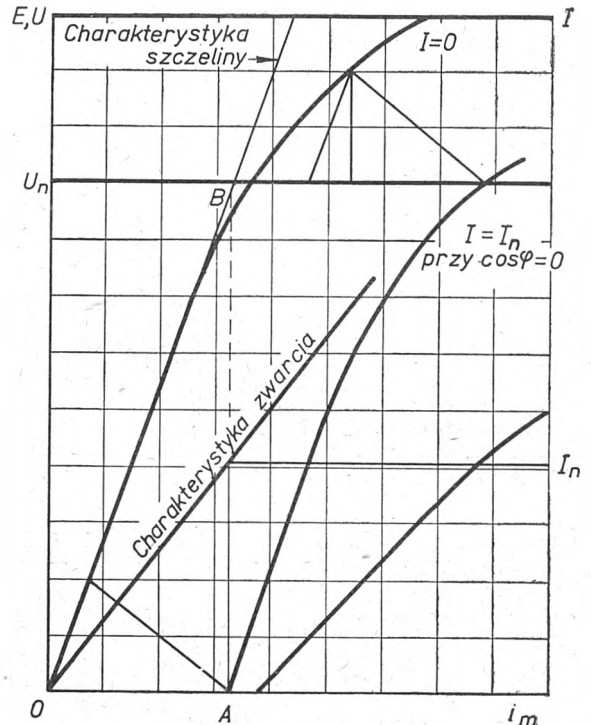
Ogólna definicja, określająca oporność synchroniczną jako stosunek podstawowej harmonicznej napięcia stojana do podstawowej harmonicznej składowej  $I_{podt.}$  prądu stojana w ustalonych warunkach pracy i przy znamionowej częstotliwości, może stwarzać duże trudności przy wyznaczaniu jej drogą doświadczalną. Zazwyczaj określenie to dotyczy prądu znamionowego.

Oporność synchroniczną najłatwiej jest określić na podstawie charakterystyki biegu jałowego i charakterystyki obciążenia przy  $I = I_n$  i  $\cos\varphi = 0$ , a to ze względu na

\*) Wielu autorów tę właśnie oporność nazywa opornością synchroniczną dopasowaną.

istniejące wówczas proste zależności arytmetyczne między napięciami i s.el.-m. Na rys. 15 prąd wzbudzenia  $OA$  odpowiada wzbudzeniu, przy którym w stanie płynię prądu znamionowy przy zwarcu, a więc przy zanikaniu napięcia na zaciskach prądnicy.

Indukowana s.el.-m.  $E_i$  (pomijając  $r_{tw}I$ ) równoważy się więc wówczas ze spadkiem napięcia  $X_s I_{podt.} \cong X_s I$  ( $I_{poprz.} \cong 0$ ). Jeżeliby nie istniało nasycenie magnetyczne, to indukowana s.el.-m. mogłaby być określona



Rys. 15

drogą usunięcia zwarcia i utrzymania tego samego wzbudzenia. Wartość tej s.el.-m. określona byłaby odcinkiem  $AB$ . Procentowa więc oporność synchroniczna, nie uwzględniająca nasycenia, równa jest w przybliżeniu stosunkowi odcinka  $AB$  do znamionowego napięcia fazowego, wyrażonemu w procentach (wyrażona w omach wynosi ona  $\frac{AB}{I_n}$ ). Należy zwrócić uwagę na fakt, że ponieważ ten sposób określania nie uwzględnia wpływu nasycenia magnetycznego, więc póki nasycenie to nie występuje wyraźnie przy prądzie wzbudzenia  $OA$ , oporność synchroniczna jest identyczna z opornością synchroniczną pozorną przy tym samym wzbudzeniu.

Ponieważ w praktyce amerykańskiej dla prądnic niemal wszystkich typów punktowii  $A$  (a więc prądowi wzbudzenia przy prądzie zwarcia równym  $I_n$ ) odpowiada na krzywej biegu jałowego początkowy stan nasycenia, przepisy amerykańskie pozwalają utożsamiać oporność synchroniczną z odpowiadającą wzbudzeniu  $OA$  opornością synchroniczną pozorną. W praktyce europejskiej ze względu właśnie na nasycenie magnetyczne przyrównanie takie jest niedopuszczalne i oporność synchroniczna jest znacznie większa niż odpowiadająca temu samemu wzbudzeniu oporność synchroniczna pozorna. Przy niewielkich wzbudzeniach oporność synchroniczna pozorna i oporność synchroniczna są wielkościami jednoznaczными.

Powyższy sposób wykreślnego wyznaczania oporności synchronicznej nie jest jedyny. Oto inne sposoby, które zależnie od przydatności mogą być stosowane:

1) jest to stosunek prądu wzbudzenia przy zwarcu prądnicy i prądzie znamionowym (w uzwojeniu stojana) do prądu wzbudzenia, który przy biegu jałowym daje siłę elektromotoryczną równą  $U_n$  bez uwzględnienia nasycenia;

2) jest to stosunek prądu znamionowego stojana do prądu ustalonego zwarcia przy takim wzbudzeniu, przy którym w razie pominięcia nasycenia otrzymujemy przy biegu jałowym siłę elektromotoryczną równą  $U_n$  (określenie spotykane w literaturze niemieckiej).

Literatura niemiecka wprowadza również związek pomiędzy opornością synchroniczną i opornością udarową za pośrednictwem tzw. wypadkowego współczynnika rozproszenia (Blondel):

$$\sigma = 1 - \frac{1}{(1 + \sigma_1)(1 + \sigma_2)},$$

gdzie  $\sigma_1$  i  $\sigma_2$  są współczynnikami rozproszenia stojana i magneśnicy. Związek ten wyraża się prostą zależnością:

$$\frac{1}{u} = X_{ud} = \sigma X_s.$$

Tak określona oporność udarowa charakteryzuje się wyraźnym uwzględnieniem zarówno oporności rozproszenia magneśnicy, jak i oporności rozproszenia stojana z magneśnicą. Jest ona więc niewątpliwie odpowiednikiem oporności przejściowej głównej, a nie wstępnej. Stanie się ona w przybliżeniu odpowiednikiem oporności przejściowej wstępnej, jeżeli założymy, że  $\sigma_2 = 0$  i jeżeli dopuszczalne jest przyjęcie równości oporności przejściowej wstępnej i oporności rozproszenia stojana z magneśnicą.

Oporność synchroniczna określa zazwyczaj tę oporność, która jest miarodajna dla ustalonego prądu zwarcia na zaciskach prądnicy.

Omówiona powyżej oporność synchroniczna pozorna i oporność synchroniczna nie wystarczają jednak do rozwiązywania zagadnień, dotyczących równowagi układów przesyłowych mocy w stanie ustalonym i nieustalonym. Ale nie tylko. Nawet wyznaczenie charakterystyki obciążenia wymaga pewnej modyfikacji pojęcia oporności synchronicznej ze względu na nasycenie magnetyczne.

Przy problemach tego rodzaju przesył mocy w warunkach ustalonych, jako punkt wyjścia do badania równowagi, wymaga uwzględnienia stanu nasycenia magnetycznego. Mamy wówczas do czynienia z opornością synchroniczną, uwzględniającą nasycenie magnetyczne. Koncepcja takiej oporności synchronicznej jest tylko właściwym dostosowaniem określenia oporności synchronicznej, nie uwzględniającej nasycenia, do warunków pracy przy takim wzbudzeniu, przy którym występuje już nasycenie magnetyczne.

Określona na podstawie rys. 15 oporność synchroniczna wynosiła:

$$\frac{U_{AB}}{U_n} = \frac{E_{AB} - 0}{U_n}$$

i zgodnie z definicją nie uwzględniała nasycenia. Analogiczna definicja oporności synchronicznej może być jednak utrzymana nawet wówczas, gdy przy danym wzbudzeniu wystąpi już wyraźnie nasycenie.

Wprowadzamy wówczas pojęcie oporności synchronicznej przy stałym nasyceniu, odpowiadającym danemu prądowi wzbudzenia.

Określenie tej oporności synchronicznej (saturated synchronous reactance) wymaga bezwzględnie znajomości oporności Potiera.

Przypuśćmy (rys. 16), że przy  $I = I_n$  i  $\cos\varphi = 0$  napięcie na zaciskach prądnicy przy wzbudzeniu  $OA'$  wynosi  $U$ . Jeżeli do napięcia tego dodamy spadek napięcia na oporności Potiera (a więc wywołany rozproszeniem stojana, odpowiadającym oporności Potiera), to otrzymamy s.e.l.-m.  $E_{OA'}$ , która określa warunki pracy prądnicy co do nasycenia. Jeżeliby ten stan nasycenia obwodu magnetycznego był niezmienny, to s.e.l.-m. wzrosłaby do wielkości  $E'_{OA'}$  przy biegu jałowym i tym samym wzbudzeniu  $OA'$ . Wielkość:

$$\frac{E'_{OA'} - U}{U_n}$$

jest opornością synchroniczną, która uwzględnia nasycenie magnetyczne.

W praktyce, niestety, ta uzasadniona teoretycznie koncepcja oporności synchronicznej dla stałego nasycenia nie daje wyników zgodnych z rzeczywistością.

Z tego powodu wprowadzono pojęcie oporności synchronicznej dopasowanej; postawiony w stosunku do niej zarzut, że jest nielogiczna, nie jest pozbawiony słuszności.

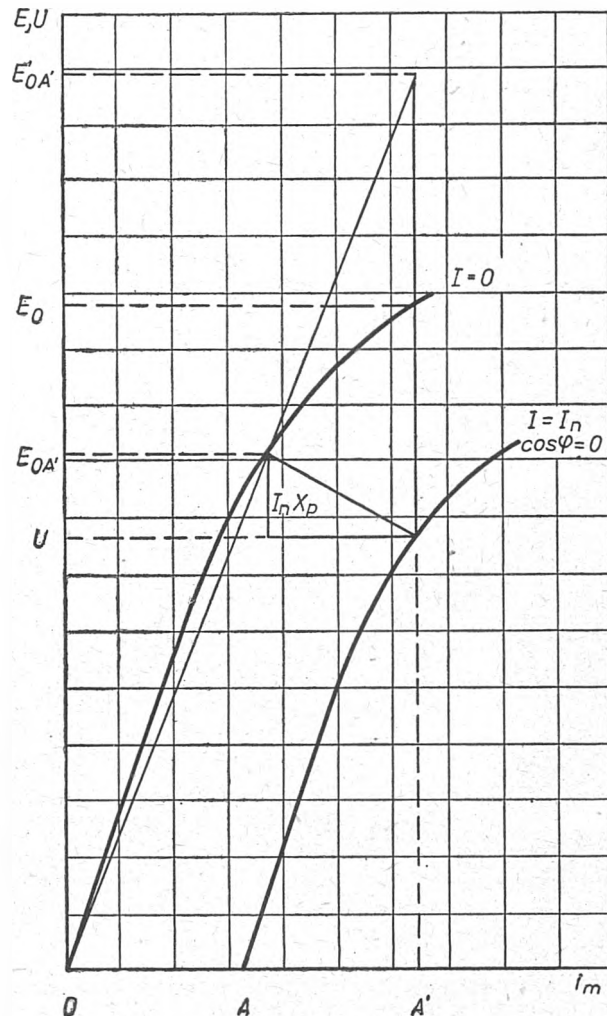
Jako oporność synchroniczną dopasowaną (adjusted synchronous reactance) przyjęto wielkość:

$$\frac{E_0 - U}{U_n},$$

a więc procentowy wzrost s.e.l.-m. przy biegu jałowym względem napięcia przy obciążeniu  $I = I_n$  dla tego samego wzbudzenia.

Posługiwanie się tego rodzaju opornością synchroniczną daje wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistości, sama jednak koncepcja takiej oporności nie opiera się na uzasadnionych podstawach teoretycznych. Sposób wyznaczenia charakterystyki obciążenia przy pomocy oporności synchronicznej dopasowanej podany jest na rys. 12.

Łatwo można się przekonać, że metoda wyznaczenia charakterystyki obciążenia przy pomocy oporności synchro-



Rys. 16

nicznej dopasowanej daje przy obciążeniu charakteru pojemnościowego zbyt duże różnice z rzeczywistością, aby ją można było stosować.

Oporność synchroniczna dopasowana daje natomiast dobre wyniki, jeśli stosujemy ją do wyznaczenia mocy granicznej przy zachowaniu warunku równowagi w stanie ustalonym. Pamiętać należy, że jako wartość oporności dopasowanej do warunków pracy przyjmujemy różnicę pomiędzy rzędnymi charakterystyki magnesowania i charakterystyki obciążenia przy danym prądzie obciążenia (przy tym samym prądzie wzbudzenia). Wartość tę należy, oczywiście, brać w stosunku do napięcia znamionowego i uwzględnić odstępstwo prądu obciążenia od wartości znamionowej. Jeżeli wartość oporności synchronicznej dopasowanej wzięta jest w stosunku do wartości znamionowej prądu obciążenia, to nie może być stosowana do wyznaczenia mocy granicznej przy innym prądzie obciążenia.

Metodzie wyznaczenia charakterystyki obciążenia przy pomocy trójkąta Potiera, bądź też przy pomocy oporności synchronicznej dopasowanej można zarzucić:

1) że opiera się na teoretycznie przyjętym rozkładzie siły magnetomotorycznej, szczególnie przy obciążeniu znamionowym,

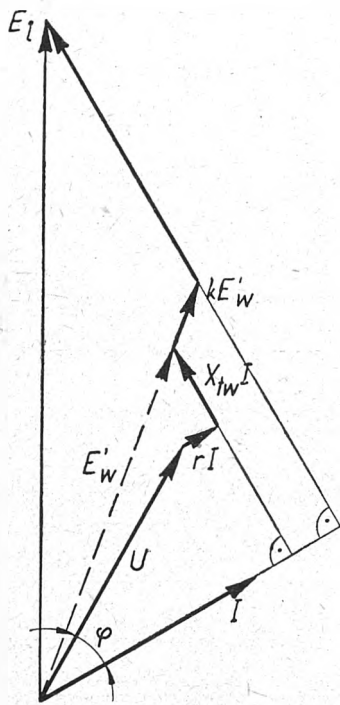
2) że wymaga dławika, który może wytrzymać przy pełnym prądzie obciążenia pełne napięcie prądnicy.

W przeciwieństwie do tych metod podano ostatnio metodę, która pozwala dokładnie odtworzyć stan magnetyczny przy pełnym obciążeniu, przy czym prądnica pracuje przy obrotach wynoszących zaledwie kilka procentów obrotów znamionowych.

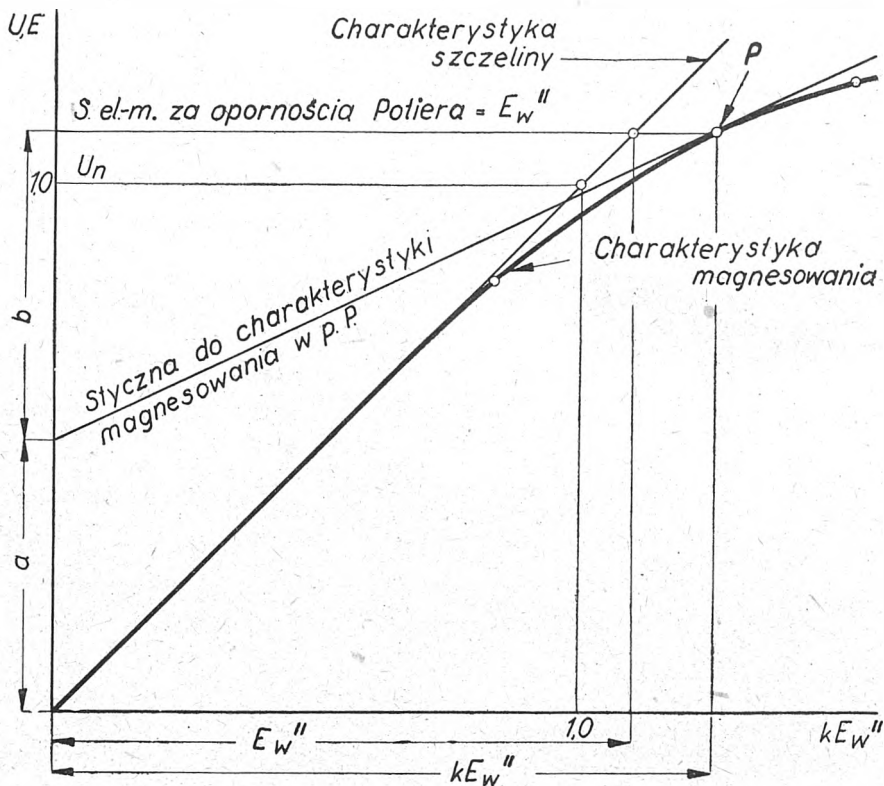
Coraz większe znaczenie zagadnienia równowagi w układach energetycznych zmuszało do usilnego poszukiwania właściwej koncepcji dopasowanej oporności synchronicznej. Badania prowadzone były zarówno drogą doświadczalną, jak i drogą poszukiwania właściwej koncepcji fizycznej, która objęłaby możliwie szeroki zakres zastosowania praktycznego<sup>1)</sup>.

Poniżej podamy jedną z metod wyznaczania oporności synchronicznej dopasowanej do warunków pracy i stopnia

opornością rozproszenia stojana, pomnożonej przez współczynnik nasycenia  $k$  (dla turbogenerators). Współczynnik ten (rys. 17) równy jest stosunkowi siły magnetomotorycznej dla całego obwodu magnetycznego do siły magnetomotorycznej dla szczeliny powietrznej. Przyjmujemy również, że decydującą rolę odgrywa stan obciążenia prądnicy, dla którego wyznaczamy oporność synchroniczną równoważną. Należy pamiętać, że jedynie dla kompensatorów synchronicznych konfiguracja obwodu zewnętrznego nie wpływa na wartość oporności równoważnej (obciążenie wpływa znacznie!). W przypadku prądnicy natomiast układ zastępczy, do którego daje się sprowadzić sieć współpracująca z maszyną, wpływa na oporność równoważną bardzo znacznie. Dla bardziej dokładnego wyznaczenia wartości oporności synchronicznej równoważnej niezbędna jest znajomość charakterystyk  $E'_w = f(kE''_w)$  przy różnych



Rys. 17



Rys. 18

nasylenia prądnicy<sup>2)</sup>, tzw. oporności synchronicznej równoważnej (equivalent synchronous reactance).

Jak wielką rolę odgrywa uwzględnienie nasycenia magnetycznego w prądnicy, świadczyć może fakt, że największa moc, jaka może być przesyłana normalną linią przesyłową — zanim nastąpi przekroczenie mocy granicznej ze względu na równowagę w stanie ustalonym — jest o 25% większa od mocy obliczonej przy pominięciu wpływu nasycenia magnetycznego<sup>3)</sup>.

Znajomość oporności synchronicznej równoważnej pozwala również rozwiązać jedno z kapitalnych zagadnień równowagi układu w stanie ustalonym, a mianowicie zagadnienie wykorzystania prądnicy i jej dopasowanie do warunków współpracy z danym układem energetycznym. Możemy mianowicie ustalić, czy prąd wzbudzenia nie osiągnie swojej największej wartości, nim jeszcze moc przesyłana będzie mocą graniczną z uwagi na zachowanie równowagi w stanie ustalonym.

Koncepcja oporności synchronicznej równoważnej opiera się na założeniu, że różnica wektorowa pomiędzy siłą magnetomotoryczną wzbudzenia i reakcji twornika jest proporcjonalna do wewnętrznej siły elektromotorycznej za

wartościach prądu wzbudzającego oraz oporność rozproszenia stojana (żłobkowego i połączeń czołowych).

Jeżeli jednak znamy charakterystykę magnesowania, to możemy się posługiwać opornością Potiera (zamiast opornością rozproszenia stojana) i wewnętrzną siłą elektromotoryczną za opornością Potiera (zamiast opornością rozproszenia stojana), jak to wynika z rys. 18.

W najprostszym więc przypadku oporność synchroniczna równoważna (przy znamionowym obciążeniu i przy znamionowym współczynniku mocy) wynosi w przybliżeniu:

$$X_s^r \cong X_p + \frac{X_s - X_p}{\sqrt{k \left(1 + \frac{a}{b}\right)}}$$

i to zarówno dla turbogeneratorów, jak i dla prądnic z magnesnicą o biegunach wydrotnych.

Dla zbliżonych do znamionowego współczynników mocy, ale odmiennych od znamionowych prądów odpowiadających wyjściowemu stanowi obciążenia niezbędne jest posługiwanie się charakterystykami  $E'_w = f(kE''_w)$  oraz opornością rozproszenia stojana. Dokładne wyznaczenie oporności synchronicznej równoważnej przy uwzględnieniu dowolnego stanu wyjściowego obciążenia oraz wpływu układu, z którym prądnica współpracuje, wymaga rozwiązania układu równań różniczkowych.

Oporność synchroniczna równoważna prądnicy przy znamionowym obciążeniu wynosi ok. 60—80% oporności syn-

<sup>1)</sup> Edith Clarke, A. I. E. E. Transactions, t. 45, 1926, str. 93. O. G. C. Dahl "Electric circuits, theory and applications", t. 1, rozdział 12. H. B. Dwight Gen. Electr. Rev., 1932, str. 609. C. Kingsley A. I. E. E. Transactions, t. 54, 1935, str. 300—305.

<sup>2)</sup> S. B. Crary, L. A. March, L. P. Schildneck, A. I. E. E. Transactions, t. 53, 1934, str. 124—132.

<sup>3)</sup> S. B. Crary „Power system stability“, t. 1, str. 149.



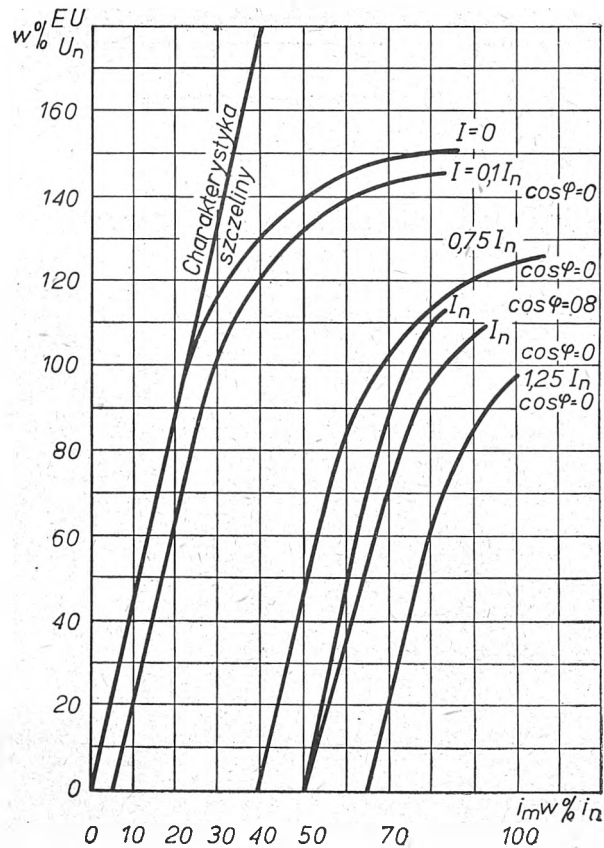
chronicznej podłużnej, będąc wartością najczęściej spotykaną w zagadnieniach związanych z równowagą układu w stanie ustalonym.

Rys. 20 podaje zestawienie wykresne różnych oporności synchronicznych, a mianowicie:

- 1) oporność synchroniczną pozorną (synchronous impedance),
- 2) oporność synchroniczną bez uwzględnienia nasycenia (conventional synchronous reactance),
- 3) oporność synchroniczną z uwzględnieniem nasycenia (saturated synchronous reactance) i
- 4) oporność synchroniczną dopasowaną (adjusted synchronous reactance)

dla prądnicy SSW (12,5 MVA, 6,3 kV). Charakterystyki tej prądnicy podane są na rys. 19.

Jeżeli przejście z jednego stanu ustalonego do drugiego, jak np. przy równowadze w stanie nieustalonym, odbywa



Rys. 19

się w sposób gwałtowny, to pośrednie stany nieustalone (kołysanie) określone są pewną opornością, której wartość leży również pomiędzy opornością synchroniczną i opornością przejściową główną.

Oporność ta zwana opornością kołysaniową (Timaszew, Wagoner), pozwala określić charakterystyki mocy, po których przesuwają się punkty pracy przy przechodzeniu układu z jednego stanu ustalonego do następnego. Oporność ta równa jest:

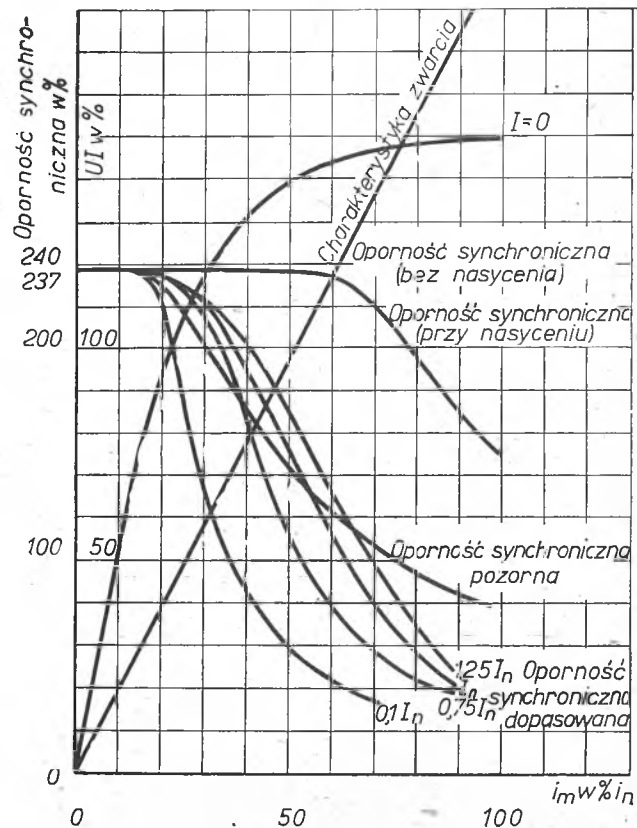
$$X_k = X_{tw} + q X_r.$$

W przypadku prądnic o biegunach wydatnych oporność kołysaniową zależy od oporności synchronicznej poprzecznej.

Charakter oporności kołysaniowej, wprowadzonej z uwagi na s. el.-m., którą można przyjąć jako stałą w stanie nieustalonym (pośrednia pomiędzy synchroniczną i przejściową), różni się jednak zasadniczo od charakteru oporności miarodajnej przy równowadze dynamicznej. Różnica ta wynika zarówno ze sposobu zmiany obciążenia jak i z zachowania się obwodu wzbudzenia (wpływ prędkości przebiegów i działania regulatorów).

Nie należy jednak zapominać o zasadniczej różnicy pomiędzy opornością kołysaniową oraz opornością miarodaj-

ną dla stanów równowagi dynamicznej. Ta ostatnia bowiem oporność odpowiada stanowi, w którym zmiany obciążenia występują powolnie (względem drgań układu lub przebiegów w obwodzie wzbudzenia), wzbudzenie zaś (ustalone) zmienia się jednocześnie ze zmianami obciążenia. Jeżeli jako kołysania maszyn synchronicznych przy-



Rys. 20

miemy zjawiska wywołane własnościami samego układu względnie wymuszone tężącym momentem napędowym, to określenie „oporność kołysaniowa“ — w takim znaczeniu jak podano powyżej — może budzić zastrzeżenia.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że oporność synchroniczna bywa nieraz błędnie nazywana współczynnikiem zwarcia (short circuit ratio, Kurzschlussverhältnis). Współczynnik ten ( $K_{zw}$ ) określa stosunek prądu wzbudzenia, który daje przy biegu jałowym siłę elektromotoryczną równą  $U_n$  (z uwzględnieniem nasycenia), do prądu wzbudzenia, przy którym ustalony prąd zwarcia równy jest prądowi znamionowemu. Współczynnik zwarcia może być wyrażony przez oporność synchroniczną oraz stosunek prądów wzbudzenia przy biegu jałowym (z uwzględnieniem nasycenia) i bez uwzględnienia nasycenia) potrzebnych do uzyskania siły elektromotorycznej równej  $U_n$ :

$$K_{zw} = \frac{1}{X_s} \cdot \frac{i_{m0}}{i_{m0}(\text{szczeliny})}$$

Im większy jest współczynnik zwarcia, tym łatwiej jest zachować równowagę układu w okresie przejściowym przy zwarcu i w następującym po nim stanie ustalonym (mały wpływ zaburzenia na zmniejszenie strumienia magnetycznego).

Współczynnik ten może niewątpliwie służyć do praktycznego określenia największej mocy prądnicy, jest bowiem wielkością, która uwzględnia wpływ nasycenia przy biegu jałowym na oporność synchroniczną. Wyznaczany on bywa zazwyczaj z charakterystyki magnesowania oraz charakterystyki zwarcia (tabl. III).

Niewątpliwie szereg rozbieżności spotykanych przy porównywaniu danych europejskich i amerykańskich wynika z odmiennych kierunków konstrukcyjnych i innych wymagań, stawianych prądnicom zależnie od warunków pracy i przeznaczenia. Ale również sam zasadniczy fakt, że ściśle ujęcie matematyczne zjawiska rozproszenia następcze ogromne trudności, odgrywa tu bardzo poważną rolę.

**7. Wpływ nasycenia magnetycznego.**

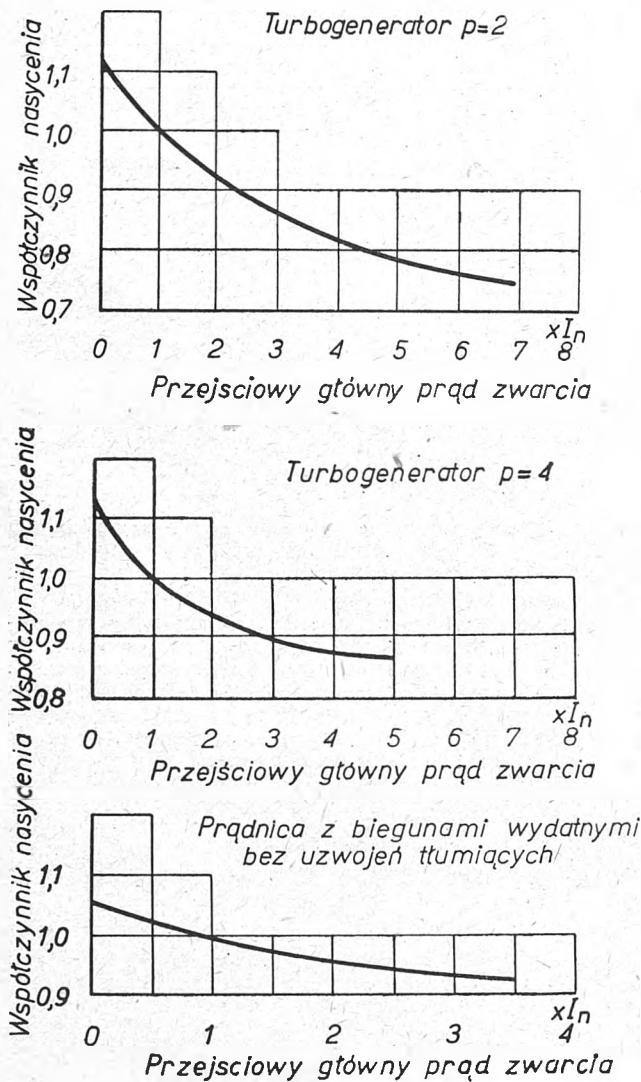
Na zakończenie należy poświęcić kilka uwag wpływowi stanu nasycenia magnetycznego na niektóre oporności prądnic synchronicznych.

Znajomość wartości, odpowiadającej stanowi nasycenia (100-procentowe napięcie w chwili zwarcia), oraz wartości, nieuwzględniającej (w założeniu) nasycenia (100-procentowy prąd zwarcia przy pominięciu składowej przejściowej wstępnej), nie wystarcza do rozwiązania wszystkich zagadnień, w których występuje oporność przejściowa główna i wstępna prądnicy synchronicznej.

Wprowadzone wyżej rozróżnienie usuwa wątpliwości co do tego, jaką wartość oporności należy rozumieć, jeżeli stan nasycenia magnetycznego nie jest ściśle określony.

Nieuwzględnienie stanu nasycenia w turbogeneratorach, zarówno jak w prądnicach z biegunami wydatnymi, w stosunku do oporności przejściowej wstępnej i oporności dla składowej symetrycznej przeciwnej może powodować, że prądy zwarcia wypadną zbyt małe, nawet o 35%.

W celu uniknięcia nieporozumień, mogących powstać w razie uznania oporności w stanie nienasyconym za oporności zasadnicze proponowano wprowadzenie pewnych współczynników; jednak przeciwko takiej metodzie



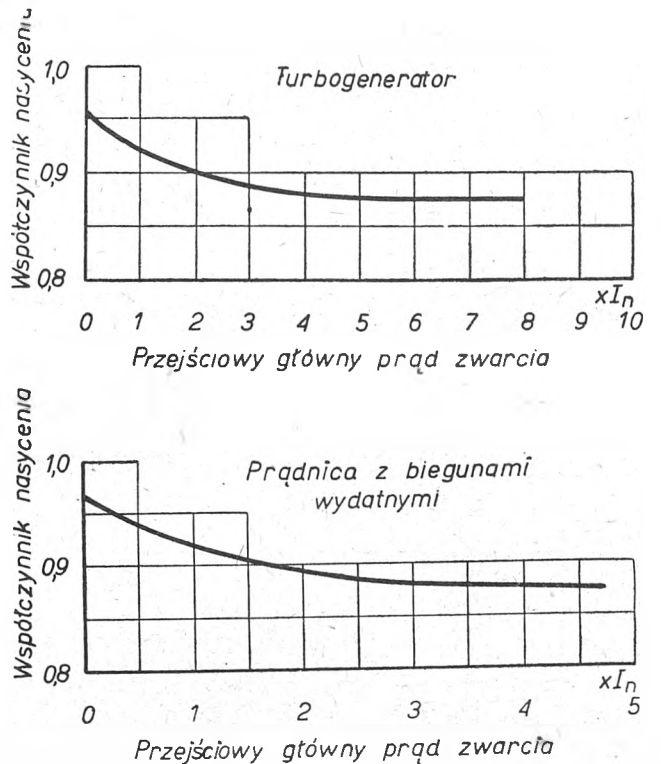
Rys. 21

uwzględniania nasycenia magnetycznego można podnieść szereg zarzutów. Jako przykład wprowadzanych współczynników podamy krzywe dla oporności przejściowej głównej i wstępnej\*). Wszystkie krzywe wzięte są w stosunku do wartości oporności przy zwarcu, przy którym składowa przejściowa główna prądu zwarcia w chwili  $t = 0$  łącznie ze składową ustaloną równa jest prądowi znamionowemu.

\*) Według C. F. Wagnera (Westinghouse Reference Book).

Rys. 21 przedstawia zależność współczynnika nasycenia dla oporności przejściowej wstępnej (zwarcie ze stanu nieobciążonego, wzbudzenie przy zwarcu zmieniane dla różnej wartości przejściowego głównego prądu zwarcia, żadna oporność z zewnątrz nie jest przyłączana). Współczynnik ten określa stosunek oporności przejściowej wstępnej w danych warunkach wzbudzenia do oporności przejściowej wstępnej przy 100-procentowym przejściowym głównym prądzie zwarcia równym prądowi znamionowemu.

Dla oporności przejściowej głównej uwzględniono w odmienny sposób wpływ nasycenia. Przy pomiarach przyjęto



Rys. 22

stałe wzbudzenie (napięcie znamionowe, zwarcie ze stanu nieobciążonego), a prąd zwarcia zmieniano przy pomocy oporności przyłączonej w obwodzie zewnętrznym. Rys. 22 przedstawia współczynnik nasycenia dla oporności przejściowej głównej, wyrażający stosunek oporności przejściowej głównej w danych warunkach zwarcia (nie wzbudzenia!) do oporności przejściowej głównej przy prądzie przejściowym głównym zwarcia, równym prądowi znamionowemu\*\*). Wartość oporności dla znamionowego przejściowego głównego prądu zwarcia wyznacza się jednak drogą zmiany wzbudzenia, a nie obciążenia w obwodzie zewnętrznym. Należy zwrócić uwagę na charakterystyczny fakt, że oporność przejściowa główna przy znamionowym przejściowym głównym prądzie zwarcia, uzyskanym drogą regulacji wzbudzenia, jest inna, niż ta sama oporność, obliczona przy pełnym wzbudzeniu dla znamionowego przejściowego głównego prądu zwarcia, uzyskanego jednak drogą regulacji oporności w obwodzie zewnętrznym. Fakt ten dowodzi właśnie niezbicie, że oporność ta zależy od nasycenia magnetycznego. Mówiąc o oporności przejściowej głównej, odpowiadającej znamionowemu przejściowemu głównemu prądowi zwarcia, należy pamiętać, że odpowiada ona właściwie zmniejszonemu wzbudzeniu, a nie odpowiedniemu dopasowaniu oporności w obwodzie zewnętrznym.

Jako zasadę można przyjąć, że oporność przejściowa główna i wstępna podawane są zawsze dla warunków stanu nasycenia, natomiast oporność synchroniczna dla warunków nie uwzględniających nasycenia.

Tabl. IV podaje przeciętne wartości stosunku pomiędzy opornościami w stanie magnetycznego nasycenia (przy zwarcu ze stanu nieobciążonego przy pełnym napięciu znamionowym) oraz w stanie nienasyconym magnetycznie (liczby te znajdują zastosowanie przy wyznaczaniu gra-

\*\* Zbliżone bardzo wyniki uzyskano w r. 1946 w czasie prób przeprowadzonych przez „Service central de l'Énergie électrique des Houillères Nationales du Nord et du Pas-de-Calais” dla turbogeneratorów na 10 i 20 MW.

nicznej mocy, spełniającej warunek zachowania równowagi w stanie nieustalonym).

Tablica IV

| Oporność                 | Prądnicą z biegunami wydatnymi |                          | Turbogenerator |        |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|--------|
|                          | uzwojenie tłumiące             | bez uzwojenia tłumiącego | 2p = 2         | 2p = 4 |
| Prześciowa główna        | 0,88                           | 0,88                     | 0,88           | 0,88   |
| Prześciowa wstępna       | 1,0                            | 0,88                     | 0,65           | 0,77   |
| Dla składowej przeciwnej | 1,0                            | 0,88                     | 0,65           | 0,77   |
| Dla składowej zerowej    | 1,0                            | 1,0                      | 1,0            | 1,0    |

Należy zwrócić uwagę, że stosunek ten w odniesieniu do przejściowego głównego prądu zwarcia, równego prądowi znamionowemu, wynosi dla oporności przejściowej wstępnej oraz dla oporności dla składowej symetrycznej przeciwnej przy turbogeneratorach:

$$\begin{aligned} \text{przy } 2p = 2 & \quad 0,73, \\ \text{„ } 2p = 4 & \quad 0,87. \end{aligned}$$

Przyjmując dla oporności przejściowej wstępnej wartość 0,87 jako stosunek tej oporności przy zwarciu w stanie nasycenia magnetycznego (100-procentowe wzbudzenie) do oporności przy znamionowym przejściowym głównym prądzie zwarcia, otrzymamy jego odwrotność jako 1,15, którą to właśnie liczbę otrzymano przy bezpośrednich pomiarach. Liczba ta pozwala wykreślić zależność od przejściowego głównego prądu zwarcia innego współczynnika nasycenia, a mianowicie stosunku oporności przejściowej wstępnej w stanie nienasyconym do tejże oporności przy 100-procentowym wzbudzeniu.

## 8. Wnioski.

Rozbudowująca się sieć krajowa wysokiego napięcia i przewidywane w planie 6-letnim poważne zwiększenie mocy zainstalowanej będzie niewątpliwie wymagało głębszej i wnikliwszej analizy naszego układu energetycznego.

Powstaje już dzisiaj konieczność sprawdzenia warunków współpracy układu energetycznego na 220 kV Śląsk—Łódź—Warszawa. Konieczność tego rodzaju obliczeń będzie wzrastała z roku na rok. Również i dokładność obliczeń, uwzględniających jedynie zwarcie symetryczne, nie będzie wystarczająca, jeżeli zważy się, że niekoniecznie muszą one odpowiadać najbardziej krytycznym warunkom.

Analiza przebiegu prądu zwarcia i możliwości ustalenia czynników, które na nią wpływają, odgrywa zasadniczą rolę przy projektowaniu i konstrukcji maszyny synchronicznej.

Do chwili obecnej zagadnienie rozproszenia magnetycznego w prądnicach synchronicznych nie zostało ostatecznie rozwiązane. Niewątpliwie zasób naszych wiadomości o tym zjawisku jest dzisiaj duży, ale wiele rzeczy należy jeszcze zbadać. W ten sposób można będzie powiązać badania czysto teoretyczne z wymaganiami, które stawia nauce celowa produkcja i właściwy sposób wyzyskania energii elektrycznej.

W pracy niniejszej wspomniano jedynie o oporności prądnic dla składowej symetrycznej przeciwnej, a pominięto zupełnie milczeniem oporność dla składowej symetrycznej zerowej. Oporności te, aczkolwiek w wielu przypadkach trudne do interpretacji (np. w liniach napowietrznych), właśnie w przypadku maszyn wirujących mają zupełnie jasne znaczenie fizyczne. Zagadnienie tych oporności wobec braku zasadniczych sprzeczności w ich definicji sprowadza się raczej do ustalenia najwłaściwszej metody ich doświadczalnego wyznaczenia lub do przyjęcia tak wybranej definicji, aby związana z nią zależność analityczna dawała najbliższe rzeczywistości wyniki.

W świetle poruszonych zagadnień nasuwa się pytanie, które z omówionych wyżej oporności powinny być przyjmowane jako dane znamionowe prądnic synchronicznych. Konieczność znajomości czterech spośród nich nie ulega najmniejszej wątpliwości, są to:

- 1) oporność przejściowa wstępna,
- 2) oporność przejściowa główna,
- 3) oporność dla składowej symetrycznej przeciwnej,
- 4) oporność dla składowej symetrycznej zerowej.

Dane te nie są jednak wystarczające. Jeżeli dane znamionowe mają zawierać przede wszystkim wielkości ważne dla eksploatacji, to powinny one zawierać również:

- 5) oporność synchroniczną,
- 6) oporność synchroniczną równoważną dla znamionowego obciążenia wyjściowego.

Posiadanie tych danych — nawet przy chwilowym braku charakterystyk — pozwala w znacznym stopniu ustalić przydatność i dopasowanie danej prądnicy do warunków pracy narzuconych ogólną koncepcją układu, z którym ma ona współpracować.

## 9. Wykaz oznaczeń.

|   |   |
|---|---|
| $E_i$   | s. el.-m. odpowiadająca prądowi wzbudzenia  |
| $E$   | s. el.-m. wzbudzana przez pole magnetyczne (z uwzględnieniem reakcji podłużnej twornika)  |
| $E_{poprz}$                                   | s. el.-m. wzbudzana skutkiem reakcji poprzecznej twornika   |
| $E_p$   | s. el.-m. odpowiadająca oporności Potiera   |
| $E_{st}$                                      | s. el.-m. odpowiadająca rozproszeniu stojana z magneśnicą   |
| $E_w$   | s. el.-m. wewnętrzna za opornością rozproszenia stojana z magneśnicą  |
| $E'_w$  | s. el.-m. wewnętrzna za opornością rozproszenia stojana $X_{tw}$  |
| $E''_w$                                       | s. el.-m. wewnętrzna za opornością Potiera  |
| $(I''_{zw} - I'_{zw}) e^{-t/T''_{zw}}$        | składowa przejściowa wstępna prądu zwarcia  |
| $(I'_{zw} - I_{zw \cdot ust}) e^{-t/T'_{zw}}$ | składowa przejściowa główna prądu zwarcia   |
| $I''_{zw}$                                    | prześciowy wstępny prąd zwarcia   |
| $I'_{zw}$                                     | prześciowy główny prąd zwarcia  |
| $I_{zw}$                                      | składowa zmienna prądu zwarcia  |
| $I_{zw \cdot ust}$                            | ustalony prąd zwarcia   |
| $I_{zw}$                                      | całkowity prąd zwarcia (niesymetryczny prąd wyłączalny)   |
| $I_{ws}$                                      | symetryczny prąd wyłączalny   |
| $I_{ud}$                                      | udarowy prąd zwarcia  |
| $i_m$   | prąd obwodu wzbudzającego   |
| $k$   | współczynnik nasycenia magnetycznego dla oporności synchronicznej równoważnej   |
| $K_{zw}$                                      | współczynnik zwarcia  |
| $T''_{zw}$                                    | stała czasu składowej przejściowej wstępnej (zmodyfikowana ze względu na zwarcie uzwojenia stojana stała czasu obwodu tłumiącego)   |
| $T'_{zw}$                                     | stała czasu składowej przejściowej głównej (zmodyfikowana ze względu na zwarcie uzwojenia stojana stała czasu obwodu wzbudzającego) |
| $T_{zw}$                                      | stała czasu składowej jednokierunkowej (stała czasu obwodu stojana)   |
| $r_{tw}$                                      | oporność czynna uzwojenia stojana   |
| $r_{zew}$                                     | oporność czynna obwodu zewnętrznego   |
| $R_{zw}$                                      | oporność czynna obwodu zwarcia  |
| $X_{ud}$                                      | oporność udarowa  |
| $X''_s$                                       | oporność przejściowa wstępna (podłużna)   |
| $X'_s$  | oporność przejściowa główna (podłużna)  |
| $X_s$   | oporność rozproszenia żłobkowego i połączeń czołowych (rozproszenia stojana)  |
| $X_{tw}$                                      | oporność rozproszenia stojana z magneśnicą  |
| $X_{st}$                                      | oporność rozproszenia wnekowego   |
| $X_w$   | oporność rozproszenia stojana przy wyjętej magneśnicy   |
| $X$   | oporność rozproszenia stojana i magneśnicy  |
| $X_{tw+m}$                                    | oporność kołysaniowa  |
| $X_k$   | oporność odpowiadająca reakcji podłużnej twornika   |
| $X_r$   | oporność Potiera (podłużna)   |
| $X_p$   | oporność indukcyjna obwodu zewnętrznego   |
| $X_{zew}$                                     | oporność indukcyjna obwodu zwarcia  |
| $X_s$   | oporność synchroniczna (podłużna)   |
| $X_s^d$                                       | oporność synchroniczna dopasowana   |
| $X_s^r$                                       | oporność synchroniczna równoważna   |
| $X_2$   | oporność dla składowej symetrycznej przeciwnej  |
| $X_0$   | oporność dla składowej symetrycznej zerowej   |
| $\alpha$                                      | współczynnik prądu udarowego  |
| $\Phi_s$                                      | strumień magnetyczny w szczelinie   |
| $\Phi_r$                                      | strumień magnetyczny rozproszenia   |



|                |   |
|----------------|---|
| $\Phi_1$       | strumień magnetyczny odpowiadający prądowi wzbudzenia               |
| $\Phi$         | strumień magnetyczny uwzględniający reakcję podłużną twornika       |
| $\Phi_w$       | strumień magnetyczny odpowiadający s. el.-m. za opornością $X_{st}$ |
| $\Phi_{poprz}$ | strumień magnetyczny odpowiadający reakcji poprzecznej twornika     |
| $\Phi_{podł}$  | strumień magnetyczny odpowiadający reakcji podłużnej twornika       |
| $\sigma$       | współczynnik rozproszenia wypadkowego                               |
| $\sigma_1$     | współczynnik rozproszenia stojana                                   |
| $\sigma_2$     | współczynnik rozproszenia magneśnicy                                |
| $\mu$          | współczynnik prądu wyłączalnego                                     |

## LITERATURA

- Westinghouse Electrical Transmission and Distribution Reference Book, 1944.  
 Wagner C. F., Evans R. D. Symmetrical Components.  
 Kimbark E. W. Power System Stability, 1947, t. III.  
 Lyon W. V. Applications of the Method of Symmetrical Components.  
 Cray S. B. Power System Stability, 1947, t. I.  
 Doherty R. E., Nickle C. A. Synchronous Machines. A. I. E. E., 1928.  
 March L. A., Cray S. B. Armature Leakage Reactance of Synchronous Machines. A. I. E. E., 1935.  
 Lyon W. V. Application of Harmonic Analysis to the Theory of Synchronous Machines. A. I. E. E., 1918.  
 Thomas W. A. Negative-Sequence Reactance of Synchronous Machines. A. I. E. E., 1936.  
 Kingsley C. Saturated Synchronous Reactance. A. I. E. E., 1935.  
 Park R. H., Robertson B. W. Reactances of Synchronous

- Machines. Trans. A. I. E. E., 1928.  
 Kilgore L. A. Calculation of Synchronous Machine Constants, Reactances and Time Constants Affecting Transient Characteristics. Trans. A. I. E. E., 1931.  
 Kilgore L. A. Effects of Saturation on Machine Reactances. Trans. A. I. E. E., 1935.  
 Wright S. H. Determination of Synchronous Machine Constants by Test. A. I. E. E., 1931.  
 Wagner C. F. Effect of Armature Resistance upon Hunting. Trans. A. I. E. E., 1930.  
 Waring M. W., Cray S. B. The Operational Impedances of a Synchronous Machine. Gen. Electr. Rev. 1932.  
 Stevenson A. R., Park R. H. Graphical Determination of Magnetic Fields. Trans. A. I. E. E., 1927.  
 Hamilton F. A. Field Tests to Determine Damping Characteristics of Synchronous Machines. Gen. Electr. Rev., 1932.  
 Harrison D., Jones C. V. A New Method of Predetermining the Regulation of Alternators at Unity and Lagging Power Factors. Journ. Inst. Electr. Eng., 1948 (II), str. 374-377.  
 Margand F. Relation entre coefficients fondamentaux des machines synchrones dans l'état variable et les diverses impédances apparaissant dans l'étude des régimes synchrones déséquilibrés. Rev. Gén. d'Électr., 1932.  
 Sequenz H. Zur Bestimmung des Blindwiderstandes der Streuung bei Synchronmaschinen. Elektrotechn. u. Maschinenb., 1931.  
 Mandl A. Die charakteristischen Grössen für den dreiphasigen Dauerkurzschluss. Elektrotechn. u. Maschinenb., 1929.  
 Kyser H. Elektrische Kraftübertragung. 1940.  
 Richter R. Elektrische Maschinen. 1932.  
 Bödefeld T., Sequenz H. Elektrische Maschinen. 1944.  
 Kaufmann W. Die Kurzschluss-Phasenverschiebung, ihre Bedeutung für den Abschaltvorgang und ihre Messung. E. T. Z., 1935.  
 Szczedrin N. Toki karotkawo zamykanja wysokowoltnych sistem. Moskwa, 1935, str. 438.  
 Zdanow, Lebiediew. Ustojczywość' parollelnoj raboty elektrotechnicznych sistem. 1934.

INŻ. KARTASZYŃSKI BOLESŁAW  
 INŻ. DOMINKO STANISŁAW  
 Główny Instytut Elektrotechniki

## Wpływ forsowania wzbudzenia na współpracę prądnic i silników oraz na zabezpieczenia przekątnikowe przy zakłóceniach sieciowych

**Treść.** Opisane są korzyści, które daje podczas zakłóceń sieciowych szybkie forsowanie wzbudzenia prądnic i większych silników synchronicznych, czyli szybkie powiększanie napięcia wzbudzenia aż do największej osiągalnej wartości. Objąsnił wpływ forsowania wzbudzenia na utrzymanie współpracy prądnic, na utrzymanie w ruchu odbiorów oraz na pracę zabezpieczeń przekątnikowych. Opierając się na praktyce ZSRR, autor przytacza przykłady pracy układów elektroenergetycznych, w których prądnice i większe silniki synchroniczne są zaopatrzone w urządzenia do forsowania wzbudzenia.

**Влияние форсирования возбуждения на совместную работу генераторов и двигателей и на релейную защиту в случае сетевой аварии.** Описаны выгоды, которые дает во время сетевых аварий быстрое форсирование возбуждения генераторов и более крупных синхронных двигателей, т. е. быстрое повышение возбуждающего напряжения до максимального возможного значения. Выяснено влияние форсировки напряжения на поддержание совместной работы генераторов, на сохранение приемников в действии и на работу релейной защиты. Основываясь на практике СССР, автор приводит примеры работы электро-энергетических систем в случае снабжения генераторов и крупных синхронных двигателей устройствами для форсирования возбуждения.

**The influence of forced excitation on the parallel operation of generators and motors, as well as on relay protection in cases of breakdown in power systems.** Advantages are described which, in the event of breakdown in power systems, are provided by forced excitation of generators and larger synchronous motors, that is to say, by rapid increase of the excitation voltage to the maximum limit. Explanations are provided as to the influence of forced excitation on the maintenance of parallel operation of generators, on the maintenance of supply and on the work of relay protection devices. On the basis of USSR practice, the author quotes instances of work of electric power systems, where generators and larger synchronous motors are fitted with equipment for forced excitation.

### 1. Wstęp.

Zagadnieniu forsowania wzbudzenia maszyn synchronicznych przy zakłóceniach sieciowych poświęcono w ostatnich latach dużo miejsca w literaturze zagranicznej (ZSRR, Francja, Czechosłowacja i in.).

Zastosowanie urządzeń forsowania wzbudzenia dało wszędzie dobre wyniki.

Na Międzynarodowej Konferencji Wielkich Sieci Elektrycznych (CIGRE) w r. 1948 między innymi wygłosił referat I. A. Syromiatnikow (ZSRR) pt. „Praktyka eksploatacji układów energetycznych ZSRR po wprowadzeniu forsowania wzbudzenia maszyn synchronicznych”. W ZSRR zaopatrzenie prądnic i kompensatorów synchronicznych w urządzenia do forsowania wzbudzenia oraz modernizacja zabezpieczeń przekątnikowych okazały się bardzo skuteczne. Znacznie zmniejszyła się liczba zakłóceń równowagi w pracy równoległej oraz w znacznym stopniu została rozwiązana kwestia utrzymania ciągłości ruchu odbiorów przy zakłóceniach sieciowych.

Szczególnie duże korzyści daje forsowanie wzbudzenia w układach energetycznych pracujących z małą rezerwą

i zaopatrzonych w wyłączniki i zabezpieczenia przekątnikowe posiadające łączny czas wyłączania zwarć większy niż 0,2 sekundy (jak to jest u nas w kraju).

Forsowanie wzbudzenia, czyli szybki wzrost napięcia wzbudzającego przy zmniejszeniu napięcia na zaciskach prądnicy (np. przy zwarciu w sieci), aż do największej możliwej wartości może być osiągnięte kilkoma sposobami, na przykład:

- przy pomocy specjalnego urządzenia, wykonanego według schematu pokazanego na rys. 1;
- przy pomocy wzbudzenia złożonego tj. dodania do prądu z wzbudnicy wyprostowanego prądu zmiennego;
- przy pomocy regulatorów napięcia, jeżeli pozwalają one na bardzo szybkie osiągnięcie potrzebnego „pułapu” napięcia;
- przy pomocy dodania do głównego uzwojenia wzbudzającego prądnicy tzw. uzwojenia różnicowego;
- w niektórych wypadkach korzysta się z łącznego działania wymienionych urządzeń.

Szybki wzrost napięcia wzbudzającego pozwala na utrzymanie dostatecznie dużego strumienia magnetycz-

nego podczas zwarcia w sieci (przez co są spełnione warunki zachowania równowagi maszyn synchronicznych) oraz powiększa moc bierną prądnic synchronicznych, potrzebną do rozruchu silników asynchronicznych przy przywróceniu napięcia po wyłączeniu zwarcia.

**2. Wpływ forsowania wzbudzenia na zachowanie równowagi pracy maszyn synchronicznych.**

Do zachowania niezmiennych warunków równowagi pracy maszyn synchronicznych konieczne jest, aby podczas zwarcia wypadkowy strumień magnetyczny, a więc i wewnętrzna przejściowa siła elektromotoryczna (s. elm.)  $E'_d$  miały stałą wartość.

W chwili zwarcia zwiększa się znacznie prąd bierny stojana, a więc i reakcja stojana. Prąd wirnika, dążąc do utrzymania niezmiennego strumienia magnetycznego, wzrasta do takiej wartości, jaka jest potrzebna do skompensowania gwałtownie zwiększonej reakcji stojana w chwili zwarcia. Następnie wzbudzony w wirniku prąd przejściowy zaczyna maleć, w wyniku czego maleją strumień magnetyczny i s. elm. maszyny.

Urządzenie do forsowania wzbudzenia działa pod wpływem spadku napięcia w chwili zwarcia.

Napięcie wzbudzenia zaczyna wzrastać w chwili zwarcia i osiąga swą największą wartość. Całkowity prąd wirnika prądnicy będzie równy sumie malejącego prądu przejściowego, wzbudzanego w wirniku, i rosnącego prądu dostarczonego przez wzbudnicę, zaopatrzoną w urządzenie do forsowania wzbudzenia. Do zachowania niezmiennego strumienia magnetycznego podczas trwania zwarcia trzeba, aby sumaryczny prąd wzbudzenia był równy największemu prądowi w chwili zwarcia. Przy zachowaniu tego warunku s. elm. prądnicy i prąd zwarciový w stojanie nie będą zanikać.

W tabl. I podane są wartości współczynnika zwiększenia prądu wzbudzenia  $K_f$ , potrzebnego do utrzymania niezmiennej s. elm.  $E'_d$  przy zwarciu trójfazowym na zaciskach prądnicy, mającej oporność przejściową główną  $X'_d = 0,2$  i napięcie znamionowe  $U_n = 1$ :

$$K_f = \frac{I_{1m}}{I_{1n}} = \frac{U_{1m}}{U_{1n}}$$

gdzie  $I_{1m}$   $U_{1m}$  — największy prąd i największe napięcie wzbudzenia przy forsowaniu,  
 $I_{1n}$   $U_{1n}$  — prąd znamionowy i napięcie znamionowe wzbudzenia,  
 $f_{ko}$  — stosunek prądu zwarciový ustalonego prądnicy przy wzbudzeniu, odpowiadającym znamionowemu napięciu przy biegu jałowym, do prądu znamionowego; dla turbogeneratorów średnie wartości  $f_{ko}$  zwykle są równe: 0,5 dla nowoczesnych konstrukcji, 0,7 dla rozpowszechnionych konstrukcji, 1,0 dla konstrukcji starych.

Tablica I

|   |     |      |     |
|---|-----|------|-----|
| Spółczynnik $f_{ko}$                    | 0,5 | 0,7  | 1,0 |
| Spółczynnik forsowania wzbudzenia $K_f$ | 4,2 | 3,67 | 3,1 |

W rzeczywistości największe prądy wzbudzenia, które mogą dać wzbudnice pracujących turbogeneratorów (BBC, SSW, AEG i inne), są znacznie mniejsze od potrzebnych do utrzymania niezmiennej s. elm.  $E'_d$  przy zwarciu na

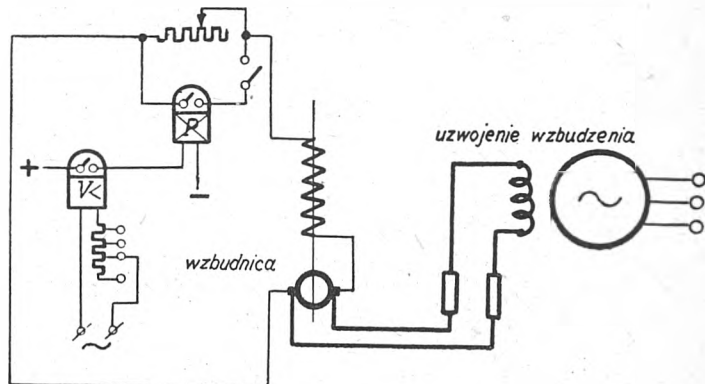
Tablica II

| Spółczynnik forsowania wzbudzenia<br>$K_f = \frac{I_{1m}}{I_{1n}} = \frac{U_{1m}}{U_{1n}}$ | Zewnętrzna oporność indukcyjna przy $f_{ko}$ |      |      |
|--|--|------|------|
|  | 0,5  | 0,7  | 1,0  |
| 1,5  | 1,08   | 0,87 | 0,64 |
| 2,0  | 0,44   | 0,33 | 0,22 |

zaciskach prądnicy. Jednak i w tych warunkach współczynnik  $K_f$  można otrzymać rzędu 1,3—2. Takie niepełne forsowanie wzbudzenia może zapewnić stałą wartość  $E'_d$  tyl-

ko przy zwarcia oddalonych od elektrowni (zwarcia za pewnymi zewnętrznymi opornościami).

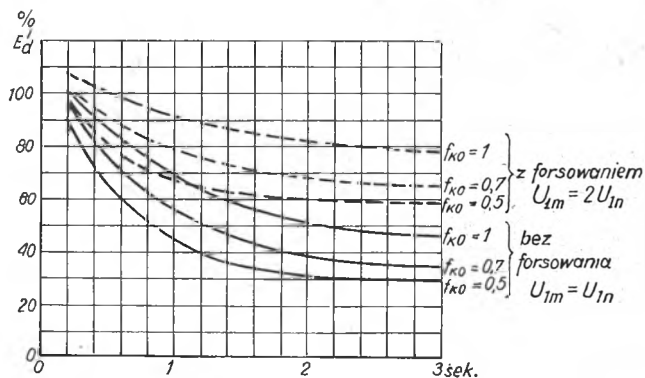
W tabl. II podane są wartości zewnętrznych oporności indukcyjnych trójfazowego zwarcia (podanych w jednostkach względnych), dla których s. elm.  $E'_d$  prądnicy utrzymuje się niezmienna.



Rys 1. Schemat układu do forsowania wzbudzenia

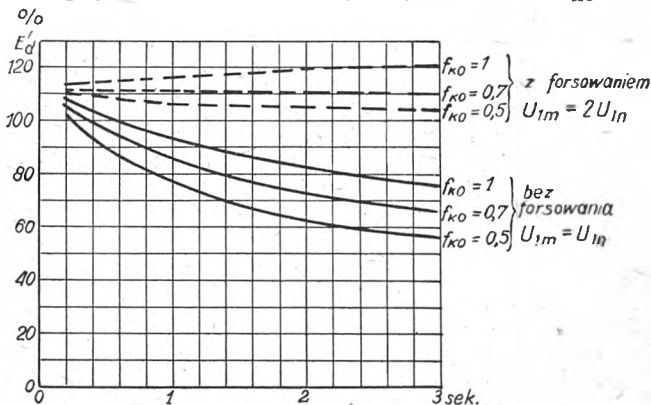
Przy spadku napięcia w sieci poniżej pewnej wartości natychmiast zadziała przekaźnik podnapięciowy V, podając plus prądu stałego na przekaźnik pomocniczy P, który swym stykiem zewnie wszytkie opory w obwodzie wzbudzenia wzbudnicy

Z danych tabl. II widać, że zwiększenie forsowania wzbudzenia z 1,5 do 2 umożliwia utrzymanie stałej  $E'_d$  przy kilkakrotnie mniejszej oporności obwodu.



Rys. 2. Wpływ współczynnika  $f_{ko}$  oraz forsowania wzbudzenia na s. elm.  $E'_d$  przy zwarciu na zaciskach prądnicy

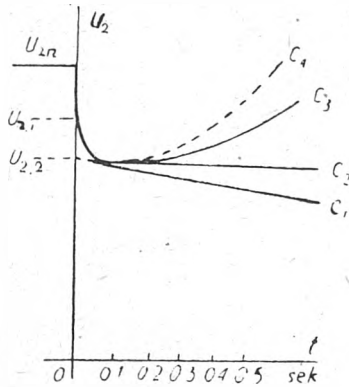
Rys. 2 podaje zmiany  $E'_d$  w zależności od czasu przy zwarciu na zaciskach prądnicy, a rys. 3 przy zwarciu za zewnętrzną opornością indukcyjną równą 0,2 (w jednostkach względnych). Krzywe są wykreślone dla dwóch wartości prądu wzbudzenia i różnych współczynników  $f_{ko}$ .



Rys. 3. Wpływ współczynnika  $f_{ko}$  oraz forsowania wzbudzenia na s. elm.  $E'_d$  przy zwarciu za 20-procentową opornością indukcyjną

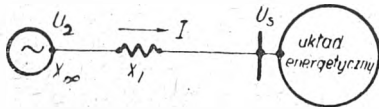
Na rys. 4 podany jest przebieg zmiany napięcia na zaciskach prądnicy po gwałtownym zmniejszeniu oporności zewnętrznej. Wykres przedstawia przebieg zjawiska w ciągu

pierwszych dziesiątych sekundy (ważnych dla utrzymania równowagi pracy równoległej maszyn synchronicznych). Krzywe są wykreślone dla różnych warunków wzbudzenia.



Rys. 4. Zmiana napięcia prądnicy  $U = f(t)$  w zależności od czasu i sposobu wzbudzenia

W chwili zwarcia i gwałtownego wzrostu prądu prądnicy napięcie spada w pierwszym momencie gwałtownie z wartości znamionowej  $U_{2n}$  do  $U_{2.1}$ , po czym w okresie przejściowym już wolniej z wartości  $U_{2.1}$  do  $U_{2.2}$ . Dalszy spadek napięcia przy stałym wzbudzeniu (bez regulatora

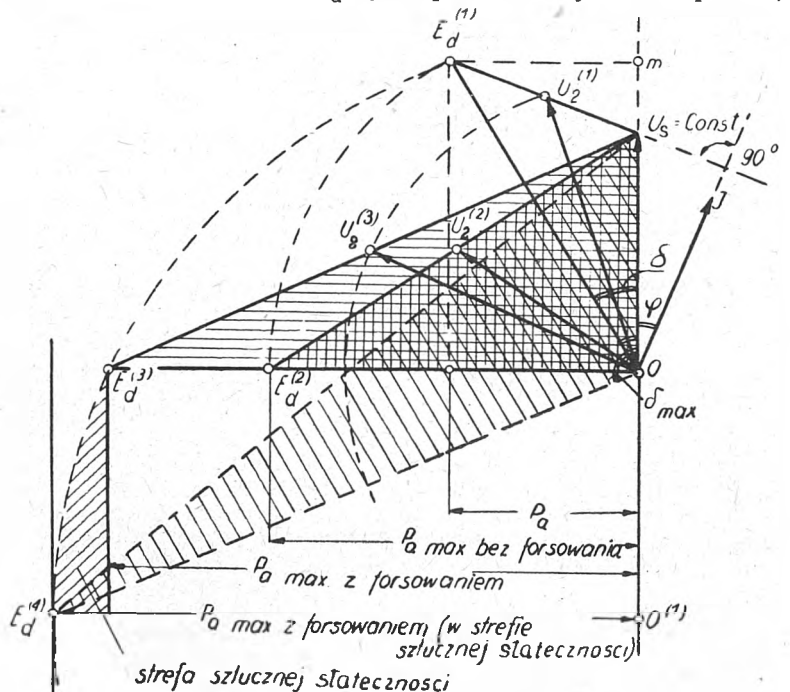


Rys. 5. Schemat najprostszego układu elektroenergetycznego

napięcia) podaje krzywa  $C_1$ . Jeżeli strumień magnetyczny utrzymuje się przy pomocy wzbudzenia złożonego, przebieg napięcia przedstawia krzywa  $C_2$ . Jeżeli strumień magnetyczny powiększa się przy pomocy forsowania

Rys. 6. Wykres przedstawiający wpływ forsowania wzbudzenia prądnicy na wielkość granicznej mocy przesyłowej

- $U_s$  napięcie sieci sztywnej
- $E_d$  s. elm. związana z wzbudzeniem
- $U_2$  napięcie na zaciskach prądnicy
- $X_d$  oporność synchroniczna prądnicy
- $X_1$  oporność indukcyjna linii przesyłowej
- $I$  prąd w linii
- $\delta$  kąt przesunięcia między wektorem  $E_d$  i wektorem napięcia sieci  $U_s$



wzbudzenia (rys. 1), napięcie rośnie według krzywej  $C_3$ . Krzywa  $C_4$  jest krzywą wzrostu napięcia przy nieskończonym wzroście prędkości wzrostu wzbudzenia wzbudnicy (tzw. idealny układ wzbudzający).

Forsowanie wzbudzenia zwiększa pewność pracy równoległej maszyn synchronicznych również przez znaczne powiększenie mocy czynnej, którą może wydać prądnica.

Uproszczony wykres wektorowy na rys. 6 uwidacznia wpływ zwiększenia wzbudzenia na wartość szczytową mocy, którą jest zdolna oddać prądnica synchroniczna współpracująca z siecią sztywną (układ energetyczny nieskończonej mocy według rys. 5).

Rozpatrzmy najpierw zależności w stanie ustalonym przy powolnej zmianie wartości mocy oddawanej.

Prądnica oddaje na sieć moc czynną określoną wzorem

$$P = \frac{E_d \cdot U_s}{X_d + X_1} \cdot \sin \delta = \text{const. } E_d \cdot \sin \delta.$$

Wartość s. elm.  $E_d$  dla danej maszyny zależy w stanie ustalonym wyłącznie od wartości prądu wzbudzenia, więc z tego wzoru wyraźnie widać wpływ prądu wzbudzenia na wartość mocy czynnej, którą może oddać prądnica przy pewnym kącie  $\delta$ .

Należy zwrócić uwagę, że wartość  $E_d \cdot \sin \delta$  jest przedstawiona w pewnej skali rzutem wektora s. elm.  $E_d$  na kierunek prostopadły do kierunku wektora napięcia sieci sztywnej  $U_s$ .

Rozpatrzmy granice zmian długości tego rzutu, pamiętając, że moc przesyłowa  $P$  jest do niej proporcjonalna.

1. Jeżeli nie ma regulacji wzbudzenia prądnicy, wartość s. elm.  $E_d$  pozostaje stała. Wtedy z powiększeniem mocy oddawanej na sieć będzie zmieniał się jedynie kąt  $\delta$  (między  $E_d$  i  $U$ ). Wobec tego koniec wektora  $E_d$  będzie się przesuwal po okręgu koła zatoczonego promieniem  $OE_d^{(1)}$ . Moc przesyłowa osiągnie wartość największą przy  $\delta = 90^\circ$ . Tej największej mocy odpowiada odcinek  $OE_d^{(2)}$ . Napięcie na zaciskach prądnicy  $U_2$  będzie jednak malało ze wzrostem obciążenia i w końcowym wypadku (przy  $\delta = 90^\circ$ ) zmniejszy się do  $U_2^{(2)}$ , którego koniec rozdziela wektor straty napięcia  $E_d^{(2)} U_s$  w stałym stosunku  $\frac{X_d}{X_1}$ .

2. Jeżeli natomiast prądnica posiada urządzenie do samoczynnej regulacji wzbudzenia, które utrzymuje stałą wartość napięcia  $U_2$  na zaciskach prądnicy, wtedy koniec wektora  $U_2$  z powiększaniem obciążenia będzie przesuwal się po okręgu koła. Można udowodnić, że w tym wypadku koniec wektora  $E_d$  będzie przesuwal się również po kole,

lecz środkiem tego koła będzie punkt  $O^{(1)}$  i, jak widać z rys. 6, przy  $\delta = 90^\circ$  moc oddana będzie znacznie większa, jako proporcjonalna do dłuższego odcinka  $OE_d^{(3)}$ . Nie będzie to jednak jeszcze największa moc, jaką może wydać prądnica. Największą moc przedstawioną odcinkiem  $O^{(1)} E_d^{(4)}$  odda prądnica przy  $\delta > 90^\circ$ ; będzie to już praca w strefie tzw. sztucznej równowagi. W praktyce nie uda



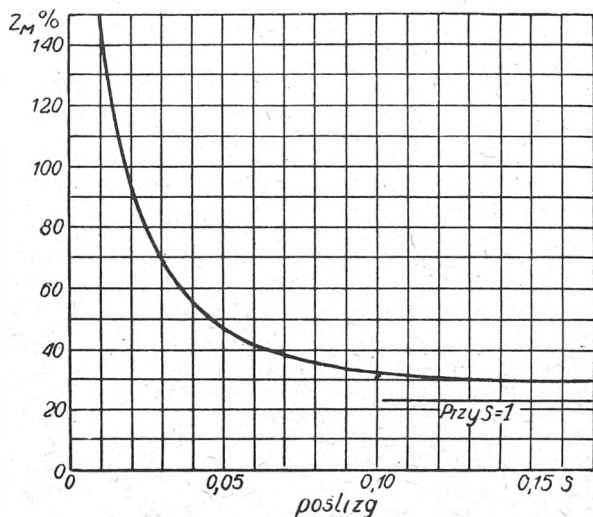
się zwykle osiągnąć największej mocy o wartości wynikającej z przytoczonego wykresu, ponieważ wzbudnica wskutek nasycenia magnetycznego nie wyda odpowiednio dużego napięcia, koniecznego do uzyskania w obwodzie wzbudzenia odpowiednio dużego prądu, tym większego, że wchodzi tu w grę także nasycenie prądnicy. Korzyści będą jednak zupełnie wyraźne.

Przy nagłej zmianie obciążenia (np. przy zwarciu) również uwidoczni się korzystny wpływ powiększenia wzbudzenia na warunki równowagi pracy równoległej przez zwiększenie granicznej mocy przesyłowej i granicznego kąta  $\delta$ , oczywiście, jeżeli regulacja ta będzie dostatecznie szybka.

Przy zastosowaniu powiększenia wzbudzenia z szybkością nieskończenie wielką oporności synchroniczne zamieniają się na oporności przejściowe główne, ponieważ w tym wypadku maszyna pracuje nie przy stałym napięciu wzbudzającym, lecz przy stałym strumieniu magnetycznym; w wyniku tego zwiększa się graniczna moc przesyłowa przy tym samym kącie  $\delta$ . Praktycznie wzbudzenie nieco spóźnia się; dlatego do obliczeń należy przyjmować wartość oporności indukcyjnej między synchroniczną i przejściową główną — tym bliżej tej drugiej, im szybsze będzie przywracanie strumienia. Granica równowagi staje się przez to bliżej nieokreślona, jednak, jak widać z powyższego, zwiększenie wzbudzenia znacznie ją przesuwają w kierunku polepszenia warunków równowagi.

### 3. Wpływ forsowania wzbudzenia na sumaryczną moc silników asynchronicznych, które mogą być utrzymane w ruchu przy przywracaniu napięcia.

Przy znacznym spadku napięcia wskutek zwarcia lub z innej przyczyny przyłączone do sieci silniki asynchroniczne zmniejszają prędkość wirowania. Już stosunkowo nieduże zwiększenie poślizgu powoduje znaczne zmniejszenie



Rys. 7. Zmiana oporności pozornej silnika asynchronicznego w zależności od poślizgu

szere oporności pozornej silników asynchronicznych, przy czym oporność ta staje się praktycznie czysto indukcyjną (rys. 7). Z tego powodu przy przywracaniu napięcia, np. po odłączeniu zwarcia, silniki pobierają znaczne prądy indukcyjne.

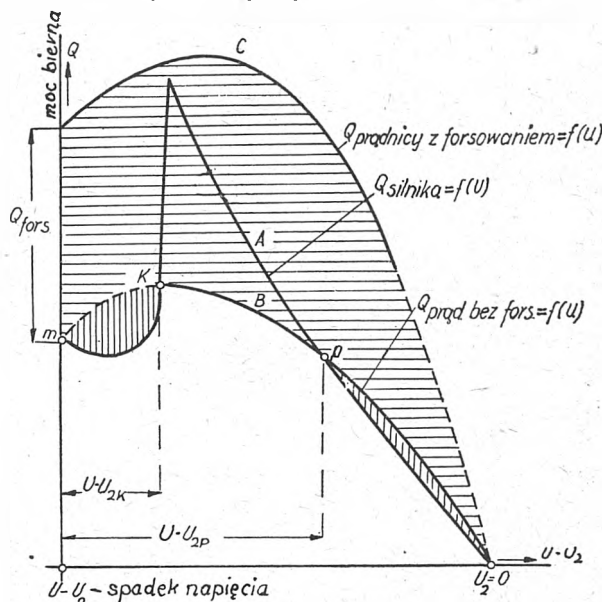
Rys. 8 przedstawia trzy krzywe, obrazujące pracę prądnicy zasilającej silniki asynchroniczne. Krzywa A podaje przebieg zmiany mocy bierniej, pobieranej przez te silniki, w zależności od zmiany napięcia sieci. Krzywa B — moc bierną, którą może oddać prądnica na sieć przy stałym wzbudzeniu. Punktem początkowym wykresu jest stan ustalony, kiedy moc oddawana przez prądnicę jest równa mocy pobieranej przez silniki (punkt  $m$ ), oraz znamionowe napięcie na zaciskach prądnicy.

Przy spadku napięcia początkowo moc bierna (indukcyjna) pobierana nieco maleje wskutek zmniejszania się prądu magnesującego silników. Przy dalszym spadku napięcia, a więc i zwiększającym się poślizgu silników, zwiększa się moc indukcyjna pobierana przez silniki wskutek zmniejszania się ich oporności indukcyjnej, osią-

ga wartość największą przy poślizgu krytycznym, wreszcie maleje, gdyż napięcie zbliża się do zera.

Moc indukcyjna, którą prądnica może oddać przy stałym wzbudzeniu, początkowo nieco rośnie ze zmniejszeniem napięcia do wartości  $U_{2k}$ , gdzie osiąga wartość największą, potem maleje.

Z porównania krzywych A i B łatwo wywnioskować, że przy zmniejszaniu napięcia od  $U_{2m}$  do  $U_{2k}$  prądnica jest zdolna wydać większą moc niż potrzebują silniki

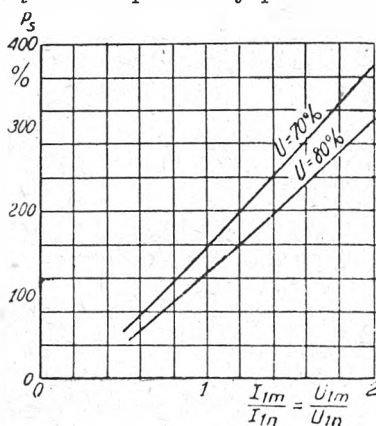


Rys. 8. Zmiana mocy bierniej rozporządzalnej oraz pobieranej przez silniki w zależności od napięcia

i równowaga jest zachowana. Przy dalszym zmniejszaniu napięcia  $U_2 < U_{2k}$ , tj. od granicznego punktu prądnica nie może pokryć zapotrzebowania mocy.

Niedobór mocy szybko wzrasta i układ energetyczny przechodzi w stan odpowiadający punktowi  $p$  wykresu, gdzie znów jest przywrócona równowaga mocy oddanej i pobieranej. Napięcie odpowiadające punktowi  $p$  nie może już osiągnąć wartości większych, a więc układ nie wróci do normalnej pracy, gdyż prądnica nie będzie w stanie pokryć zapotrzebowania mocy indukcyjnej.

Samoczynne zwiększenie wzbudzenia (krzywa C) powiększa moc indukcyjną prądnicy tak, że moc oddawana stanie się większa od pobieranej przez silniki przy do-



Rys. 9. Wpływ forsowania wzbudzenia na moc rozruchową dla dwu wartości napięcia

wolnym spadku napięcia, wobec czego układ energetyczny wróci do normalnej pracy i równowaga zostanie zachowana.

Z powyższych rozważań wynika, że wartość największego napięcia wzbudzającego przy forsowaniu wzbudzenia ma wyjątkowo duże znaczenie dla określenia największej sumarycznej mocy silników asynchronicznych, które mogą pozostać przyłączone w okresie przywracania napięcia po zwarcu w sieci. Na rys. 9 podane są wykresy

zależności mocy rozruchowej  $p_s$  (dla rozruchu silników po całkowitym zatrzymaniu, poślizg 100%) od prądu wzbudzenia dla dwóch wartości napięć, wyrażonych w jednostkach względnych, mianowicie  $U = 0,7$  i  $0,8$ .

Moc rozruchowa w jednostkach względnych przy określonym napięciu jest równa odwrotności oporności indukcyjnej  $X_m$ , czyli przewodności sumarycznej silników przyłączonych do prądnicy, jeżeli  $X_m$  jest wyrażone w jednostkach względnych odniesionych do znamionowej mocy prądnicy:

$$p_s = \frac{1}{X_m}$$

Jeżeli silniki są przyłączone do prądnicy przez transformator lub inny szeregowy opór indukcyjny  $X_T$ , to moc rozruchową określa się ze wzoru

$$p_s = \frac{1}{X_m + X_T}$$

Moc rozruchową silników przyłączonych bezpośrednio do szyn zbiorczych prądnicy można określić także ze wzoru

$$p_s = \frac{P_s}{P_n} = \frac{\sum I_s}{I_n}$$

gdzie  $P_s$  — sumaryczna moc rozruchowa silników,  
 $P_n$  — moc znamionowa prądnicy,  
 $\sum I_s$  — suma prądów rozruchowych silników przy napięciu znamionowym,  
 $I_n$  — znamionowy prąd prądnicy.

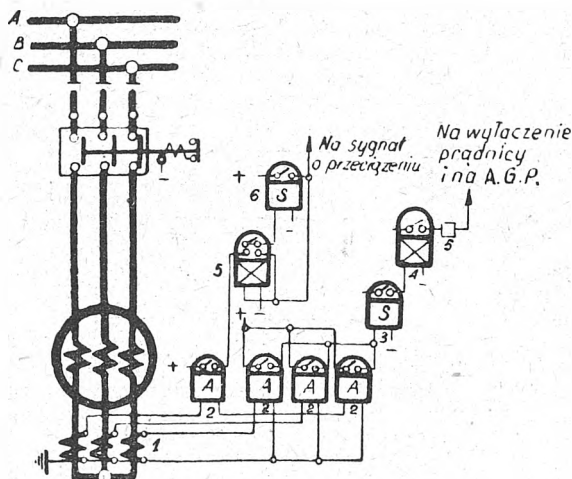
Z wykresu widać, że powiększenie prądu wzbudzenia znacznie zwiększa sumaryczną moc silników, które mogą pozostawać w ruchu przy odbudowie napięcia.

Zwiększenie oddanej do sieci mocy biernej przy forsowaniu wzbudzenia oprócz wymienionych korzyści przyspiesza przywracanie napięcia po ustaniu zwarcia, co skraca czas rozruchu przyłączonych silników.

#### 4. Zabezpieczenia prądnicy i silników.

Forsowanie wzbudzenia maszyn synchronicznych powiększa pewność i dokładność działania zabezpieczeń przekątnikowych oraz ułatwia rozwiązanie zagadnień dotyczących zabezpieczeń przekątnikowych, szczególnie związanych z zabezpieczeniem przetężeniowym prądnicy i zabezpieczeniami silników asynchronicznych.

Zabezpieczenie przetężeniowe prądnicy według rys. 10, stosowane u nas w kraju, z nastawieniem



Rys. 10. Zabezpieczenie przetężeniowe prądnicy stosowane w kraju

prądowym około  $1,3 I_{zn}$  z czasem opóźnienia 5—10 sek., wykazuje zasadnicze wady, mianowicie:

a) przy przeciążeniach prądem większym od prądu rozruchowego przekątnika  $A_1$  zabezpieczenie może wyłączyć prądnicę znacznie wcześniej, niż wymagają tego warunki dopuszczalnego nagrzewania uzwojeń; przeciążenie może być spowodowane prądami rozruchu silników przy krótkotrwałych spadkach napięcia w sieci albo wyłączeniem linii zasilającej w wypadku, gdy linia ta zasilą sieć wspólnie z prądnicami; w układzie zabezpieczeń z rys. 10 prze-

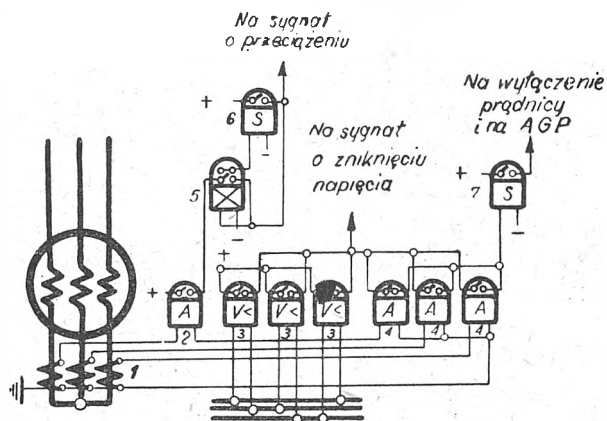
ciążenie jest sygnalizowane przez specjalnie do tego celu zastosowany przekątnik  $A_2$ ;

b) przy pracy prądnicy o małym wzbudzeniu i przy braku regulatora napięcia prąd zwarcia może mało różnić się od prądu znamionowego prądnicy, szczególnie przy zwarciu za transformatorem lub dławikiem, i zabezpieczenie nie zadziała (zabezpieczenie przetężeniowe powinno działać także jako rezerwa zabezpieczenia odejść);

c) jako zabezpieczenie od wielofazowych zwarć w prądnicy nie działa zadawalająco z powodu znacznych czasów opóźnienia, małej czułości i braku wybiórczości przy współpracy elektrowni.

Zgodnie z obecnym poglądem zabezpieczenia przetężeniowego prądnicy nie traktuje się jako właściwego zabezpieczenia prądnicy, lecz traktuje się je jako zabezpieczenie szyn zbiorczych (jeżeli nie ma specjalnego zabezpieczenia szyn zbiorczych) i jako rezerwę w stosunku do innych urządzeń zabezpieczających.

W nowoczesnych istniejących i projektowanych elektrowniach zagranicznych (ZSRR, USA i inn.), gdzie przewiduje się specjalne zabezpieczenie szyn zbiorczych i przyjmuje się, że wyłączniki i zabezpieczenia odpływów



Rys. 11. Zabezpieczenie przetężeniowe prądnicy z blokowaniem przy pomocy przekątników podnapięciowych

Zabezpieczenie przetężeniowe (przekątniki 2, 5 i 6) oraz zabezpieczenie podnapięciowe z blokowaniem prądowym działające przy zwarciach (przekątniki 3, 4 i 7)

działają niezawodnie, wcale nie instaluje się zabezpieczenia przetężeniowego prądnicy, albo też jest ono zasadniczo zmodernizowane.

Rys. 11 podaje takie zmodernizowane zabezpieczenie przetężeniowe prądnicy. Rozwiązanie to, chociaż nie usuwa wszystkich omówionych wad zabezpieczenia przetężeniowego, jednak znacznie polepsza jego pracę.

Jak widać ze schematu, prądnica będzie wyłączona wtedy, gdy jednocześnie zadziała przekątnik przetężeniowy  $A_4$  i podnapięciowy  $V_3$ . Oba przekątniki,  $A_4$  i  $V_3$  połączone szeregowo, dadzą plus na przekątnik czasowy, który spowoduje wyłączenie prądnicy i zanikanie pola wzbudzenia.

Przed wszystkim zabezpieczenie to nie wyłączy prądnicy w wypadku przeciążenia przy przywracaniu napięcia po wybiórczym ustaniu zwarcia lub w wypadku przeciążenia spowodowanego innymi przyczynami, jeżeli spadek napięcia nie będzie przy tym duży. W tych przypadkach zabezpieczenie nie wyłączając prądnicy daje możliwość opanowania sytuacji. Potrzebne jest do tego właściwe nastawienie przekątników w każdym konkretnym przypadku, szczególnie jeśli chodzi o przekątniki podnapięciowe.

Omawiane zabezpieczenie, którego właściwą nazwą byłoby zabezpieczenie napięciowo-prądowe, stosuje się w ZSRR i USA. W ZSRR jest ono obowiązującym zabezpieczeniem prądnicy o napięciu powyżej 2 kV i mocy powyżej 1 MVA.

Trzeba zaznaczyć, że zarówno ten układ zabezpieczeń, jak w ogóle samo zagadnienie zabezpieczenia jest dziedziną stosunkowo nową, ciągle rozwijającą się i wymagającą dalszego opracowania. Można jednak stwierdzić, że proste zabezpieczenie przetężeniowe prądnicy według schematu z rys. 10, a zwłaszcza ze stosowanym stosunkowo niskim

nastawieniem czasu, jest przestarzała i niezbędna modernizacja jest u nas w kraju pilna.

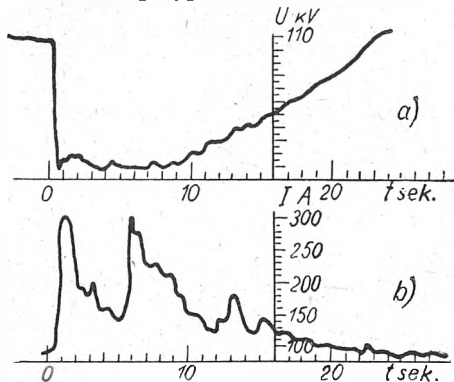
Z omawianym w niniejszym referacie zagadnieniem utrzymania ciągłości ruchu odbiorów przy zakłóceniach sieciowych wiąże się sprawa zabezpieczeń silników asynchronicznych zarówno u odbiorców, jak silników dla potrzeb własnych elektrowni. Zabezpieczenia te powodują często niepotrzebne wyłączenia. Szczególnie zabezpieczenia termiczne i podnapięciowe pozostawiają wiele do życzenia.

Charakterystyki i nastawienia termicznych przekładników zabezpieczających silniki asynchroniczne (z wyjątkiem nielicznych typów) nie odpowiadają krzywom dopuszczalnego nagrzewania silników; wiąże się to między innymi ze stałymi czasami nagrzewania silników i elementów termicznych przekładników. Czasy odłączania tych przekładników  $t_{prz}$  w stosunku do czasów dopuszczalnego nagrzewania silników  $t_{dop}$  są u większości typów przekładników za małe, szczególnie jeśli chodzi o prądy wielokrotne (istniejące przy samorozruchu silników podczas przywracania napięcia). Spółczynnik termicznej rezerwy tych przekładników jest równy

$$\frac{t_{dop}}{t_{prz}} = 5 - 8,$$

co może spowodować niepotrzebne wyłączenie silników we wspomnianych wyżej przypadkach.

Stosowanie urządzeń do forsowania wzbudzenia prądnic stwarza w wielu przypadkach możliwość całkowitego po-



Rys. 12. Naruszenie równowagi pracy równoległej przy zwarciu w sieci 110-kilowoltowej przed wprowadzeniem samoczynnego regulowania wzbudzenia

minięcia lub też odpowiedniej zmiany nastawienia zabezpieczeń podnapięciowych ważniejszych silników asynchronicznych zdolnych do samorozruchu.

### 5. Praktyka eksploatacyjna.

Podamy kilka przykładów pracy układów energetycznych ZSRR przed zastosowaniem i po zastosowaniu wspomnianych wyżej środków (forsowanie wzbudzenia, modernizacja zabezpieczeń przekładnikowych i inn.).

a) Na jednej z linii 110-kilowoltowych nastąpiło zwarcie odłączone po 0,7 sek. W wyniku zakłócenia układ ener-

Tablica III

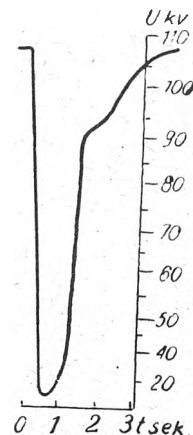
|  | Na I. I. 1943 | Na I. I. 1944 | Na I. I. 1945 | Na I. I. 1946 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Liczba zespołów do forsowania wzbudzenia   | 46            | 77            | 88            | 91            |
| Moc prądnic posiadających układy do forsowania wzbudzenia w procentach sumarycznej mocy zainstalowanej | 45%           | 88%           | 97%           | 98%           |

getyczny rozpadł się na kilka niesynchronicznie pracujących części (rys. 12).

Przebieg analogicznego zakłócenia po wprowadzeniu forsowania wzbudzenia podaje rys. 13. Z porównania obu

przebiegów widać, że znacznie zmniejszył się czas przywracania napięcia po wprowadzeniu forsowania wzbudzenia.

b) W tabl. III podane są liczby urządzeń forsowania wzbudzenia zainstalowanych w zjednoczeniu energetycznym „Gławurałenergo“ w latach 1943—1946. Poza tym



Rys. 13. Przebieg zakłócenia w sieci 100-kilowoltowej po wprowadzeniu samoczynnego regulowania i forsowania wzbudzenia

z ogólnej liczby prądnic i kompensatorów synchronicznych ważniejszych zjednoczeń energetycznych Ministerstwa Elektrowni ZSRR 88% zaopatrzone w rozmaite urządzenia samoczynnego forsowania wzbudzenia. Osiągnięto to przez zainstalowanie 19 urządzeń złożonego wzbudzenia, 301 samoczynnych regulatorów napięcia zapewniających forsowanie wzbudzenia oraz 129 specjalnych urządzeń forsowania wzbudzenia („Elektriczestwo“, 1946, nr 6).

c) Praktyka eksploatacyjna potwierdziła słuszność zastosowania wymienionych urządzeń dla osiągnięcia zachowania równowagi pracy równoległej i pewności zasilania odbiorców. Np. w zjednoczeniu energetycznym „Gławurałenergo“ w roku 1942 były 33 przypadki przewlekłych kołysań; po stopniowym wprowadzeniu urządzeń forsowania wzbudzenia było w latach 1943 i 1944 po dwa przypadki, a w 1945 r. nie było ani jednego.

Podobnie w zjednoczeniu energetycznym „Kirowenergo“ w 1943 r. było 45 przypadków pełnego rozpadu równowagi układu energetycznego; po stopniowym wprowadzeniu urządzeń do forsowania wzbudzenia było w 1944 r. 9 przypadków, a w 1945 r. tylko 3 przypadki.

d) Po zastosowaniu w r. 1945 forsowania wzbudzenia i po zmodernizowaniu przekładników w jednej z fabryk mechanicznych zasilanych z sieci „Gorenergo“ w r. 1945 nie było przypadków wyłączenia silników przy spadkach napięcia w sieci, chociaż przed tym w roku 1942 było siedem przypadków wyłączenia silników z ogólnym zrzutem obciążenia 95 500 kW, a w r. 1943 sześć takich wyłączeń ze zrzutem 145 000 kW.

Podobnie w Kuźnieckich Zakładach Metalurgicznych po r. 1942 nie było przypadków odłączenia silników przy spadkach napięcia, gdy poprzednio (do roku 1942) było 107 wyłączeń.

Można by przytoczyć jeszcze szereg dalszych przykładów, lecz wymienione wyżej dostatecznie jasno świadczą o dużym znaczeniu zastosowania forsowania wzbudzenia maszyn synchronicznych i modernizacji zabezpieczeń przekładnikowych.

### 6. Wnioski.

Aby forsowanie wzbudzenia maszyn synchronicznych mogło spełnić swoje zadanie, wszystkie większe maszyny synchroniczne powinny być zaopatrzone w urządzenia do forsowania wzbudzenia oraz powinny być spełnione następujące warunki:

1. Szczytowe wzbudzenie (pułap napięcia wzbudzającego) nie mniej niż 1,5—2.

2. Stromość napięcia wzbudzającego nie niżej 2 (np. 400 V/sek. przy 200 V napięcia znamionowego).

3. Czas opóźnienia działania urządzenia do forsowania wzbudzenia nie dłuższy niż kilka okresów.



4. Możliwość zastosowania forsowania wzbudzenia oraz wybór napięcia, przy którym to urządzenie powinno działać, wielkość i czas trwania szczytowego wzbudzenia muszą być rozważone i obliczone osobno dla każdego poszczególnego przypadku. (Wiadomo na przykład, że prądnice o wirniku obandażowanym drutem nie dopuszczają nawet krótkotrwałych przeciążeń wirnika prądem większym niż 5—10% prądu znamionowego; szczególnie niebezpieczne są zwarcia niesymetryczne, kiedy w wirniku wzbudzane są prądy o częstotliwości odpowiadającej  $2\omega$ , powodujące dodatkowe przegrzania).

5. Istniejące obecnie w kraju zabezpieczenia przekąźnikowe prądnic i silników (przede wszystkim zabezpieczenia przetężeniowe) nie odpowiadają podstawowym wymaga-

niom (wyłączanie od przeciążenia przy przywracaniu napięcia i inn.) i powinny być zmodernizowane.

## LITERATURA

1. Syromiatnikow I. A. Referat 336 na CIGRE 1948 r.
2. Syromiatnikow I. A. „Elektricitestwo“, 1946, nr 6
3. Langlois-Berthelot M. R. Bulletin de la Société Française des Electriciens, 1946, nr 57
4. Rukowodiaszczyje ukazanja po relejnoj zaszczytie. Ministerstwo Elektrostancij SSSR, 1948 r.
5. Relejnaja zaszczyta i sjstiemnaja awtomatika. Moseniergo, 1946 r.
6. Postler L. Samocinne pristoje pro generatory
7. Kaufmann M. The Protective Gear Handbook (1946). Protection of Generators

NŻ. KAZIMIERZ KOLBIŃSKI

## Niektóre zagadnienia eksploatacyjne w sieciach kablowych (CIGRE, 1948)

Treść. Antykorozyjna ochrona katodowa urządzeń metalowych w ziemi w połączeniu z zastosowaniem dodatkowej odzieży np. juty asfaltowej. Systematyczne sprawdzanie kabli energetycznych w ruchu i ustalanie miejsc uszkodzenia kabli.

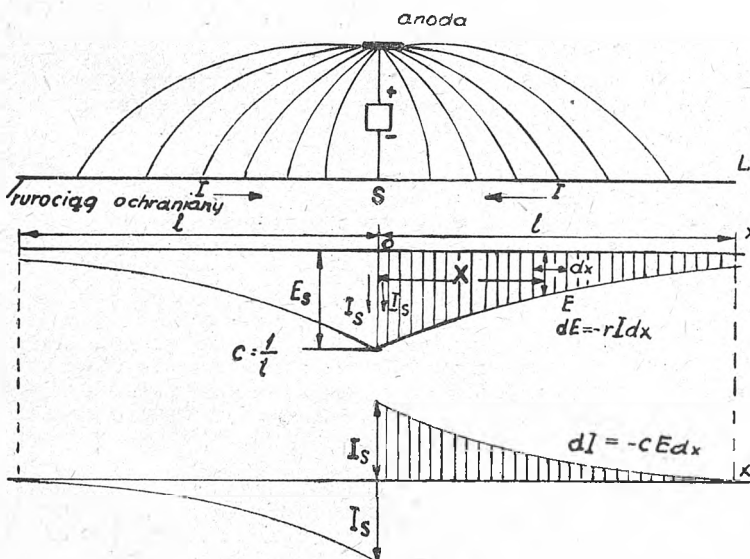
Некоторые вопросы по эксплуатации кабельных сетей. Катодная защита подземных металлических устройств от раз'едания и одновременно применение добавочной оболочки, напр. асфальтированного джута. Систематический контроль энергетических кабелей во время работы и отыскание мест их повреждения.

Certain operating problems in cable systems (C. I. G. R. E. 1948). Anti-corrosion cathode protection of underground metal equipment, coupled with the application of a supplementary insulation covering e. g. bitumen-impregnated jute. Systematic inspection of power cables during operation and detection of defective points in cables.

### 1. Ochrona antykorozyjna urządzeń metalowych w ziemi [1], [2].

Ochronne owijania urządzeń metalowych różnego rodzaju materiałami, np. jutą asfaltowaną w przypadku kabli

ży włóknistej, bardzo duża podczas układania, maleje tym szybciej im aktywniejsza jest ziemia otaczająca i większe oddziaływania elektryczne. Jeżeli od pierwszej chwili zastosować ochronę katodową, proces powyższy nie występuje

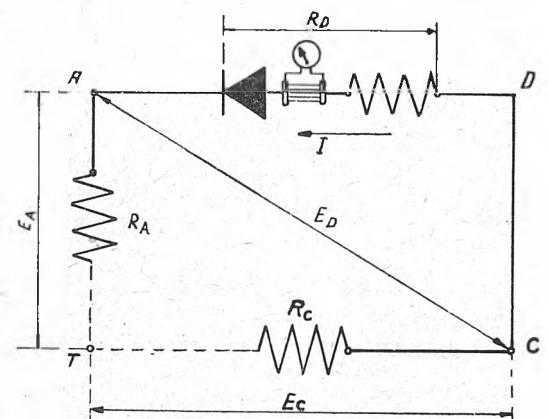


Rys. 1. Teoretyczny rozkład potencjałów i prądów

elektrycznych, jest skuteczne, jeżeli mamy do czynienia z korozją chemiczną; zawodzi natomiast, jeżeli występuje korozja elektrolityczna i prądy błądzące. Drobne nawet nieszczelności w odzieży antykorozyjnej powodują w miejscach nieosłoniętych duże zagęszczenie prądów i tym większą korozję.

Elektrolityczny charakter korozji urządzeń metalowych ułożonych w ziemi jest w dużym stopniu ustalony. Ciężkie metale w zetknięciu z rozcieńczonym elektrolitem są całkowicie obojętne na korozję, jeżeli mają potencjał ujemny i dostatecznej wielkości, przy czym jest obojętne jaka jest kwasowość ziemi. Wielkość ujemnych potencjałów, od których zaczyna się korozja, wynoszą: dla rurciągów stalowych minus 0,85 V i dla płaszczy ołowianych kabli minus 0,55 V.

Liczne doświadczenia z ochroną katodową wykazały, że bardzo korzystne jest dodatkowe stosowanie odzieży np. juty asfaltowanej. Okazuje się przy tym, że skuteczność odzie-



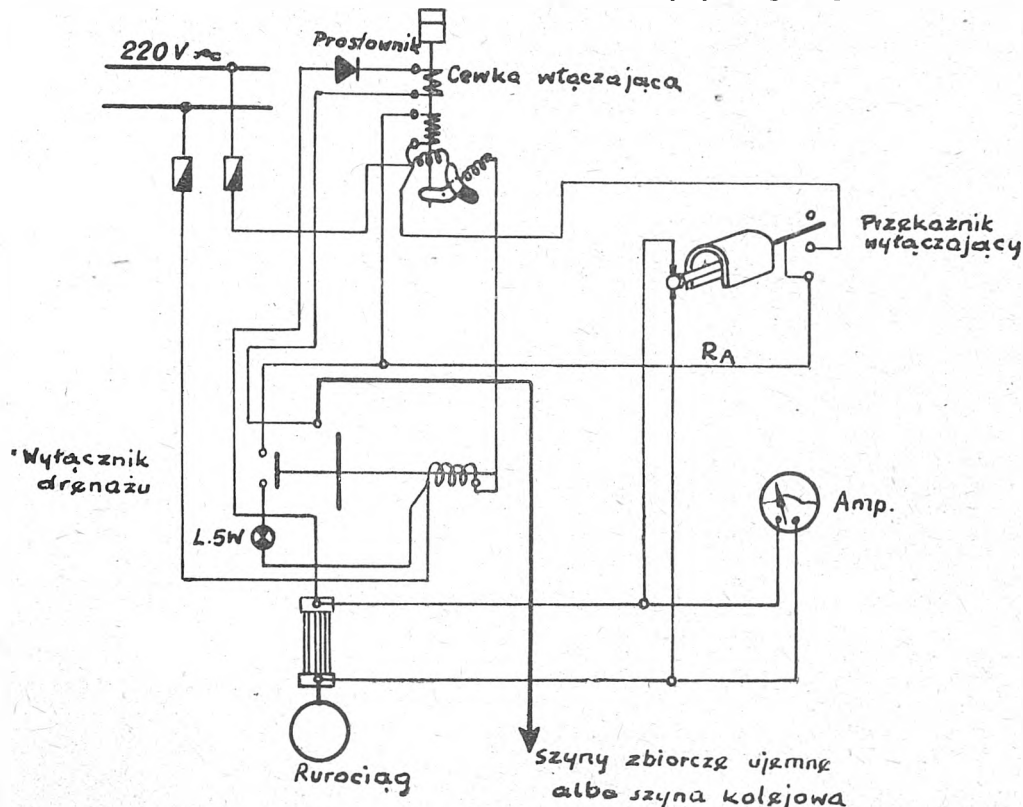
Rys. 2. Obwód równoważny drenażu spolaryzowanego

i oporność względem ziemi ustala się na wysokości 5 do 10 razy większej niż bez ochrony katodowej.

Technika ochrony katodowej ma na celu stworzenie z urządzenia, które ma być zabezpieczane, katody o poten-

ejale utrzymywany na poziomie niższym od pewnej wartości ustalonej. Obwód elektryczny służący do powyższego celu musi się składać z anody, źródła prądu, połączeń po-

dzięki odzieży np. z juty asfaltowanej, jak to bywa w przypadku kabli, to rozkład napięć i prądów obliczony mało się różni od otrzymywanego w praktyce.



Rys. 3. Schemat urządzenia stykowo-przełącznikowego

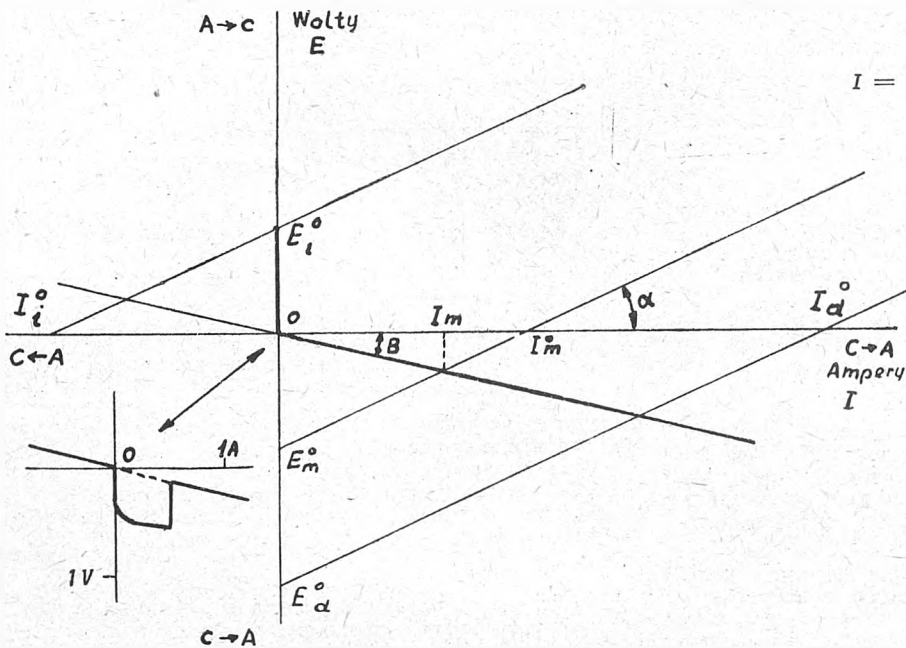
szczególnych elementów i wreszcie aparatury pomocniczej, która pozwoli na regulowanie urządzenia.

Jeżeli anoda jest dostatecznie oddalona od urządzenia ochranianego (rurociągu), to oporność ziemi może być pominięta przy matematycznym rozwiązywaniu zagadnienia.

Dla rurociągu długości  $2l$  mamy zależności:

$$E = \frac{E_s \cosh \sqrt{\frac{r}{t}} (l-r)}{\cosh \sqrt{\frac{r}{t}} l};$$

$$I = \frac{I_s \sinh \sqrt{\frac{r}{t}} (l-r)}{\sinh \sqrt{\frac{r}{t}} l}$$



Rys. 4. Charakterystyka dla urządzenia stykowo-przełącznikowego

Na rys. 1 pokazany jest schemat zabezpieczenia katodowego i teoretyczny rozkład napięć i prądów.

Parametrami, które warunkują rozkład pola, są: podłużna oporność  $r$  rurociągu w omach na metr bieżący, oporność względem ziemi  $t$  rurociągu również w omach na metr bieżący. Jeżeli  $C = l/t$  ma wartość najmniejszą

Rzeczywista oporność rurociągu  $R_c$  równoznaczna ze sto-

sunkiem  $\frac{E_s}{I_s}$  będzie  $R_c = \frac{\sqrt{\frac{r}{t}}}{\operatorname{tgh} \sqrt{\frac{r}{t}} l}$  i potencjał o-

$$\text{chronny graniczny } E_L = \frac{E_s}{\cosh \sqrt{\frac{r}{t}} l}$$

Łatwo więc określić bądź prąd ssący, jeżeli mamy długość ochraniają, bądź — odwrotnie — długość rurociągu, którą można zabezpieczyć daną wielkością prądu.

Z analizy równań wypływa również wielkie znaczenie oporności odzieży. Gdy mamy otrzymać określony potencjał na katodzie, np. minus 0,3 V na końcu odcinka kanalizacji rurowej, będziemy mieli tym mniejszy prąd ochronny, a odcinek ochraniający może być tym dłuższy, im mniejsza będzie oporność podłużna rurociągu i większa oporność jego odzieży.

Kable elektryczne o jednolitym płaszczu ołowianym i dobrze wykonanej odzieży z juty asfaltowanej odpowiadają w dużym stopniu powyższemu warunkom.

Podstawowymi warunkami dobrej pracy zabezpieczenia katodowego są:

- 1) elektryczna ciągłość zabezpieczanej kanalizacji rurowej lub płaszczu kabla elektrycznego;
- 2) mała oporność uziemienia obwodu anodowego, umożliwiająca swobodny spływ prądu, ale bez zbyt wielkiego niszczenia metalu anody;
- 3) możliwość samoczynnego przystosowywania się zewnętrznego obwodu elektrycznego do wszelkich zmian warunków pracy;
- 4) zapewnienie przez źródło prądu w każdej chwili we wszystkich punktach kanalizacji odpowiedniej wielkości potencjału ochronnego.

Urządzenia zabezpieczeń katodowych można podzielić na 4 zasadnicze grupy:

- 1) jako obwód anodowy użyte są szyny kolei elektrycznej posiadające wystarczający potencjał — drenaż spolaryzowany;
- 2) szyny mają potencjał nieodpowiedni, wobec czego trzeba zastosować dodatkowe źródło napięcia (ssanie prądu);
- 3) nie możemy użyć szyn jako anody i musimy zastosować zabezpieczenie klasyczne ze specjalnym źródłem napięcia;
- 4) stosujemy reakcyjne anody cynkowe lub magnezowe przy nieobecności prądów błądzących.

**Drenaż spolaryzowany.**

Schemat pokazany na rys. 2 zawiera dwa obwody: ATC wewnętrzny i ADC zewnętrzny. Punkt A jest to punkt styku do szyn użytych jako anody. Część elektrolityczna obwodu — ziemia — oznaczona jest linią przerywaną. Punkt T jest punktem ziemi znajdującym się poza oddziaływaniem bezpośrednim anody lub katody.  $R_A$  i  $R_C$  są to oporności zastępcze obwodu katodowego i anodowego,  $E_A$  i  $E_C$  — wartości i chwilowe potencjałów katody i anody względem punktu T.  $R_D$  oznacza oporność zastępczą obejmującą całą aparaturę w obwodzie zewnętrznym. Jeżeli  $E_0$  jest różnicą potencjałów między kanalizacją zabezpieczaną i szynami bez włączonego drenażu, to można napisać

$$E = E_0 - (R_A + R_C) I.$$

Ta zależność w układzie wolty/ampery przedstawia się w postaci rodziny prostych pod kątem ujemnym

$$\text{tg } \alpha = R_A + R_C.$$

Wartość różnicy potencjału  $E_0$  otrzymuje się z pomiarów między punktami A i C przy otwartym obwodzie. Badanie drenażu przy pomocy jednoczesnych pomiarów potencjału w różnych punktach ochraniającej kanalizacji w stosunku do elektrody z siarczany miedzi pozwala na określenie wartości największej dla obwodu zewnętrznego ADC.

Należy zwrócić uwagę na to, że np. w nocy, kiedy nie ma ruchu kolejowego, występuje różnica potencjałów o kierunku odwrotnym. Jest ona pochodzenia elektrochemicznego i znosi w ciągu kilku godzin efekt ochronny urządzenia. Z powyższego względu obwód zabezpieczający musi być wyłączany z zatrzymaniem ruchu podstacji kolejowej.

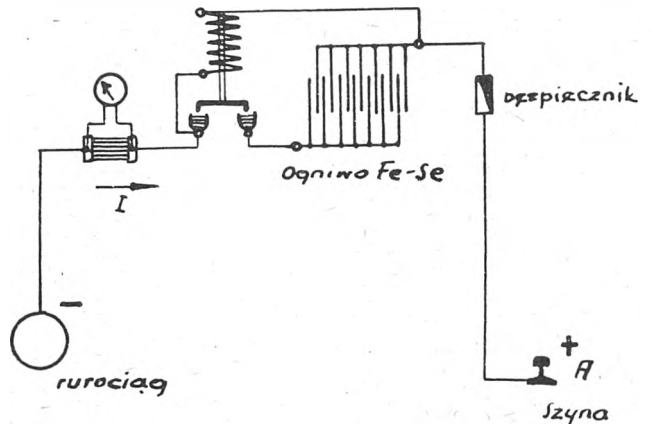
Na rys. 3 pokazano typ urządzenia stykowo-przekaznikowego, dającego charakterystykę jak na rys. 4; na rys. 5 mamy urządzenie zaworowo-przekaznikowe z charakterystyką jak na rys. 6.

**Ssanie prądu.**

Na rys. 7 widzimy urządzenie z zasilaniem dodatkowym przez układ mostkowy prostowników Fe — Se we wtórnym obwodzie transformatora z włączoną w szereg cewką regulacyjną. Urządzenie daje charakterystykę pokazaną na rys. 8. Jako źródła stosuje się również prądnice i akumulatory. W Stanach Zjednoczonych do zabezpieczania długich rurociągów naftowych używa się małych prądnic napędzanych przez turbinki powietrzne.

**Klasyczne zabezpieczenie katodowe.**

Anoda w tym układzie jest wykonana jako dobre uziemienie i musi być dostatecznie oddalona od instalacji, któ-

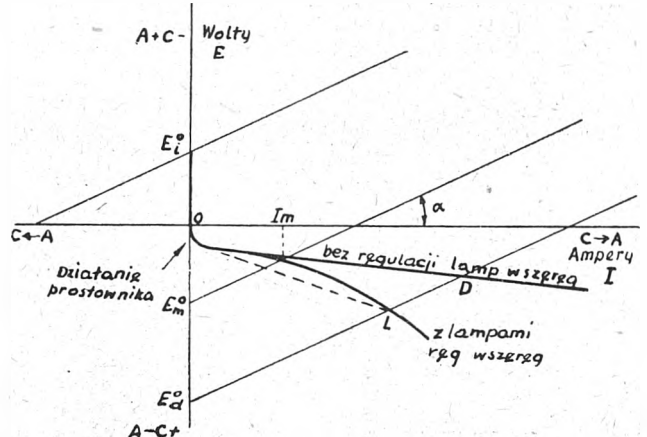


Rys. 5. Schemat urządzenia zaworowo-przekaznikowego

ma ochraniać, a również od jakichkolwiek urządzeń metalowych. Anoda jest poddana ciągłemu szkodliwemu działaniu elektrolizy (1 g metalu na 1 Ah). Najczęściej stosowane są anody z rur stalowych.

**Anody reakcyjne.**

Jest to zasilanie układu zabezpieczającego przez źródło anoda — katoda. Konieczne jest wówczas dobranie jako anody metalu o właściwościach wybitnie elektroujemnych i tworzącego ogniwo o jak najwyższej wydajności. Warun-



Rys. 6. Charakterystyka dla urządzenia zaworowo-przekaznikowego

kom tym, jak pokazały doświadczenia, odpowiadają najlepiej cynk i magnez. Ziemia otaczająca ogniwo musi być nasycona w odpowiedni sposób.

Tego rodzaju ogniwo elektrochemiczne nie jest dostatecznie silne, aby mogło pracować w obecności prądów błądzących i daje dobre wyniki w wypadkach korozji pochodzących od gleby.

Istnieją poglądy, że zabezpieczanie katodowe pewnych urządzeń podziemnych może działać szkodliwie na inne urządzenia metalowe znajdujące się w sąsiedztwie. Wieloletnie doświadczenie nie potwierdziło tych obaw, a często okazywało się, że zabezpieczenia katodowe pewnych urządzeń często miały na urządzenia sąsiednie raczej wpływ dodatni. Tylko w nielicznych wypadkach konieczne było stosowanie połączeń równowagi celem rozszerzenia działania zabezpieczenia katodowego.



W związku z rozbudową sieci wysokich napięć na prąd stały, gdzie w niektórych projektach przewiduje się powrót prądu całkowicie lub częściowo przez ziemię, ostatnie opinie (CMI CCIF) są raczej za unikaniem tej metody

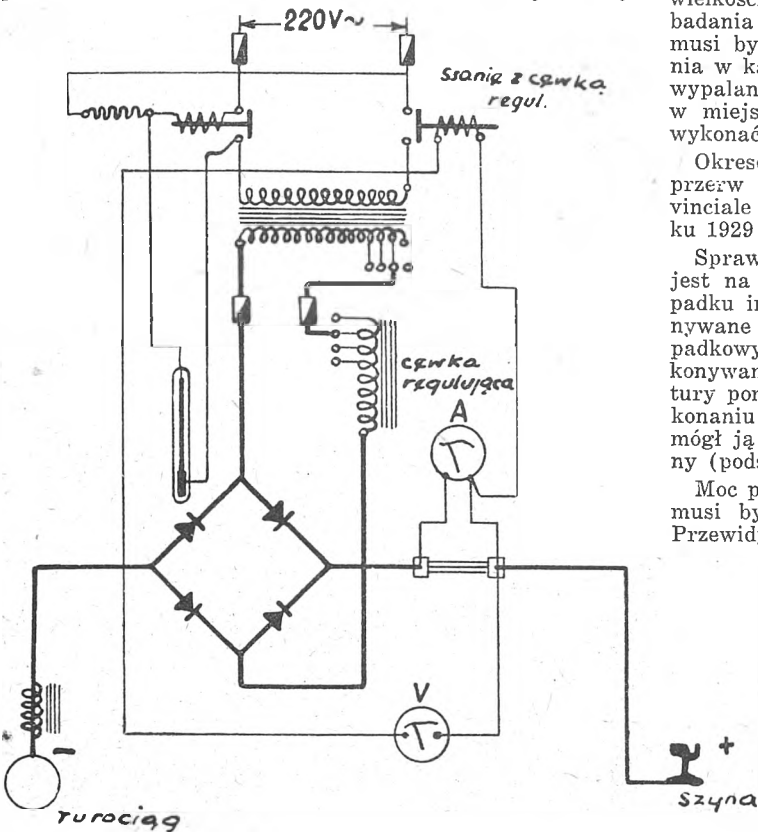
jako środek ochrony przeciw przerwom w ruchu sieci, spowodowanym uszkodzeniami kabli.

Doprowadzane napięcie nie powinno przekraczać takiej wielkości, jaka może według przepisów być stosowana do badania nowego kabla. Z drugiej strony wartość napięcia musi być tak wysoka, aby można było wykryć uszkodzenia w kablu i ustalić ich miejsce. Kabel nie powinien być wypalany przy próbie; jedynie wielkość prądu upływu w miejscu uszkodzenia musi być taka, aby można było wykonać skuteczny pomiar miejsca tego uszkodzenia.

Okresowe pomiary na kablach pozwoliły na zmniejszenie przerw w pracy sieci kablowych 10-kilowoltowych „Provinciale Electriciteitsbedrijf van Noordholland” z 3,6 w roku 1929 na 1,3 rocznie na 100 km w roku 1946.

Sprawa kontroli sieci kablowych i pomiarów na kablach jest na ogół stawiana na niższym poziomie niż w przypadku innych elementów sieci. Przeważnie pomiary wykonywane są dorywczo przez personel laboratoriów i przypadkowym sprzętem. Aby kontrola kabli mogła być wykonywana systematycznie i celowo, należy używać aparatury pomiarowej zbudowanej specjalnie — w mocnym wykonaniu i łatwej w obsłudze. Dążyć należy do tego, aby mógł ją obsługiwać nawet personel mniej wykwalifikowany (podstacje itp.).

Moc potrzebna do ustalenia miejsca uszkodzenia w kablu musi być zasadniczo rzędu kilkudziesięciu miliamperów. Przewidywać trzeba jednak krótkotrwałe obciążenia do 100

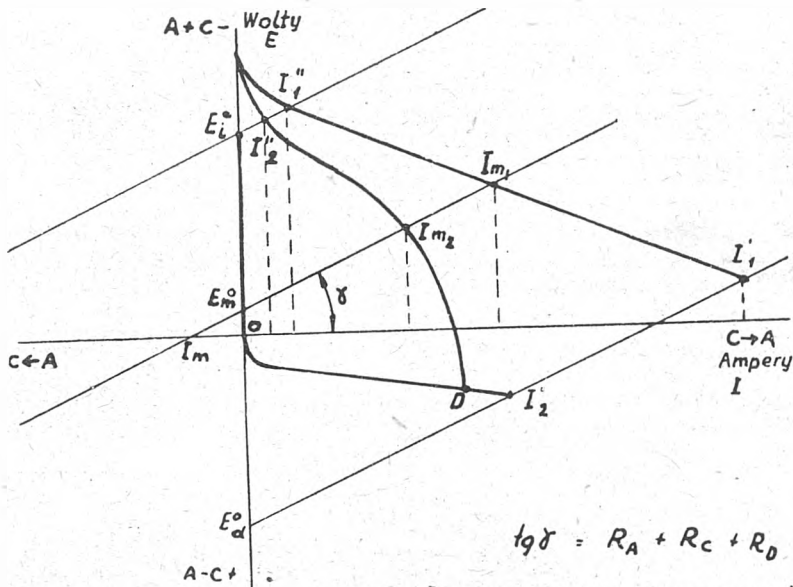


Rys. 7. Schemat urządzenia ssania z cewką regulacyjną

ze względu na możliwość powstawania korozji urządzeń znajdujących się w sferze działania tych prądów. Ogólnie twierdzi się również, że prądy błądzące, których często-

ść ma przy niewielkim spadku napięcia. Aparatura wykonana do badania kabli prądem stałym w Holandii (również w fabryce Philipsa) składa się ze skrzyni wypełnionej ole-

Rys. 8. Charakterystyka urządzenia ssania z cewką regulacyjną



$$\operatorname{tg} \delta = R_A + R_C + R_D$$

Praca z cewką samoregulującą  $I_2 \Delta I_2'$

... brz cewki ...  $I_1'' \ I_1'$   
 ... brz zasilania ...  $E_i^0 \ 0 \ I_2'$

liwość przekracza 5 okresów na sek., powodują korozję tylko w szczególnych wypadkach.

Aktualne stało się ostatnio zagadnienie zabezpieczenia kabli podziemnych przeciw oddziaływaniu szkodliwemu uderzeń piorunów. Brak jednak dotychczas większego materiału doświadczalnego.

2. Okresowe badania sprawdzające i oznaczanie miejsca uszkodzenia w kablach energetycznych [3].

Badanie kabli energetycznych przy pomocy wysokiego napięcia prądu stałego wchodzi coraz bardziej w użycie,

jem i zawierającej: transformator wysokiego napięcia, prostownik lampowy (kenotron), transformator żarzenia, opór szeregowy do bezpośrednich pomiarów wysokim napięciem, opór do rozładowywania mocy do 15 kW/sek. (25 km kabla ładowanego przy 50 kV). Urządzenie jest wyposażone również w zabezpieczenie napięciowe uziemające kabel w przypadku, jeżeli napięcie przekroczy z góry określoną granicę, i przy odłączeniu kabla po próbie. Możliwe

jest jednoczesne mierzenie upływności do 100 megomów przy napięciu 50 kV. Ciężar urządzenia wynosi 160 kg ( $72 \times 36 \times 65$  cm).

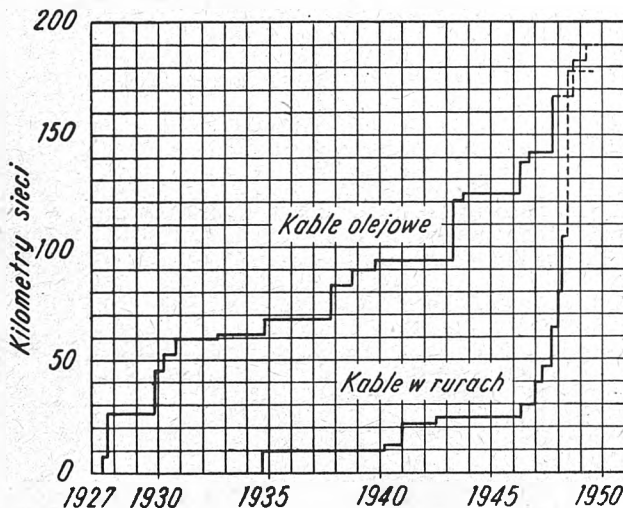
Mostek do wyznaczania miejsca uszkodzenia w kablu przy pomocy wysokiego napięcia ma całą część pomiarową łącznie z galvanometrem izolowaną i umieszczoną w ziemionej osłonie. Przyłączenie mostka do źródła prądu i kabla odbywa się przy pomocy przewodu w izolacji gumowej, osłoniętego płaszczem uziemionym.

Błąd teoretyczny popełniany przy pomiarze mostkiem może być określany przez wielkość metry miliampery na działkę. Pochodzi to stąd, że im wielkość prądu, przepływającego przez miejsce uszkodzenia w kablu, mierzona w mA jest większa, tym mniejszy jest błąd pomiaru miejsca uszkodzenia mierzonego w metrach długości kabla.

Budowa mostka jest również mocna i szczelna jak transformatora. Może ona poza tym znieść bez uszkodzenia prądy płynące w wypadku pełnego elektrycznego przebiecia kabla. Stosując opór porównawczy można przy pomocy opisanego mostka mierzyć dokładnie oporności żyły kabla, co przeważnie jest konieczne przy oznaczaniu miejsca uszkodzenia kabla.

### 3. Kable wysokonapięciowe w Stanach Zjednoczonych Ameryki [4].

Długość linii kablowych pracujących na napięciu powyżej 100 kV wynosi w Stanach Zjednoczonych Ameryki ok. 400 km. Pierwsze linie kablowe wysokiego napięcia zostały wybudowane z kabli olejowych niskiego ciśnienia typu Pirelli w roku 1927 w Chicago i Nowym Jorku. Typ ten, przeważnie 1-żyłowy, rozpowszechnił się również jako rzeczny i był jedynym do chwili, kiedy ukazał się w roku



Rys. 9. Ilości kabli wysokiego napięcia układanych w Stanach Zjednoczonych Ameryki od roku 1927

1934 typ kabli w rurach „oilostatic“, który został już opisany wyżej. Kabel olejowy mimo to odgrywał zasadniczą rolę aż do roku 1945, co widzimy na rys. 9.

Pierwszy kabel olejowy na 138 kV miał izolację grubości 18,2 mm; w chwili obecnej grubość normalna dla tego napięcia wynosi 14,2 mm dla żył o przekroju 760 mm<sup>2</sup>. Olej stosowany do kabli olejowych uległ w ciągu lat wiel-

kiej zmianie jakości. W pierwszych kablach miał on punkt krzepnięcia przy temperaturze  $-6^{\circ}\text{C}$  i lepkość jego przy  $100^{\circ}\text{C}$  wynosiła 6,5, podczas gdy oleje stosowane obecnie mają punkt krzepnięcia  $-45^{\circ}\text{C}$  i lepkość 3,6 przy  $100^{\circ}\text{C}$ .

Specjalną uwagę zwrócono na straty, powstające w płaszczu ołowianym zwłaszcza przy wykonywanych dłuższych odcinkach kabli, a następnie na korozję płaszczu specjalnie elektrolityczną i przy obecności prądów błędnych. Przeciw tej korozji stosuje się tak zwany drenaż przy pomocy łączenia prostowników między płaszcz kabla i sąsiednie urządzenia metalowe. Przeciw korozji chemicznej używa się odzieży z gumy lub podobnych materiałów. W chwili obecnej pracuje w Stanach Zjedn. Ameryki 189,8 km kabli olejowych typu Pirelli. Ostatnio instalowane kable na napięcie 162 kV mają przekrój żyły 760 mm<sup>2</sup>, grubość izolacji 16,5 mm. Najwyższą temperaturę roboczą zakłada się  $70^{\circ}\text{C}$ ; w rzeczywistości temperatury w czasie pracy nie przekraczają  $60^{\circ}\text{C}$  i wahają się w granicach 30 do  $55^{\circ}\text{C}$ . Najwyższe spotykane temperatury w 4-ch liniach wynosiły 72 i  $86^{\circ}\text{C}$ .

Pierwszy kabel gazowy w rurach został ułożony w Detroit w roku 1941. W kablach gazowych stosowany jest powszechnie azot. Izolacja wykonana z taśm papierowych uprzednio impregnowanych stopniowanej grubości. Kable tak wykonane zbliżone są do typu Beaver (typ B1). Używany jest również typ kabla nasyconego po wykonaniu (typ B2). Kable ciśnieniowe z gazem typu znanego w Europie są również używane, jednak zamiast płaszczu ołowianego stosuje się materiał syntetyczny — polietylen (typ C).

W kwestii grubości izolacji dąży się stale do jej zmniejszania, przy czym brane są pod uwagę przede wszystkim przepięcia (łączeniowe i pochodzenia atmosferycznego).

Ogólnie wszystkie kable, a także typu „oilostatic“, mają w zasadzie zawsze większe przekroje żył niż w Europie; również odcinki między złączami są dłuższe niż np. w ciśnieniowych europejskich. Może to być dlatego, że nie mają one płaszczu ołowianych, lecz są w polietylenie (typ C), a więc są dużo lżejsze. Odcinki kabli, które miały być wykonywane w roku 1948, przewidziane były o długości 830 m.

Ogólna długość linii kablowych w rurach o wypełnieniu olejem lub gazem wynosiła w roku 1948 — 179,5 km. Najwyższe napięcia stosowane były 138 kV, a największe przekroje żyły 760 mm<sup>2</sup>. Grubość izolacji dla kabli z olejem wynosi dla napięć 138 kV — 14,2 mm, dla tegoż napięcia przy wypełnieniu rur gazem przeważnie 15,2 mm. Temperatury robocze dla tych kabli nie przekraczają  $60^{\circ}\text{C}$  dla odcinków podziemnych i  $45^{\circ}$  dla odcinków nie zakopanych w ziemi.

Co się tyczy eksploatacji, to w ciągu całego czasu pracy kabli zarówno olejowych typu Pirelli, jak olejowych i gazowych w rurach, pewność ich pracy była duża i częstotliwość uszkodzeń bardzo niewielka (16,7/100 km rocznie i to przeważnie na starych kablach).

#### SPIS REFERATÓW KONGRESOWYCH

- [1] de Brouwer R. La protection cathodique des structures métalliques enterrées. (Ref. 205, Belgia)
- [2] Soleri E. La corrosion dans les canalisations souterraines. Compte-rendu des réunions du C. C. I. F. et de la C. M. I. (septembre 1947). (Ref. 208, Włochy)
- [3] Creemers N. H. et Hondius Boldingh W. Essai préventif à haute tension continue et localisation des défauts de cables. (Ref. 219, Holandia)
- [4] Komives L. I. et Halperin H. Exploitation de cables à plus de 100 000 V aux États-Unis. (Ref. 222, St. Zjedn. Am.)

PROF. DR INŻ. L. SZKLARSKI

## Wyznaczenie strat układu Leonarda

Treść. Autor wyznacza straty poszczególnych maszyn układu Leonarda za pomocą uproszczonych wzorów. Moce poszczególnych maszyn są wyznaczone według mocy zastępczych, po czym są sprawdzane według średnich strat. Podany jest przykład liczbowy.

Определение потерь в системе Леонарда. Автор определяет потери в отдельных машинах агрегата Леонарда при помощи упрощенных формул. Мощности отдельных машин определяются по мощностям замещения, а затем проверяются по средним потерям. Дается численный пример.

Determination of losses of the Leonard system. The author determines the losses of individual machines of the Leonard system of speed-control by means of simplified formulae. The capacities of individual machines are determined according to substitutional capacities, after which they are checked according to mean loss. A numerical example is given.

### I. ZASADY OGÓLNE

#### 1. Wstęp.

Większość maszyn wydobywczych polskiego Zagłębia Węglowego posiada napęd Leonarda, toteż doniosłe znaczenie ma sprawa mniej lub więcej dokładnego obliczenia

zuzycia energii oraz mocy poszczególnych maszyn wchodzących w skład tego rodzaju instalacji wyciągowej.

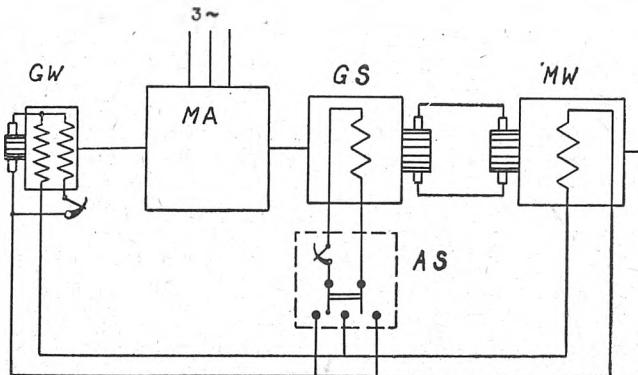
Obliczenia strat w układzie Leonarda mogą być wykonane stosunkowo łatwym sposobem według ogólnych wzorów na straty w maszynach elektrycznych, a te wzory są zawarte w odpowiednich podręcznikach.

Dla lepszego zrozumienia zjawisk występujących w układzie Leonarda należy rozważać układ ten jako całość.

Przytoczony poniżej sposób obliczenia jest stosunkowo żmudny, lecz przy obliczeniach seryjnych maszyn wydobywczych mogą być poczynione znaczne uproszczenia metody.

Wyznaczenie mocy poszczególnych maszyn elektrycznych układu może być wykonane według danych wykresów mocy lub momentów przez obliczenie mocy zastępczej; wybrane wartości należy wtedy sprawdzić według metody średnich strat. Wyznaczenie mocy zastępczej jest niezbędne do umożliwienia prowizorycznego wyboru maszyn z katalogu, co z kolei jest potrzebne do wyznaczenia strat występujących przy warunkach znamionowych.

Dla uproszczenia rozpatrzmy klasyczny układ Leonarda (rys. 1), to znaczy taki, który się składa z silnika



Rys. 1. Schemat układu Leonarda

wyciągowego MW z obcym wzbudzeniem (nie regulowanym), prądnicy sterującej GS ze wzbudzeniem, regulowanym bezpośrednio za pomocą aparatu sterującego AS, oraz silnika asynchronicznego MA, napędzającego prądnicę sterującą. Do zasilania obwodów wzbudzenia silnika wyciągowego oraz prądnicy sterującej służy wzbudnica GW, najczęściej sprzężona bezpośrednio z wałem silnika napędowego MA.

W wypadkach bardziej skomplikowanych, gdy układ Leonarda zawiera zespoły pomocnicze do powiększenia dokładności sterowania — jak to spotykamy w maszynach wyciągowych wykonanych przez firmę AEG — lub też gdy wzbudzenie prądnicy sterującej jest regulowane drogą pośrednią przez regulację wzbudzenia wzbudnicy pomocniczej (układ Leonarda II-go stopnia), a taki układ spotykamy w maszynach wyciągowych wykonanych przez firmę Brown-Boveri, należy, oczywiście, uwzględnić wszystkie dodatkowe straty zachodzące w wymienionych urządzeniach pomocniczych. Straty te w naszym uproszczonym wypadku pomijamy.

Dla wyznaczenia mocy poszczególnych maszyn oraz sprawności zespołu należy obliczyć wszystkie straty występujące kolejno w poszczególnych częściach układu Leonarda. Musimy więc obliczyć straty: 1) silnika wyciągowego, 2) prądnicy sterującej, 3) silnika napędzającego przetwornicę, 4) straty ogólne.

## 2. Silnik wyciągowy.

Silniki wyciągowe w układzie Leonarda mają obce wzbudzenie bez regulacji pola wzbudzenia, zatem straty wzbudzenia silnika w czasie ruchu są stałe. W postoju następuje zwykle wyłączenie całkowite obwodu wzbudzenia lub też prąd wzbudzenia redukuje się przez włączenie oporu; w wypadku ostatnim moc wzbudzenia redukuje się zwykle o połowę.

Przy obliczeniach będziemy przyjmowali za podstawę warunki znamionowe, gdyż wszystkie niezbędne wartości strat łatwo możemy otrzymać z danych katalogowych dla warunków znamionowych.

### a) Rozruch silnika ( $v > 0$ )

Znajdźmy ogólny wyraz natężenia prądu dla okresu ruchu niestabilnego silnika wyciągowego. Możemy napisać dwa równania: jedno dla warunków znamionowych, dru-

gie zaś dla dowolnych warunków pracy silnika. Wartości dotyczące warunków znamionowych oznaczamy wskaźnikiem „n”, dotyczące zaś warunków dowolnych — wskaźnikiem „x”.

Wtedy oddawaną moc silnika wyciągowego dla warunków znamionowych ( $P_n$ ) oraz moc przy danym obciążeniu ( $P_x$ ) możemy wyrazić:

$$\left. \begin{aligned} a) P_n &= k_1 F_n v_n = U_n I_n - I_n^2 R_w - \Delta P_{fen} - \Delta P_{mn} \\ b) P_x &= k_1 F_x v_x = U_x I_x - I_x^2 R_w - \Delta P_{fex} - \Delta P_{mxx} \end{aligned} \right\} (1)$$

gdzie  $F$  — siła pociągowa na bębnie,  $U$  — napięcie na zaciskach silnika,  $I$  — prąd obwodu wirnika,  $R_w$  — opór obwodu wirnika,  $\Delta P_{fe}$  — straty w żelazie,  $\Delta P_m$  — straty mechaniczne (łącznie ze stratami wentylacyjnymi),  $v$  — prędkość naczynia wydobywczego, czyli prędkość obrotowa bębna.

Dzielimy stronami równania (a) i (b):

$$\frac{F_x v_x}{F_n v_n} = \frac{U_x I_x - I_x^2 R_w - \Delta P_{fex} - \Delta P_{mxx}}{U_n I_n - I_n^2 R_w - \Delta P_{fen} - \Delta P_{mn}} \quad (2)$$

Jak wiadomo, w układzie Leonarda liczba obrotów silnika wyciągowego, czyli — co na jedno wychodzi — prędkość podnoszenia jest w przybliżeniu wprost proporcjonalna do napięcia na zaciskach silnika. Wobec tego oznaczamy:

$$\frac{U_x}{U_n} = \frac{v_x}{v_n}$$

czyli

$$U_x = U_n b, \quad (3)$$

gdzie

$$b = \frac{v_x}{v_n}; \quad (3')$$

następnie

$$\frac{F_x}{F_n} = \frac{P_x v_n}{P_n v_x}$$

Podstawiając

$$\frac{F_x}{F_n} = a \quad (4)$$

otrzymamy

$$a = \frac{P_x}{P_n} \cdot \frac{1}{b} \quad (4')$$

Ponieważ silniki wyciągowe zawsze mają uzwojenie kompensacyjne i bieguny pomocnicze, możemy więc przyjąć, iż indukcja magnetyczna silnika pozostaje stała przy wszystkich obciążeniach.

Straty w żelazie są zależne od częstotliwości i indukcji magnetycznej. Możemy przyjąć w przybliżeniu, iż straty te będą proporcjonalne do kwadratu częstotliwości oraz kwadratu indukcji, czyli:

$$\Delta P_{fe} = k f^2 B^2, \quad (5)$$

gdzie  $k$  — stała,  $f$  — częstotliwość pola magnetycznego,  $B$  — indukcja magnetyczna.

Ponieważ zakładamy, że przy braku regulacji pola w silniku wyciągowym  $B \cong \text{const.}$ , więc ostatecznie:

$$\Delta P_{fe} = k_b f^2. \quad (5')$$

Częstotliwość  $f$  jest wprost proporcjonalna do liczby obrotów silnika, czyli do prędkości podnoszenia. Ponieważ straty w żelazie dla danego punktu pracy najłatwiej znajdziemy wychodząc z warunków znamionowych, przeto możemy napisać zależność:

$$\Delta P_{fex} = \Delta P_{fen} \left( \frac{v_x}{v_n} \right)^2 = \Delta P_{fen} b^2, \quad (6)$$

gdzie  $\Delta P_{fen}$  — straty w żelazie dla warunków znamionowych.

Wzór (2) po pewnych przekształceniach przyjmie postać:

$$U_x I_x - I_x^2 R_w - \Delta P_{fex} - \Delta P_{mxx} = a b P_n \quad (7)$$

gdzie  $a$  i  $b$  znajdujemy ze wzorów (3') i (4'), znamionowa zaś moc oddawana

$$P_n = U_n I_n - I_n^2 R_w - \Delta P_{fen} - \Delta P_{mn}$$



Straty mechaniczne maszyny (czyli moc zużyta na pokonanie momentu oporów statycznych maszyny) mogą być otrzymane w przybliżeniu z rozważań następujących: zakładamy, że moment oporów tarcia jest stały, czyli że

$$\Delta P_{mx} = \Delta M_m k_1 v_x,$$

gdzie  $\Delta M_m$  — moment oporów maszyny, uwarunkowany tarciami oraz wentylacją dla warunków znamionowych:

$$\Delta P_{mn} = \Delta M_m k_1 v_n;$$

stąd dzieląc stronami otrzymamy

$$\frac{\Delta P_{mx}}{\Delta P_{mn}} = \frac{v_x}{v_n},$$

a ostatecznie

$$\Delta P_{mx} = \Delta P_{mn} \cdot \frac{v_x}{v_n} = P_{mn} b \quad (8)$$

Rozwiązując równanie (7) ze względu na  $I_x$  oraz uwzględniając równania (6) i (8), znajdziemy:

$$I_x = \frac{I_{kn}}{2} b \pm \sqrt{\frac{I_{kn}^2}{4} b^2 - (\Delta P_{fen} b^2 + \Delta P_{mn} b + abP_n) \frac{1}{R_w}} \quad (9)$$

gdzie  $I_{kn} = \frac{U_n}{R_w}$  — prąd zwarcia znamionowy.

We wzorze powyższym należy przyjąć przed pierwiastkiem znak minus, gdyż prąd pracy  $I_x$  jest zawsze znacznie mniejszy od prądu zwarcia  $I_{kn}$ . Wtedy ostatecznie:

$$I_x = \frac{I_{kn}}{2} b - \sqrt{\frac{I_{kn}^2}{4} b^2 - (abP_n + \Delta P_{mn} b + \Delta P_{fen} b^2) \frac{1}{R_w}} \quad (10)$$

Wzór ten pozwala na wyznaczenie natężenia prądu przy danym obciążeniu silnika z uwzględnieniem strat. Przy obliczeniach przybliżonych można, oczywiście, przyjmować, że prąd obciążenia jest wprost proporcjonalny do momentu obrotowego silnika.

b) Początek okresu rozruchu ( $v = 0$ )

Wzór (10) nie może być stosowany do wyznaczenia prądu dla chwili włączania silnika (gdy  $v_x = 0$ ) oraz dla stanu zwarcia (gdy również  $v_x = 0$ ), ponieważ dla wymienionych dwu punktów pracy moc użyteczna równa się zeru, wzór zaś (10) został wyprowadzony z równania mocy; dlatego też dla  $v_x = 0$ , wzór ten daje wyniki całkowicie błędne.

Dla wyznaczenia natężenia prądu w chwili włączenia silnika przy  $v_x = 0$  należy wyjść z następujących założeń.

Przyjmując, jak przedtem, iż indukcja magnetyczna silnika pozostaje bez zmian przy dowolnym obciążeniu silnika, możemy napisać zasadniczy wzór na moment silnika przy obciążeniu znamionowym:

$$M'_n = c\Phi I_n \quad (11)$$

gdzie  $M'_n$  — całkowity moment obrotowy silnika przy obciążeniu znamionowym,  $I_n$  — natężenie prądu znamionowe; przy tym przyjmujemy, iż  $\Phi = \text{const.}$ , czyli  $c\Phi = \text{const.}$ ; wtedy z (11) możemy wyznaczyć stałą:

$$c\Phi = \frac{M'_n}{I_n} \quad (12)$$

Wielkość  $c\Phi$  nie zmienia się również dla punktu pracy  $v = 0$ , tj. dla chwili włączenia silnika.

Dla warunków znamionowych moment całkowity wyrazi się:

$$M'_n = M_{nu} + \Delta M_{fen} + \Delta M_m \quad (13)$$

gdzie  $M_{nu}$  — moment oddawany,  $\Delta M_{fen}$  — moment spowodowany stratami w żelazie,  $\Delta M_m$  — moment strat mechanicznych.

Mając wartości mocy oddawanej oraz obrotów dla warunków znamionowych, możemy wyznaczyć moment oddawany:

$$M_{nu} = 975 \frac{P_n}{n_n} \quad (14)$$

gdzie  $P_n$  — oddawana moc znamionowa,  $n_n$  — obroty znamionowe.

Momenty  $\Delta M_{fen}$  oraz  $\Delta M_m$  możemy znaleźć ze strat mocy.

Dla maszyn większej mocy firmy często podają rozdział strat, gdy zaś poszczególne straty nie są znane, możemy dla warunków znamionowych znaleźć je z dostateczną dokładnością z tabl. I, wychodząc ze sprawności znamionowej  $\eta_n$ .

Ogólne straty silnika dla warunków znamionowych (w kW) będą:

$$\Delta P_n = \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot P_n \quad (15)$$

Moc pobierana z sieci dla warunków znamionowych  $P'_n$  znajdzie się z równania:

$$P'_n = \frac{P_n}{\eta_n}$$

W tabl. I są zestawione straty mocy w % strat ogólnych  $\Delta P_n$  dla maszyn bocznikowych prądu stałego większej mocy, stosowanych jako silniki wyciągowe przy napędzie Leonarda.

Tablica I. Straty w silnikach prądu stałego dla warunków znamionowych

| Rodzaj strat                                  | Wielkość strat w % strat ogólnych $\Delta P_n$ |
|---|--|
| 1. Straty mechaniczne $\Delta P_m$            | 25 ÷ 31  |
| 2. Straty w miedzi obwodu wirnika $I_n^2 R_w$ | 40 ÷ 36  |
| 3. Straty wzbudz. boczn. $\Delta P_{wz}$      | 10 ÷ 13  |
| 4. Straty w żelazie $\Delta P_{fe}$           | 25 ÷ 20  |

Mając wyznaczone wartości strat mocy, możemy znaleźć następujące momenty:

moment strat mechanicznych

$$\Delta M_m = 975 \frac{\Delta P_m}{n_n} \quad (16)$$

moment strat w żelazie dla znamionowego punktu pracy

$$\Delta M_{fen} = 975 \frac{\Delta P_{fen}}{n_n} \quad (17)$$

Przy rozruchu, gdy  $v = 0$ , równanie momentów będzie:

$$M'_a = M_{au} + \Delta M_m \quad (18)$$

gdzie  $M'_a$  — całkowity moment rozruchowy,  $M_{au}$  — oddawany moment rozruchowy.

Moment strat w żelazie przy nieruchomym wirniku równa się zeru, gdyż możemy przyjmować, iż moment strat w żelazie jest wprost proporcjonalny do liczby obrotów lub częstotliwości (por. wzór 5').

Po wyznaczeniu  $\Delta M'_m$  oraz mając  $M_{au}$  znajdziemy  $M'_a$ , stąd zaś obliczymy prąd rozruchowy

$$I_a = \frac{M'_a}{c\Phi} \quad (19)$$

Straty w miedzi wirnika dla dowolnego punktu pracy znajdziemy ze wzoru

$$\Delta P_{cux} = I_x^2 R_w.$$

Opór obwodu wirnika  $R_w$  znajdziemy ze strat w miedzi dla pracy znamionowej

$$R_w = \frac{\Delta P_{cun}}{I_n^2} \quad (20)$$

Po wyznaczeniu natężenia prądu wirnika dla okresu rozruchu możemy obliczyć straty obwodu wirnika silnika wyciągowego dla tegoż okresu.

Pozostałe straty wyznaczamy z rozważań przytoczonych poprzednio, przy czym straty w żelazie znajdują się ze wzoru (6).

Strat wzbudzenia na razie nie uwzględniamy, gdyż silnik wyciągowy ma obce wzbudzenie, więc, straty mocy na wzbudzenia wejdą do mocy przetwornicy.

c) Okres ruchu ustalonego ( $v = \text{const.}$ )

Dla tego okresu należy również wyznaczyć straty w miedzi obwodu wirnika oraz pozostałe według metody przedstawionej wyżej. Można posługiwać się tymi samymi wzorami; przy tym przyjmujemy  $v_x = v_n$ . Do wyznaczenia strat przy przewozie ludzi, gdy prędkość jest znacznie niższa od znamionowej, należy przyjąć rzeczywistą prędkość  $v_x \neq v_n$ .

## d) Okres hamowania

Przy wyznaczeniu strat okresu hamowania, które w układzie Leonarda z reguły jest hamowaniem prądnicowym, postępujemy podobnie jak dla okresu rozruchu. Lecz wzór na natężenie prądu obwodu wirnika przybiera nieco odmienną postać ze względu na zmianę znaku momentu silnika w stanie prądnicowym. Pomijając wyprowadzenie wzoru, podajemy ostateczny wzór na prąd silnika przy hamowaniu:

$$I_{gx} = -\frac{I_{kn}}{2} b + \sqrt{\frac{I_{kn}^2}{4} b^2 + (agbP_n - \Delta P_{fen} b^2 - \Delta P_{mn} b) \frac{1}{R_w}} \quad (21)$$

We wzorze powyższym za  $ag$  należy przyjąć stosunek bezwzględnych wartości sił pociągowych okresu hamowania do siły znamionowej, tj.

$$ag = \frac{F_{gx}}{F_n} \quad (22)$$

Pozostałe oznaczenia są bez zmian.

Otrzymana wartość  $I_{gx}$  będzie ujemna, co oznacza, że prąd przy hamowaniu zmienia kierunek.

Wzór (21) nie może być stosowany do wyznaczenia natężenia prądu przy końcu okresu hamowania, gdy  $v_x = 0$ , wtedy więc prąd należy wyznaczać wychodząc z wartości momentów, jak to już omówiono wyżej. Przy tym równanie momentów (18) przybiera postać:

$$M'_g = M_{gu} + \Delta M_m.$$

Po otrzymaniu natężenia prądu możemy wyznaczyć straty w miedzi wirnika. Mając straty dla wszystkich okresów pracy, możemy narysować wykresy mocy i strat dla całego okresu pracy silnika wyciągowego. Przy wykreślaniu strat dla okresu hamowania należy pamiętać, iż w wypadku ostatnim straty należy odejmować od mocy oddawanej.

Prócz okresu mocy należy wykonać również wykres strat.

Mając wykres strat możemy sprawdzić wybrany silnik według strat. W tym celu posługujemy się wzorem:

$$\Delta P_{sr} = \frac{\Sigma \Delta P_x t_x}{t'_x}, \quad (23)$$

gdzie  $\Delta P_{sr}$  — średnia wartość strat dla danego wykresu mocy występujących w wybranym silniku,  $\Sigma \Delta P_x$  — suma strat w poszczególnych okresach pracy  $t_x$  (przy wyznaczeniu średnich strat oraz strat znamionowych należy włączyć w to również straty wzbudzenia),  $\Sigma t'_x$  — pewien zastępczy czas trwania cyklu pracy, gdy prędkość maszyny zmienia się według wykresu trapezowego:

$$\Sigma t'_x = 0,75 t_1 + t_2 + 0,75 t_3 + 0,5 \theta \quad (24)$$

gdzie współczynnik 0,75 przy  $t_1$  i  $t_3$  uwzględnia pogorszenie się warunków chłodzenia przy pracy nieustalanej; dla okresu postoju ( $\theta$ ) przyjmujemy współczynnik 0,5. Natomiast gdy maszyna pracuje ze stałą prędkością, za czas  $\Sigma t'_x$  przyjmujemy całkowity czas jednego cyklu pracy.

Otrzymana wartość  $\Delta P_{sr}$  powinna być mniejsza od wartości strat otrzymanych dla warunków znamionowych (wtedy uważamy, że silnik został wybrany właściwie), tj. winno być:

$$\Delta P_n \geq \Delta P_{sr}.$$

Nieco bardziej dokładne wyniki uzyskamy, gdy będziemy obliczali straty silnika pomniejszone o straty mechaniczne, gdyż te ostatnie wywierają bardzo mały wpływ na nagrzanie maszyny.

Możemy więc wszystkie wartości  $\Delta P_x$  zmniejszyć o chwilowe wartości strat mechanicznych  $\Delta P_m$  odpowiadające danemu  $\Delta P_x$ , również straty znamionowe należy zmniejszyć o straty mechaniczne przy pracy znamionowej.

Następnie należy sprawdzić przeciążenie silnika, występujące przy rozruchu w warunkach normalnych, oraz przeciążenie maksymalne, które może wystąpić np. przy przestawianiu bębnow lub przy podnoszeniu jednej klatki ładownej, gdy druga stoi na podchwytach.

Przeciążenie rozruchowe  $a_0$  znajdziemy:

$$a_0 = \frac{F_1}{F_n} \leq 2,$$

gdzie  $F_1$  — siła pociągowa rozruchu,  $F_n$  — siła pociągowa znamionowa, tj. ta, według której znajdujemy moc znamionową silnika.

Natomiast dla przeciążeń maksymalnych możemy przyjąć:

$$a_{\max} = \frac{F_{\max}}{F_n} \leq 2,5,$$

gdzie  $F_{\max}$  — maksymalna siła pociągowa, występująca przy przestawianiu bębnow lub innych podobnych operacjach. Gdy moc ciągną wybranego silnika okaże się nie wystarczającą ze względu na przeciążenie, należy wybrać silnik większej mocy według warunków przeciążenia. Lecz gdyby  $a_{\max}$  wyniosło  $> 2,5$  do 3, nie zaleca się powiększania mocy silnika, ponieważ przy pracy normalnej nie będzie on wyzyskany, należy natomiast zmienić konstrukcję mechaniczną urządzenia wyciągowego tak, aby zmniejszyć  $F_{\max}$  np. przez zastąpienie podchwytów pomostem ruchomym.

Zaleca się sprawdzenie przeciążenia silnika przed obliczeniem strat.

## 3. Prądnica sterująca.

Charakter pracy prądnicy sterującej różni się od pracy silnika wyciągowego, ponieważ prądnica sterująca pracuje przy praktycznie stałej liczbie obrotów w ciągu całego czasu pracy.

Podobnie jak silnik wyciągowy, prądnica sterująca posiada uzwojenie kompensacyjne i bieguny pomocnicze.

Moc oddawana prądnicie sterującej równa się mocy pobieranej obwodu wirnika silnika wyciągowego (jeżeli pominiemy straty w przewodach łączących).

Mając wykres prądu obwodu wirnika silnika wyciągowego, możemy prowizorycznie obliczyć moc prądnicy sterującej. Po wyznaczeniu z tego wykresu mocy zastępczej należy wybrać z katalogu maszynę stosownej mocy znamionowej; prócz tego w katalogu jest podana również sprawność znamionowa, dzięki czemu możemy obliczyć straty maszyn dla warunków znamionowych. Niektóre firmy nie podają w katalogach maszyn wielkich mocy; w tym wypadku należy wprost zamawiać potrzebną maszynę. Wtedy moc zastępcza będzie odpowiadała mocy znamionowej maszyny.

Jeżeli nie mamy dokładnych danych o stratach maszyny, możemy w przybliżeniu obliczyć je na podstawie tabl. I, pamiętając przy tym, że prądnice sterujące mają wyższe obroty niż silniki wyciągowe, mają przeto nieco wyższą sprawność przy tej samej mocy. Można przyjąć, iż przy tej samej mocy znamionowej sprawność prądnicy sterującej będzie o 1 — 2 jednostki wyższa, czyli gdy np. sprawność silnika wynosi 90%, to sprawność prądnicy możemy przyjąć 91 — 92%; przy tym straty wzbudzenia prądnicy sterującej są nieco mniejsze niż silnika wyciągowego i dla warunków znamionowych wynoszą zwykle 0,8 — 0,4% znamionowej mocy doprowadzonej. Ponieważ wzbudzenie prądnicy sterującej zasila się ze wzbudnicy, więc straty wzbudzenia należy odjąć od strat ogólnych.

Dodając do mocy chwilowych prądnicy straty prądnicy, wyznaczamy moc pobieraną (na wale) prądnicy. Tej mocy dostarcza silnik napędowy.

Ponieważ przez obwód wirnika prądnicy sterującej przepływa ten sam prąd, co przez obwód wirnika silnika wyciągowego, przeto straty w miedzi prądnicy znajdziemy łatwo, mając opór obwodu wirnika prądnicy. Wyznaczenie oporu wirnika prądnicy może być wykonane metodą podaną dla silnika wyciągowego.

Straty mechaniczne prądnicy sterującej przyjmujemy za stałe.

Straty w żelazie prądnicy sterującej będą się zmieniły w zależności od strumienia magnetycznego wzbudzenia, gdyż regulacja napięcia na zaciskach prądnicy od-

bywa się przez zmianę prądu wzbudzenia. Przyjmując liniową zależność pomiędzy prędkością podnoszenia a wychyleniem dźwigni sterowniczej, możemy uważać, iż prędkość podnoszenia będzie wprost proporcjonalna do indukcji magnetycznej w żelazie prądnicy. Ponieważ zaś straty w żelazie są wprost proporcjonalne do kwadratu indukcji, więc ostatecznie możemy przyjąć:

$$\Delta P_{\text{fex}} = \Delta P_{\text{fen}} b^2 \quad (25)$$

Przy hamowaniu elektrycznym silnika wyciągowego prądnica sterująca staje się silnikiem, wobec czego dla tego odcinka pracy moc jej zmienia znak i straty należy dodawać do mocy oddawanej prądnicie sterującej. W pewnych punktach pracy moc hamowania oddawana przez silnik do wirnika prądnicy sterującej może być bardzo mała i nie wystarczy na skompensowanie strat maszyny; wtedy brakująca moc będzie dostarczona przez silnik napędowy ze sieci.

W czasie postoju silnika wyciągowego prądnica pobiera moc równą stratom biegu jałowego. Mocy tej dostarcza silnik napędowy (zasilany z sieci prądu zmiennego).

Po wyznaczeniu strat należy sprawdzić wybraną prądnicę według średnich strat, podobnie jak to przedstawiono wyżej.

Wreszcie należy wykonać również sprawdzenie przeciążenia prądnicy sterującej przy rozruchu, podobnie jak to podano dla silnika wyciągowego, lecz zamiast stosunku momentów należy brać stosunek mocy:

$$c_0 = \frac{P_{\text{max}}}{P_n} \leq 2.$$

#### 4. Silnik napędowy.

Do napędu prądnicy sterującej w układzie Leonarda najczęściej używamy silników asynchronicznych. W układach z kołem zamachowym Ilgnera obroty tego silnika są regulowane w pewnych dość ciasnych granicach. W zwykłym układzie Leonarda silnik asynchroniczny nie jest regulowany i w czasie pracy pierścienie jego są zwarte, dzięki czemu obroty jego mogą się wahać w granicach kilku procentów tak, że praktycznie mogą być przyjęte za stałe, nawet przy uwzględnieniu przejścia do prędkości nad synchronicznej podczas hamowania.

Moc oddawana silnika napędowego równa się mocy na wale prądnicy sterującej (obliczenie jej zostało omówione wyżej), powiększonej o moc pobieraną przez wzbudnicę, je-

Tablica II. Straty w silnikach asynchronicznych dla warunków znamionowych

| Rodzaj strat  | Wartość w %                   |                |
|---|-------------------------------|----------------|
|   | mocy doprowadzonej ( $P'_n$ ) | strat ogólnych |
| I   | II                            | III            |
| 1. Straty mechaniczne $\Delta P_m$                          | 1,2 ÷ 1,5                     | 20 ÷ 26        |
| 2. Straty w żelazie $\Delta P_{\text{fe}}$                  | 1,2 ÷ 0,9                     | 20 ÷ 14        |
| 3. Suma strat stałych                                       | ~2,4                          | ~40            |
| 4. Straty w miedzi stojana i wirnika $\Delta P_{\text{cu}}$ | ~3,6                          | ~60            |
| 5. Łączne straty maszyny                                    | ~6,0                          | 100            |

żeli ta ostatnia jest sprzężona z silnikiem napędowym przetwornicy.

Z wykresu mocy doprowadzonej do wału prądnicy sterującej możemy obliczyć moc zastępczą silnika napędowego, po czym wybrać z katalogu stosowny silnik, bądź też zamówić w firmie silnik żądanej mocy.

Do wyznaczenia mocy pobieranej przez silnik z sieci oraz sprawdzenia mocy silnika według strat należy wyznaczyć straty silnika dla różnych punktów pracy.

Do wyznaczenia strat silnika asynchronicznego możemy stosować podobną metodę, jak w przypadku maszyn prądu stałego, lecz tu metoda ta jest bardziej żmudna i mniej dokładna, gdyż procent strat różnego rodzaju w silniku

asynchronicznym waha się w szerokich granicach. W braku dokładnych danych firmowych można się posługiwać przytoczoną niżej tabl. II. Rubryka druga (pionowa) tablicy odpowiada sprawności znamionowej silnika  $\eta_n = 0,94$ . Dane tabl. II mogą być użyte do wyznaczenia strat biegu jałowego.

Przy wyznaczaniu strat biegu jałowego możemy przyjąć w przybliżeniu, że prąd biegu jałowego wynosi 30 — 40% prądu znamionowego; ponieważ straty w miedzi są proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu, więc straty te przy biegu jałowym w przybliżeniu wyniosą od

$$\Delta P_{\text{cuo}} = \Delta P_{\text{cun}} \cdot 0,3^2 = 0,09 \Delta P_{\text{cun}}$$

do

$$\Delta P_{\text{cuo}} = \Delta P_{\text{cun}} \cdot 0,4^2 = 0,16 \Delta P_{\text{cun}},$$

gdzie  $\Delta P_{\text{cun}}$  — straty w miedzi dla warunków znamionowych.

Możemy zatem przyjąć, że przeciętnie straty w miedzi przy biegu jałowym wyniosą około 12% strat w miedzi dla warunków znamionowych.

Straty w żelazie oraz mechaniczne wyniosą łącznie około 40% całkowitych strat znamionowych.

Wtedy łączne straty biegu jałowego wyniosą przeciętnie:

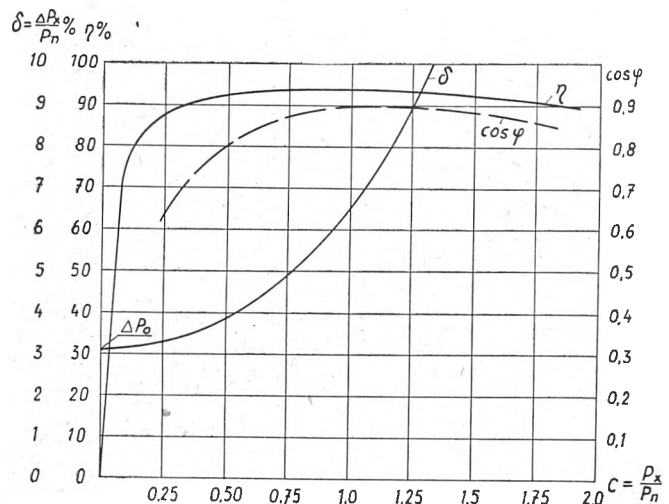
$$\Delta P_o \cong (0,40 + 0,12) \Delta P_n = 0,52 P_n.$$

Przy sprawności znamionowej  $\eta_n = 0,94$  straty biegu jałowego wyniosą:

$$\delta_o = \frac{1-0,94}{0,94} 0,52 \cdot 100\% \cong 3,3\%$$

mocy znamionowej.

Natomiast bardziej dokładnie mogą być straty obliczone z wykresu sprawności. Przy tym odpada potrzeba wyzna-



Rys. 2. Wykres sprawności oraz strat silnika asynchronicznego

czania poszczególnych rodzajów strat, gdyż możemy wyznaczyć od razu straty całkowite znając sprawność w każdym danym punkcie pracy.

Katalog Centrali Handlowej Przemysłu Elektrotechnicznego za rok 1948, dział 106—107, podaje tabelę spraw-

Tablica III. Sprawność i straty procentowe przy różnych obciążeniach

| Obciążenie względne $c = \frac{P_x}{P_n}$               | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Sprawność $\eta_x\%$                                    | 82,5 | 86   | 88,5 | 92,5 | 94   | 94   | 93,5 | 92,5 | 91   |
| Straty względne $\delta = \frac{\Delta P_x}{P_n} 100\%$ | 3,2  | 3,3  | 3,3  | 4,1  | 4,8  | 6,4  | 8,7  | 12,2 | 17,3 |



ności dla silników produkcji krajowej. Co prawda dane przytoczone w katalogu dotyczą silników o mocy do 500 kW, przy większych jednostkach sprawność zmienia się jednak bardzo mało, wobec czego tabela ta może być stosowana również dla silników większej mocy.

Ponieważ silniki napędowe przetwornicy Leonarda są budowane zwykle dla 1000—750 obr./min., czyli przy liczbie biegunów 6 do 12, więc dlatego z tabeli wykorzystano dane, dotyczące silników z taką liczbą biegunów. Tabela katalogu podaje przebieg sprawności w funkcji obciążenia silnika (przy zmianie obciążenia od  $\frac{1}{4}$  do  $\frac{3}{4}$  wartości znamionowej) przy sprawności znamionowej = 0,94. Z tych danych zbudowano wykres sprawności podany na rys. 2. Do wyznaczenia sprawności dla obciążeń mniejszych niż  $\frac{1}{4}$  można korzystać z krzywej, którą należy uzupełnić od punktu  $\frac{1}{4} P_n$  do zera, co można łatwo wykonać, ponieważ przy mocy oddawanej równej 0 sprawność również jest 0. Oczywiście, ta część wykresu sprawności będzie niedokładna, lecz do celów praktycznych dokładność jest wystarczająca.

Z wykresu (rys. 2) możemy zrobić zestawienie sprawności przy różnych obciążeniach (tabl. III).

Z tabl. III możemy wykreślić krzywą strat względnych, tj.  $\delta = \frac{\Delta P_x}{P_n}$  w funkcji obciążenia względnego  $c$ .

Ze wzoru na straty

$$\Delta P_x = P_x \frac{1 - \eta_x}{\eta_x}$$

znajdziemy straty względne, dzieląc stronami przez  $P_n$ :

$$\delta = \frac{c(1 - \eta_x)}{\eta_x}, \quad (26)$$

gdzie  $\delta = \frac{\Delta P_x}{P_n}$  oznacza straty względne, lub w %:

$$\delta \% = \frac{c(1 - \eta_x)}{\eta_x} 100\% \quad (26')$$

Straty względne obliczone z tego wzoru są również zestawione w tabl. III.

Z otrzymanych wartości  $\delta$  możemy wykreślić krzywą  $\delta = f(c)$  również przedstawioną na rys. 2. Z krzywej możemy wnioskować, iż poczynając od  $c = 0,25$  wykres prawie się nie obniża, można więc przypuszczać, że przebieg odcinka krzywej od  $c = 0,25$  aż do  $c = 0$  będzie zbliżony do prostej poziomej. Przecięcie się krzywej z osią rzędnych następuje przy  $\delta \approx 3,2\%$ , możemy więc przyjąć, że straty biegu jałowego wyniosą około 3,2% mocy znamionowej, co się pokrywa z wartością  $\delta_0$  znaną wyżej.

Wyznaczając straty przy hamowaniu elektrycznym, przyjmujemy, iż są one w przybliżeniu takie same, jak przy pracy silnikowej dla takiego samego obciążenia; ponieważ straty mechaniczne pozostaną bez zmian, straty w żelazie zmieniają się znikomo, gdyż obroty wirnika wzrosną o kilka procentów przy przejściu do prędkości nad-synchronicznej, straty zaś w żelazie wirnika są znikome przy małych poślizgach; straty w miedzi są takie same dla obydwu wypadków przy jednakowych obciążeniach.

Gdy wzbudnica jest sprzężona bezpośrednio z wałem przetwornicy Leonarda, na wykresie mocy silnika należy również uwzględnić moc pobieraną przez wzbudnicę. Po wyznaczeniu strat silnika należy sprawdzić go również według średnich strat.

Po wyznaczeniu mocy silnika napędowego należy sprawdzić jego przeciążenie. Przeciążenie dopuszczalne:

$$c_0 = c_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_n} \leq 1,8.$$

Chociaż moment maksymalny silnika asynchronicznego osiąga większe wartości, to jednak wobec występujących spadków napięcia przy rozruchu i wywołanego dzięki temu zmniejszenia momentu maksymalnego nie należy przekraczać wymienionej liczby.

## 5. Wzbudnica.

Wzbudnica pracuje przy stałych obrotach. Moc wzbudnicy zużywa się w obwodzie wzbudzenia silnika wyciągowego oraz w obwodzie wzbudzenia prądnicy sterującej. Moc wzbudzenia silnika wyciągowego pozostaje stała

w ciągu całego okresu ruchu, przy postoju zaś redukuje się o połowę lub też następuje całkowite wyłączenie obwodu wzbudzenia silnika.

Moc wzbudzenia prądnicy sterującej jest proporcjonalna do natężenia prądu w tym obwodzie, ponieważ napięcie na zaciskach wzbudnicy jest stałe, regulacja zaś prądu wzbudzenia prądnicy sterującej odbywa się za pomocą opornicy aparatu sterującego. W ten sposób moc wzbudzenia zmienia się proporcjonalnie do prędkości podnoszenia, tzn. jest proporcjonalna do  $b$ .

Chwilową moc pobieraną przez wzbudnicę obliczymy jako sumę chwilowych mocy obwodów wzbudzenia silnika wyciągowego i prądnicy sterującej, podzieloną przez sprawność wzbudnicy. Moc zastępczą wzbudnicy możemy wyznaczyć z wykresu mocy wzbudzenia silnika wyciągowego wraz z mocą wzbudzenia prądnicy sterującej.

## 6. Pozostałe odbiorniki.

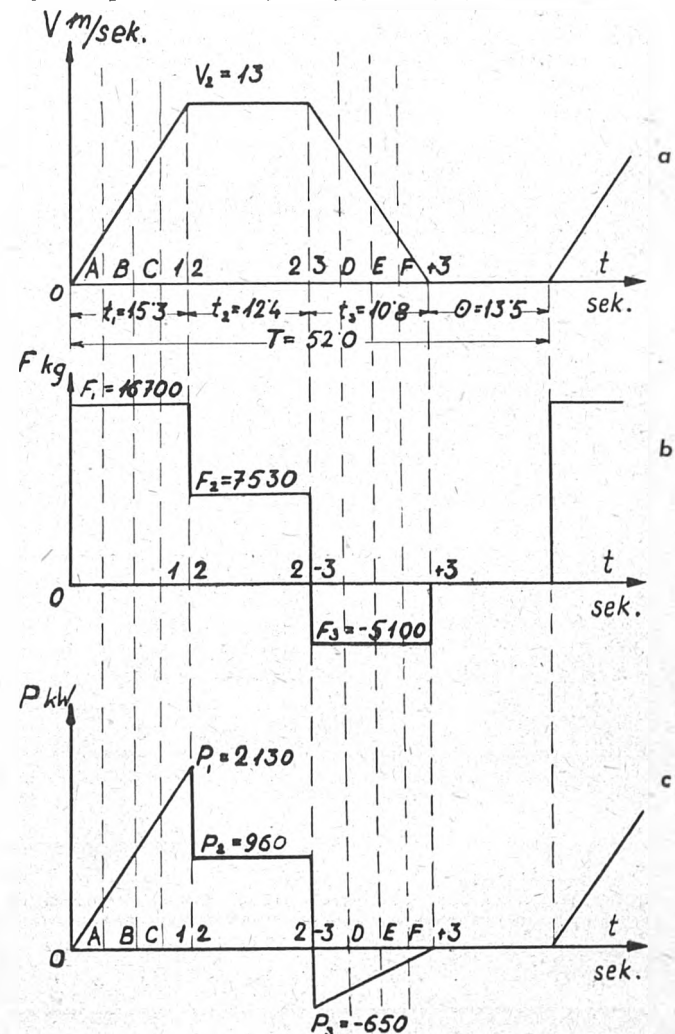
Ponieważ maszyny wyciągowe posiadają zwykle sprzężarki do zasilania hamulców powietrznych oraz różnego rodzaju styczniki i przekładniki, należy obliczyć jeszcze zużycie energii przez te odbiorniki.

W przybliżeniu można przyjąć, iż zużycie energii przez wymienione odbiorniki wynosi około 1% zużycia energii dla całej maszyny wyciągowej, ponieważ zaś błąd tolerowany przy obliczeniach mocy układu Leonarda zwykle przekracza wymienioną liczbę, przeto zużycie energii przez pozostałe odbiorniki możemy pominąć.

## II. PRZYKŁAD LICZBOWY

### 7. Dane przykładu.

Za podstawę obliczeń przyjmujemy wykresy na rys. 3. Rys. 3a przedstawia wykres prędkości, rys. 3b — wykres



Rys. 3. Wykres prędkości, siły na bębnie i mocy

sił pociągowych na obwodzie bębna, rys. 3c — wykres mocy na bębnie,

Celem ułatwienia orientacji wprowadzamy oznaczenia punktów pracy (rys. 3), mianowicie: początek tachogramu 0, koniec okresu rozruchu 1, ruch ustalony 2÷2, początek okresu hamowania —3, koniec okresu hamowania +3, postój  $\Theta$ .

Dane maszyny wyciągowej  
Średnica bębna  $D_b = 6$  m.  
Prędkość ustalona podnoszenia  $v_2 = 13$  m/sek.  
Liczba obrotów bębna

$$n_b = \frac{v \cdot 60}{\pi D_b} = \frac{13 \cdot 60}{3,14 \cdot 6} = 41 \text{ obr./min.}$$

Przekładnia kół zębatach  $i = \frac{350}{41} = 8,5$ .

Przyjmujemy tu dla silnika 350 obr./min., gdyż zwykle szybkoobrotowe silniki wyciągowe są wykonywane na podobną liczbę obrotów.

Możemy zastosować pojedynczą przekładnię; sprawność pojedynczej przekładni zębatej wynosi  $\eta_z = 0,98$ .

Ciężar użyteczny  $Q = 6300$  kG.

Wysokość podnoszenia  $H = 330$  m.

Maszyna z liną wyrównawczą.

W wypadku, gdy przy rozruchu przyjmujemy stałe przyspieszenie, jak to przedstawia wykres na rys. 3, można ograniczyć się do wyznaczenia natężenia prądu tylko dla następujących punktów:

- początek okresu rozruchu,  $v = 0$ ,
- koniec okresu rozruchu,  $v = v_2 = v_{\max}$ ; przy  $F_1 = F_2 + m \frac{dv}{dt}$  (gdzie  $m$  — zredukowana masa części w ruchu);
- okres biegu ustalonego;
- początek okresu hamowania, przy  $v = v_2$ ,  $F_3 = F_2 - m \frac{dv}{dt}$ ;
- koniec okresu hamowania, przy  $v = 0$ .

Natomiast dla tachogramu z parabolicznym przebiegiem prędkości w okresie przyspieszenia należy wybrać jeszcze kilka punktów, zwykle 3—4 na odcinku  $t_1$  (rys. 3). Dla tych punktów należy wyznaczyć wartości prędkości, siły pociągowej oraz mocy, po czym obliczamy prądy obciążenia. W przykładzie niniejszym również bierzemy trzy punkty pomocnicze, lecz wyłącznie do wyznaczenia strat w żelazie.

### 8. Silnik wyciągowy.

a) Wyznaczenie mocy

Moc zastępczą znajdziemy ze wzoru:

$$P_z = \frac{F_z v_2}{102},$$

gdzie zastępcza siła pociągowa silnika przeliczona na obwód bębna

$$F_z = \sqrt{\frac{(F_1^2 t_1 + F_2^2 t_2)}{\eta_z^2} + F_3^2 t_3 \eta_z^2} \cdot \frac{1}{\alpha_1 t_1 + t_2 + \alpha_1 t_3 + \alpha_2 \Theta},$$

gdzie  $F_1, F_2, F_3$  — siły pociągowe w kG na bębnie dla poszczególnych okresów ruchu;  $t_1, t_2, t_3$  — okresy ruchu według tachogramu (rys. 3a),  $\Theta$  — postój (pauza),  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  — współczynniki ( $\leq 1$ ) uwzględniające pogorszenie się warunków

$$I_1 = \frac{135000}{2} - \sqrt{\left(\frac{135000}{2}\right)^2 - (1420 \cdot 10^3 \cdot 1,54 + 29 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3) \frac{1}{3,7 \cdot 10^{-3}}} = 4630 \text{ amp.}$$

ków chłodzenia przy postoju oraz w okresie rozruchu i hamowania, jeżeli nie jest stosowane obce chłodzenie silnika

$$I_2 = \frac{135000}{2} - \sqrt{\left(\frac{135000}{2}\right)^2 - (1420 \cdot 10^3 \cdot 0,69 + 29 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3) \frac{1}{3,7 \cdot 10^{-3}}} = 2090 \text{ amp.}$$

ka [3]. Można przyjąć  $\alpha_1 = \frac{2}{3} \div \frac{3}{4}$ ,  $\alpha_2 = \frac{1}{2}$ .

Pierwsze dwa wyrazy pod pierwiastkiem należy podzielić przez sprawność  $\eta_z$ , ponieważ okresy  $t_1$  i  $t_2$  odpowiadają pracy silnikowej, trzeci zaś wyraz należy pomnożyć przez sprawność

$\eta_z$ , ponieważ w okresie  $t_3$  następuje hamowanie, a więc energii do silnika dostarczają masy rozpedzone.

Zastępcza siła pociągowa wyniesie:

$$F_z = \sqrt{\frac{(16,7^2 \cdot 15,3 + 7,53^2 \cdot 12,4) \frac{1}{0,98^2} + 5,1^2 \cdot 10,8 \cdot 0,98^2}{\frac{2}{3} \cdot 15,3 + 12,4 + \frac{2}{3} \cdot 10,8 + \frac{1}{2} \cdot 13,5}} \cong 11,1 \text{ ton}$$

lub  $F_z = 11100$  kG.

Przeciążenie silnika przy rozruchu wyniesie:

$$a_0 = \frac{F_1}{F_z} = \frac{16700}{11100} = 1,54 < 2.$$

Moc zastępcza:

$$P_z = \frac{11100 \cdot 13}{102} = 1420 \text{ kW.}$$

Bierzemy silnik o mocy znamionowej  $P_n = P_z = 1420$  kW,  $n = 350$  obr./min.,  $U_n = 5000$  woltów,  $I_n = 3000$  amp.,  $\eta_n = 0,94$ .

Ponieważ obraliśmy silnik o mocy znamionowej równej mocy zastępczej, więc  $F_z = F_n = 11100$  kG.

Straty łączne wyniosą (wzór 15)

$$\Delta P_n = \frac{1 - 0,94}{0,94} \cdot 1420 = 91 \text{ kW.}$$

Rozdział strat dla warunków znamionowych (według tabl. I):

$$\begin{aligned} \Delta P_m &\cong 29 \text{ kW} \\ \Delta P_{\text{cun}} &= I_n^2 R_w = 32 \text{ kW} \\ \Delta P_{\text{wz}} &= 12 \text{ kW} \\ \Delta P_{\text{fe}} &= 18 \text{ kW} \\ \text{razem} &91 \text{ kW} \end{aligned}$$

Moc znamionowa pobierana łącznie z wzbudzeniem wyniesie

$$P'_n = 1420 + 91 = 1511 \text{ kW.}$$

Moc znamionowa pobierana przez obwód wirnika (bez wzbudzenia):

$$P''_n = 1420 + (29 + 32 + 18) = 1499 \text{ kW.}$$

Sprawność obwodu wirnika (bez wzbudzenia):

$$\eta_w = \frac{1420}{1499} = 0,95.$$

Opór obwodu wirnika

$$R_w = \frac{\Delta P_{\text{cun}}}{I_n^2} = \frac{32 \cdot 10^3}{3000^2} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ omów.}$$

Prąd zwarcia przy napięciu znamionowym:

$$I_{\text{kn}} = \frac{U_n}{R_w} = \frac{500}{3,7 \cdot 10^{-3}} = 135000 \text{ amp.}$$

b) Obliczenie natężenia prądu dla poszczególnych punktów pracy

Koniec okresu przyspieszenia. Ze wzorów (3'), (4) i (10) dla pracy silnikowej znajdziemy:

$$a = \frac{F_1}{F_n \eta_z} = \frac{16700}{11100 \cdot 0,98} = 1,54, \quad b = 1.$$

Okres ruchu ustalonego (praca silnikowa).

$$a = \frac{F_2}{F_n \eta_z} = \frac{7530}{11100 \cdot 0,98} = 0,69, \quad b = 1.$$

Początek okresu hamowania (praca prądnicowa). Ze wzoru (21):

$$|a| = \frac{5100 \cdot 0,98}{11100} = 0,466, \quad b = 1.$$

$$I_{go} = -\frac{135000}{2} + \sqrt{\left(\frac{135000}{2}\right)^2 - (1420 \cdot 10^3 \cdot 0,466 - 29 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3) \frac{1}{3,7 \cdot 10^{-3}}} = -1200 \text{ amp.}$$

Początek okresu rozruchu ( $v = 0$ ). Oddawany moment rozruchowy przeliczony na wał silnika wyniesie:

$$M_a = \frac{F_1 R_b}{\eta_z i} = \frac{16700 \cdot 3}{0,98 \cdot 8,5} = 6015 \text{ kGm,}$$

gdzie  $R_b = \frac{D_b}{2}$  = promień bębna;  $R_b = \frac{6}{2} = 3 \text{ m.}$

Moment strat mechanicznych:

$$\Delta M_m = 975 \frac{29}{350} = 80 \text{ kGm.}$$

Całkowity moment obrotowy silnika:

$$M'_{un} = 975 \cdot \frac{1420}{350} + 975 \cdot \frac{18}{350} + 975 \cdot \frac{29}{350} = 4090 \text{ kGm.}$$

Stała maszyny według wzoru (12):

$$c\Phi = \frac{4090}{3000} = 1,36 \text{ kGm/amp.}$$

Natężenie prądu przy rozruchu (przy  $v = 0$ ) ze wzorów (18) i (19):

$$M'_a = M_a + \Delta M_m$$

$$M'_a = 6015 + 80 = 6095$$

$$I_a = \frac{6095}{1,36} = 4475 \text{ amp.}$$

Koniec okresu hamowania ( $v = 0$ ) (praca prądnicowa). Ze wzorów (23), (14) oraz (16) otrzymamy: oddawany moment hamujący, przeliczony na wał silnika wyciągowego:

$$M_{gu} = \frac{F_3 \cdot R_b}{i} \eta_z = \frac{-5100 \cdot 3}{8,5} \cdot 0,98 = -1760 \text{ kGm,}$$

gdzie  $F_3$  — siła hamowania.

$$\Delta M_m = 80 \text{ kGm,}$$

$$M'_g = -1760 + 80 = -1680 \text{ kGm.}$$

$$I_{gk} = \frac{M'_g}{c\Phi} = -\frac{1680}{1,36} = -1230 \text{ amp.}$$

Natężenie prądu dla innych punktów pracy, tj. gdy  $v \neq 0$ , również można obliczyć z momentów silnika, nie zaś ze wzorów (10) i (21). Wtedy korzystamy ze wzorów

Dla porównania obydwu metod, znajdziemy prąd dla końca okresu rozruchu, okresu biegu ustalonego oraz początku okresu hamowania ze wzorów na momenty.

Koniec okresu rozruchu. Moment oddawany silnika  $M_{au} = 6000 \text{ kGm}$  (ob. wyżej). Moment strat mechanicznych jest stały ( $\Delta M_m = 80 \text{ kGm}$ ). Moment strat w żelazie

$$\Delta M_{fe} = \Delta M_{fen} \cdot b^2 = 975 \frac{P_{fen}}{n_n} b^2 = 975 \frac{18}{350} = 50 \text{ kGm,}$$

przy tym  $b = 1$ .

Moment całkowity:

$$M'_1 = M_{au} + \Delta M_m + \Delta M_{fe} = 6015 + 80 + 50 = 6130 \text{ kGm.}$$

Natężenie prądu:

$$I_1 = \frac{M'_1}{c\Phi} = \frac{6130}{1,36} = 4520 \text{ amp.}$$

W porównaniu z wynikiem otrzymanym ze wzoru (10) błąd względny wyniesie:

$$\frac{(4630 - 4520) 100}{4630} = 2,4\%.$$

Okres ruchu ustalonego. Moment oddawany silnika:

$$M_2 = \frac{F_2 R_b}{i \eta_z} = \frac{7530 \cdot 3}{8,5 \cdot 0,98} = 2710 \text{ kGm.}$$

Moment strat jak wyżej. Moment całkowity:

$$M'_2 = 2710 + 80 + 50 = 2840 \text{ kGm.}$$

Natężenie prądu:  $I_2 = \frac{2840}{1,36} = 2080 \text{ amp.}$

Błąd względny w porównaniu z wynikiem według wzoru (10):

$$\frac{2090 - 2080}{2090} = 0,48\%.$$

Początek okresu hamowania. Moment oddawany silnika  $M_{gu} = -1760 \text{ kGm}$ . Moment strat jak wyżej. Moment całkowity:

$$M'_{3b} = -1760 + 80 + 50 = -1630 \text{ kGm.}$$

Tablica IV. Zestawienie strat silnika wyciągowego

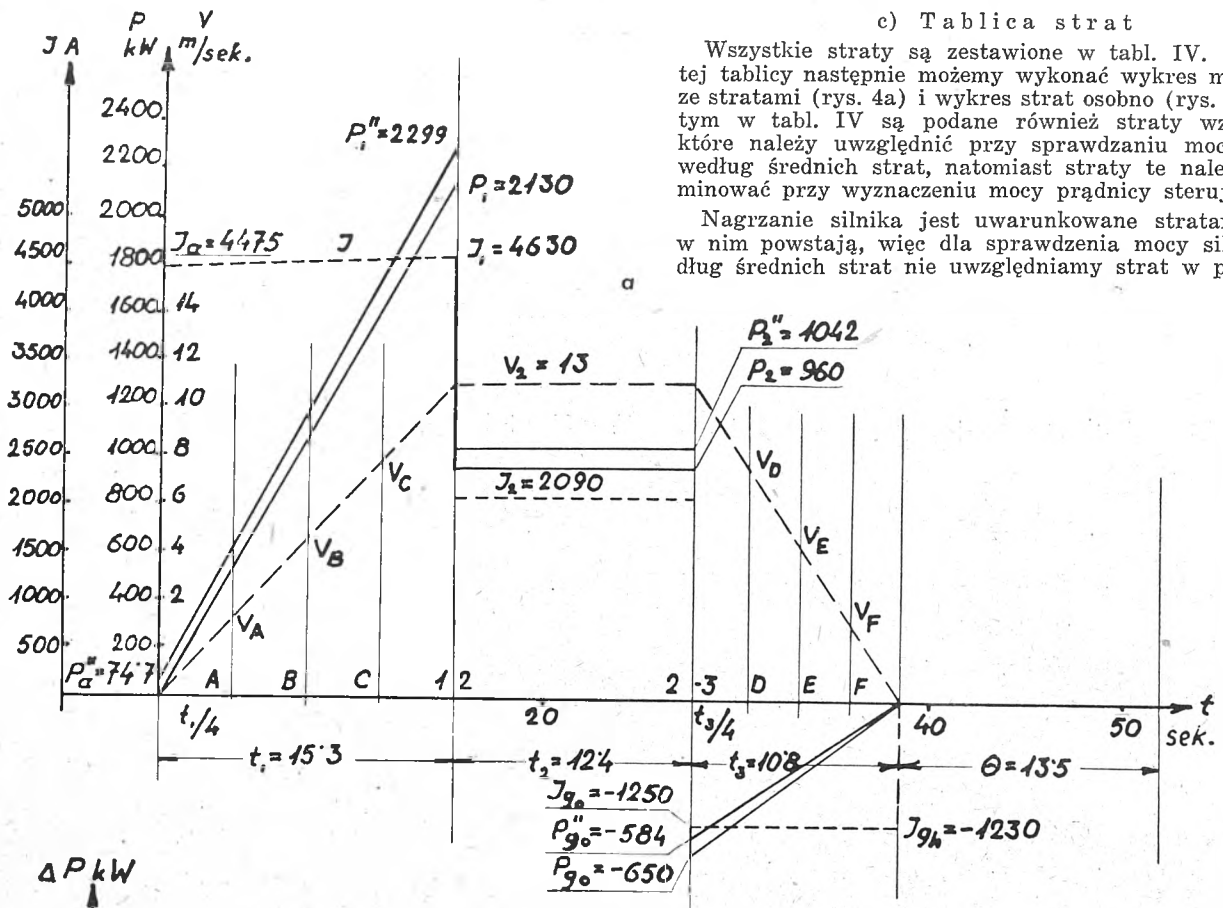
| L. p. | Punkt pracy | Moc na bębnie $P_x$ | Straty w przekładni 0,02 $P_x$ | Prąd $I_x$ | Straty w miedzi $\Delta P_{cu} = I_x^2 R_w$ | Prędkość $v_x$ | $b = \frac{v_x}{s_n}$ | $b^2$ | Straty w żelazie $\Delta P_{fex} = \Delta P_{fen} b^2$ | Straty mech. silnika $\Delta P_m = \Delta P_{mn} \cdot b$ | Suma strat z rubr. 4, 6, 10, 11 (bez wzbudzenia) $\sum \Delta P''$ | Straty wzbudzenia $\Delta P_{wz}$ | Suma strat siln. (bez strat przekł.) $\sum \Delta P'$ | Moc pobier. na obw. wirnika $P'_x = P_x + \sum \Delta P''$ | Uwagi   |
|-------|-------------|---------------------|--------------------------------|------------|---|----------------|-----------------------|-------|--|---|--|-----------------------------------|---|--|---|
|       |             | kW                  | kW                             | A          | kW  |                |                       |       | m/sek.   | kW  | kW   | kW                                | kW  | kW   |   |
| 1     | 2           | 3                   | 4                              | 5          | 6   | 7              | 8                     | 9     | 10   | 11  | 12   | 13                                | 14  | 15   | 16  |
| 1     | O           | 0                   | 0                              | 4475       | 74,5  | 0              | 0                     | 0     | 0  | 0   | 74,7   | 12,0                              | 86,7  | 74,7   | Dla punktów A, B, C, D, E i F można nie wyznaczać $I_x$ , $\Delta P_{cu}$ ani $\Delta P_m$ w wypadku tachogr. ze stałym przyspiesz. Wartości sumy strat dla punktów B i E są wyznaczone wykreślnie (według rys. 4b) |
| 2     | A           |                     |                                |            |   | 3,2            | 0,246                 | 0,061 | 1,10   |   |  |                                   |   |  |   |
| 3     | B           |                     |                                |            |   | 6,4            | 0,492                 | 0,242 | 4,35   |   |  |                                   | 108,0   |  |   |
| 4     | C           |                     |                                |            |   | 9,6            | 0,738                 | 0,545 | 9,80   |   |  |                                   |   |  |   |
| 5     | 1           | 2130                | 42,6                           | 4630       | 79,4  | 13,0           | 1,0                   | 1,0   | 18,0   | 29,0  | 169,0  | 12,0                              | 138,4   | 2299,0   |   |
| 6     | 2-2         | 960                 | 19,2                           | 2090       | 16,2  | 13,0           | 1,0                   | 1,0   | 18,0   | 29,0  | 82,4   | 12,0                              | 75,2  | 1042,0   |   |
| 7     | -3          | -650                | 13,0                           | -1250      | 5,8   | 13,0           | 1,0                   | 1,0   | 18,0   | 29,0  | 66,3   | 12,0                              | 64,8  | -584,0   |   |
| 8     | D           |                     |                                |            |   | 9,6            | 0,738                 | 0,545 | 9,8  |   |  |                                   |   |  |   |
| 9     | E           |                     |                                |            |   | 6,4            | 0,492                 | 0,242 | 4,35   |   |  |                                   | 37,0  |  |   |
| 10    | F           |                     |                                |            |   | 3,2            | 0,246                 | 0,061 | 1,10   |   |  |                                   |   |  |   |
| 11    | +3          | 0                   | 0                              | -1230      | 5,6   | 0              | 0                     | 0     | 0  | 0   | 5,6  | 12,0                              | 17,6  | 5,6  |   |
| 12    | ⊖           | 0                   | 0                              | 0          | 0   | 0              | 0                     | 0     | 0  | 0   | 0  | 6,0                               | 6,0   | 0  |   |

(13), (14), (16), (17) i (23); przy tym gdy  $v \neq 0$ , należy uwzględnić również momenty strat w żelazie według wzoru (6).

Natężenie prądu:

$$I_{go} = -\frac{1630}{1,36} = -1200 \text{ amp.}$$

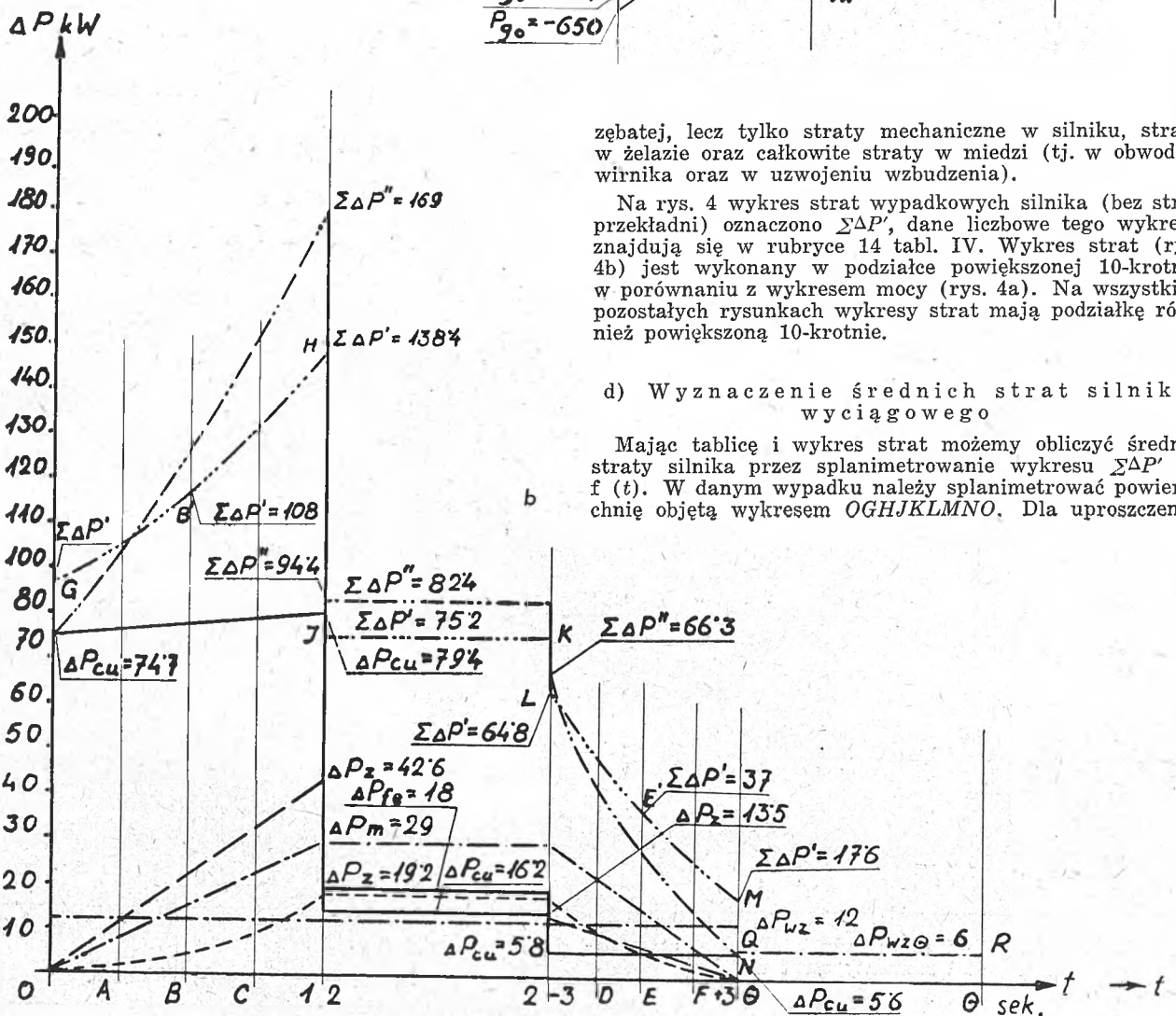




c) Tablica strat

Wszystkie straty są zestawione w tabl. IV. Z danych tej tablicy następnie możemy wykonać wykres mocy wraz ze stratami (rys. 4a) i wykres strat osobno (rys. 4b). Przy tym w tabl. IV są podane również straty wzbudzenia, które należy uwzględnić przy sprawdzaniu mocy silnika według średnich strat, natomiast straty te należy wyeliminować przy wyznaczeniu mocy prądnicy sterującej.

Nagrzanie silnika jest uwarunkowane stratami, które w nim powstają, więc dla sprawdzenia mocy silnika według średnich strat nie uwzględniamy strat w przekładni



zębatej, lecz tylko straty mechaniczne w silniku, straty w żelazie oraz całkowite straty w miedzi (tj. w obwodzie wirnika oraz w uzwojeniu wzbudzenia).

Na rys. 4 wykres strat wypadkowych silnika (bez strat przekładni) oznaczono  $\Sigma \Delta P'$ , dane liczbowe tego wykresu znajdują się w rubryce 14 tabl. IV. Wykres strat (rys. 4b) jest wykonany w podziale powiększonej 10-krotnie w porównaniu z wykresem mocy (rys. 4a). Na wszystkich pozostałych rysunkach wykresy strat mają podziałkę również powiększoną 10-krotnie.

d) Wyznaczenie średnich strat silnika wyciągowego

Mając tablicę i wykres strat możemy obliczyć średnie straty silnika przez splanimetrowanie wykresu  $\Sigma \Delta P' = f(t)$ . W danym wypadku należy splanimetrować powierzchnię objętą wykresem OGHJKLMNO. Dla uproszczenia

Rys. 4. Wykres mocy i strat silnika wyciągowego

możemy przyjąć, iż powierzchnia składa się z pewnej liczby powierzchni elementarnych: trapezów oraz prostokątów. Wtedy ze wzorów (23) i (24) otrzymamy:

Moc prądnicy dla  $U_n = 500$  V:  
 $P_{gz} = 2300 \cdot 500 = 1150$  kW.

$$\Delta P_{sr} = \frac{1}{2}(86,7 + 108) \frac{15,3}{2} + \frac{1}{2}(108 + 133,4) \frac{15,3}{2} + 75,2 \cdot 12,8 + \left(\frac{64,8 + 37}{2}\right) \frac{10,8}{2} + \frac{37 + 17,6}{2} \cdot \frac{10,8}{2} + 6 \cdot 13,5 = 82 \text{ kW.}$$

Straty dla warunków znamionowych, obliczone ze sprawności danego silnika, zostały podane wyżej; wynoszą one  $\Delta P_n = 91$  kW. Znaczący to, że dany silnik będzie wyzyskany w 90%. Natomiast średnie straty bez strat mechanicznych wyniosą 62,5 kW.

Przeciążenie w końcu okresu rozruchu:

$$c_o = \frac{2299}{1150} \approx 2.$$

Tablica V. Zestawienie strat prądnicy sterującej

| L. p. | Punkt pracy | Moc oddawana | Prąd obrotu wirnika $I_x$ | Straty w miedzi $\Delta P_{cu} = I_x^2 R_w$ | Prędkość podnoszenia $v_x$ | $b = \frac{v_x}{v_n}$ | $b^2$ | Straty w żelazie $\Delta P_{fe} = \Delta P_{fe} b^2$ | Straty mechan. prądnicy $\Delta P_m$ | Suma strat z rubr. 5, 9, 10 (bez wzbudzenia) $\sum \Delta P'_g$ | Moc prądn. pobierana (bez wzbudzenia) $P'_g = P_{gz} + \sum \Delta P'_g$ | Straty wzbudz. $\Delta P_{wz} = \Delta P_{wzn} \cdot b$ | Suma strat ze wzbudz. $\sum \Delta P''_g$ | Uwagi                   |
|-------|-------------|--------------|---------------------------|---|----------------------------|-----------------------|-------|--|--------------------------------------|---|--|---|---|-------------------------|
|       |             | kW           |                           |   |                            |                       |       |  |                                      |   |  |   |   |                         |
| 1     | 2           | 3            | 4                         | 5   | 6                          | 7                     | 8     | 9  | 10                                   | 11  | 12   | 13  | 14  | 15                      |
| 1     | O           | 74,7         | 4475                      | 82,0  | 0                          | 0                     | 0     | 0  | 18                                   | 100,0   | 174,7  | 0,2   | 100,2                                     | Patrz uwagi w tabl. IV. |
| 2     | A           |              |                           |   | 3,2                        | 0,246                 | 0,061 | 0,73   | 18                                   |   |  |   |   |                         |
| 3     | B           |              |                           |   | 6,4                        | 0,492                 | 0,242 | 2,93   | 18                                   |   |  |   |   |                         |
| 4     | C           |              |                           |   | 9,6                        | 0,738                 | 0,545 | 6,55   | 18                                   |   |  |   |   |                         |
| 5     | 1           | 2299         | 4630                      | 88,0  | 13,0                       | 1,0                   | 1,0   | 12,0   | 18                                   | 118,0   | 2417,0   | 6,0   | 124,0                                     |                         |
| 6     | 2-2         | 1042         | 2090                      | 18,0  | 13,0                       | 1,0                   | 1,0   | 12,0   | 18                                   | 48,0  | 1090,0   | 6,0   | 54,0                                      |                         |
| 7     | -3          | -584         | -1250                     | 6,4   | 13,0                       | 1,0                   | 1,0   | 12,0   | 18                                   | 36,4  | -584,0   | 6,0   | 42,4                                      |                         |
| 8     | D           |              |                           |   | 9,6                        | 0,738                 | 0,545 | 6,55   | 18                                   |   |  |   |   |                         |
| 9     | E           |              |                           |   | 6,4                        | 0,492                 | 0,242 | 2,93   | 18                                   |   |  |   |   |                         |
| 10    | F           |              |                           |   | 3,2                        | 0,246                 | 0,061 | 0,73   | 18                                   |   |  |   |   |                         |
| 11    | +3          | 5,6          | -1230                     | 6,2   | 0                          | 0                     | 0     | 0  | 18                                   | 24,2  | 29,8   | 0   | 24,2                                      |                         |
| 12    | 0           | 0            | 0                         | 0   | 0                          | 0                     | 0     | 0  | 18                                   | 18,0  | 18,0   | 0   | 18,0                                      |                         |

Straty znamionowe bez strat mechanicznych wyniosą:

$$\Delta P_n - \Delta P_m = 91 - 29 = 62 \text{ kW,}$$

czyli przy sprawdzeniu według tej metody wyzyskanie silnika  $\approx 100\%$ .

9. Prądnica sterująca.

a) Wyznaczenie mocy prądnicy

Moc zastępczą prądnicy wyznaczmy według prądu zastępczego:

$$P_{gz} = I_z U_n,$$

prąd zaś zastępczy  $I_z$  znajdzie się z wykresu prądu (rys. 4a):

$$I_z = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(I_a^2 + I_1^2 + I_a I_1) t_1 + I_2^2 t_2 + \frac{1}{3}(I_{go}^2 + I_{gk}^2 + I_{go} I_{gk}) t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + \theta}}$$

- gdzie  $I_a$  — natężenie prądu w początku okresu rozruchu (= 4475 A),
- $I_1$  — natężenie prądu w końcu okresu rozruchu (= 4630 A),
- $I_2$  — natężenie prądu w okresie prędkości ustalonej (= 2090 A),
- $I_{go}$  — natężenie prądu w początku okresu hamowania (= -1250 A),
- $I_{gk}$  — natężenie prądu w końcu okresu hamowania (= -1230 A).

Ponieważ prądnica sterująca pracuje stale z jednakową prędkością, w mianowniku wzoru na prąd zastępczy przyjmujemy całkowite wartości  $t_1, t_3$  oraz  $\theta$ .

Ostatecznie otrzymamy:

$$I_z = \sqrt{\frac{1}{3}(4475^2 + 4630^2 + 4475 \cdot 4630) \cdot 15,3 + 2090^2 \cdot 12,4 + \frac{1}{3}(1250^2 + 1230^2 + 1250 \cdot 1230) \cdot 10,8} = 2300 \text{ amp.}$$

b) Straty prądnicy sterującej

Z tabl. I otrzymamy podział strat prądnicy. Jak zaznaczyliśmy wyżej, sprawność prądnicy przyjmujemy nieco wyższą niż silnika wyciągowego, niech więc

$$\eta_n = 0,95.$$

Moc pobierana przez prądnicę dla warunków znamionowych wyniesie

$$P'_g = \frac{1150}{0,95} = 1210 \text{ kW.}$$

Całkowite straty znamionowe (15)

$$\Delta P_n = \frac{1 - 0,95}{0,95} \cdot 1150 = 60 \text{ kW.}$$

Podział strat prądnicy:

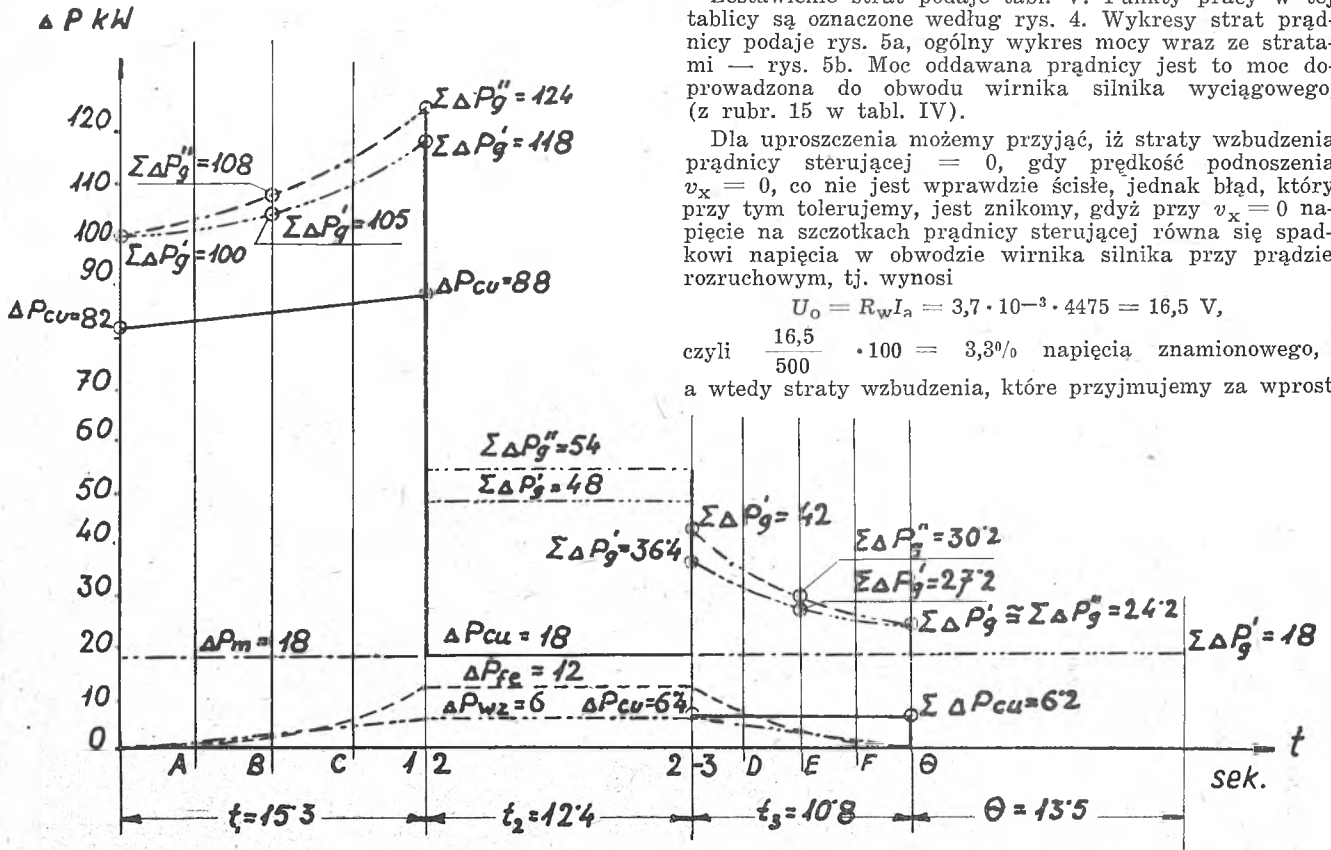
|                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| $\Delta P_m =$                      | 18 kW         |
| $\Delta P_{cu} = I_n^2 R_w =$       | 24 kW         |
| $\Delta P_{wz} = 0,05 \cdot 1150 =$ | 6 kW          |
| $\Delta P_{fe} =$                   | 12 kW         |
| <b>Razem</b>                        | <b>60 kW.</b> |

Prąd znamionowy:

$$I_n = \frac{1150 \cdot 10^3}{500} = 2420 \text{ amp,}$$

a opór wirnika

$$R_w = \frac{24 \cdot 10^3}{2420^2} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ omów.}$$



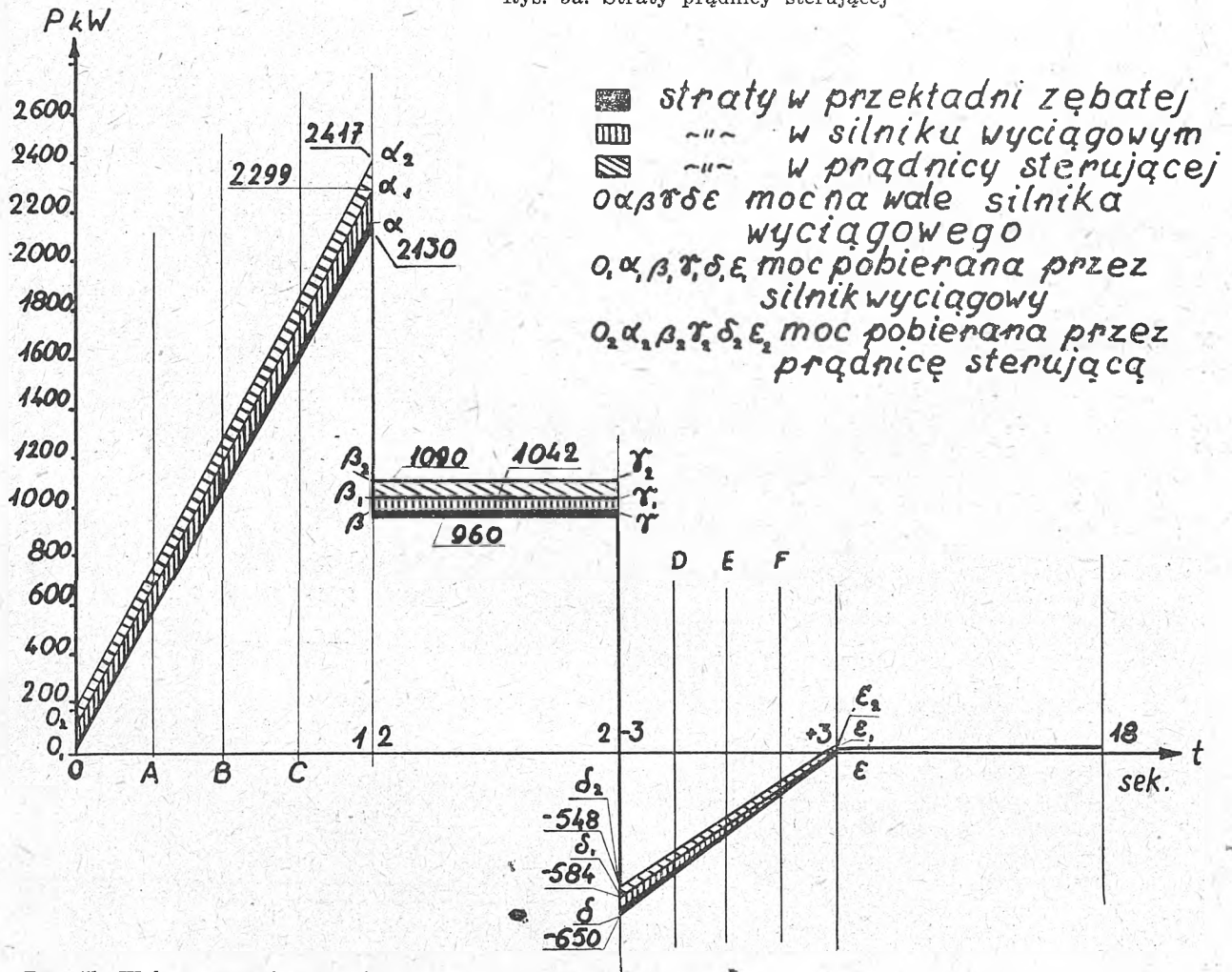
Rys. 5a. Straty prądnicy sterującej

Zestawienie strat podaje tabl. V. Punkty pracy w tej tabelicy są oznaczone według rys. 4. Wykresy strat prądnicy podaje rys. 5a, ogólny wykres mocy wraz ze stratami — rys. 5b. Moc oddawana prądnicy jest to moc doprowadzona do obwodu wirnika silnika wyciągowego, (z rubr. 15 w tabl. IV).

Dla uproszczenia możemy przyjąć, iż straty wzbudzenia prądnicy sterującej = 0, gdy prędkość podnoszenia  $v_x = 0$ , co nie jest wprawdzie ściśle, jednak błąd, który przy tym tolerujemy, jest znikomy, gdyż przy  $v_x = 0$  napięcie na szczytkach prądnicy sterującej równa się spadkowi napięcia w obwodzie wirnika silnika przy prądzie rozruchowym, tj. wynosi

$$U_0 = R_w I_a = 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 4475 = 16,5 \text{ V,}$$

czyli  $\frac{16,5}{500} \cdot 100 = 3,3\%$  napięcia znamionowego, a wtedy straty wzbudzenia, które przyjmujemy za wprost



Rys. 5b. Wykres mocy i strat układu Leonarda



proporcjonalne do napięcia na szczotkach silnika wyciągowego (lub też na szczotkach prądnicy sterującej), wynoszą:

$$\Delta P_{wzo} = 3,3 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta P_{wzn} = 3,3 \cdot 10^{-2} \cdot 6 = 0,2 \text{ kW.}$$

Średnie straty prądnicy sterującej znajdują się z wykresu  $\Sigma \Delta P''$  (rys. 5a):

$$\Delta P''_{sr} = \frac{100,2 + 108}{2} \cdot \frac{15,3}{2} + \frac{108 + 124}{2} \cdot \frac{15,3}{2} + 54 \cdot 12,4 + \frac{42 + 30,2}{2} \cdot \frac{10,8}{2} + \frac{(30,2 + 24,2)}{2} \cdot \frac{10,8}{2} + 18 \cdot 13,5 = 57 \text{ kW.}$$

Straty znamionowe wynoszą 60 kW, a więc dana prądnicą może być zastosowana.

10. Wzbudnica.

Moc wzbudnicy wyznaczamy w danym wypadku przed obliczeniem silnika napędzającego przetwornicę, gdyż przyjmujemy, że wzbudnica jest sprzężona z wałem przetwornicy, czyli że silnik napędowy obraca jednocześnie wzbudnicę.

Dla uproszczenia możemy przyjąć, że ciągła moc wzbudnicy równa się sumie największych mocy wzbudzenia prądnicy sterującej i wzbudzenia silnika wyciągowego.

Wtedy moc oddawana wzbudnicy wyniesie:

$$P_{wz} = 12 + 6 = 18 \text{ kW.}$$

Możemy przyjąć stałą sprawność wzbudnicy  $\eta = 0,8$ .

11. Silnik napędowy przetwornicy.

Przyjmujemy, że napęd przetwornicy będzie wykonany za pomocą silnika asynchronicznego.

Moc oddawaną tego silnika otrzymamy z wykresu na rys. 6, który przedstawia przebieg mocy pobieranej przez

prądnicę sterującą wraz z mocą pobieraną przez wzbudnicę. Poszczególne punkty tego wykresu znajdziemy w tabl. VI. Rubryki 9, 10 i 11 tej tablicy mogą być wypełnione dopiero po wyznaczeniu mocy zastępczej silnika napędowego.

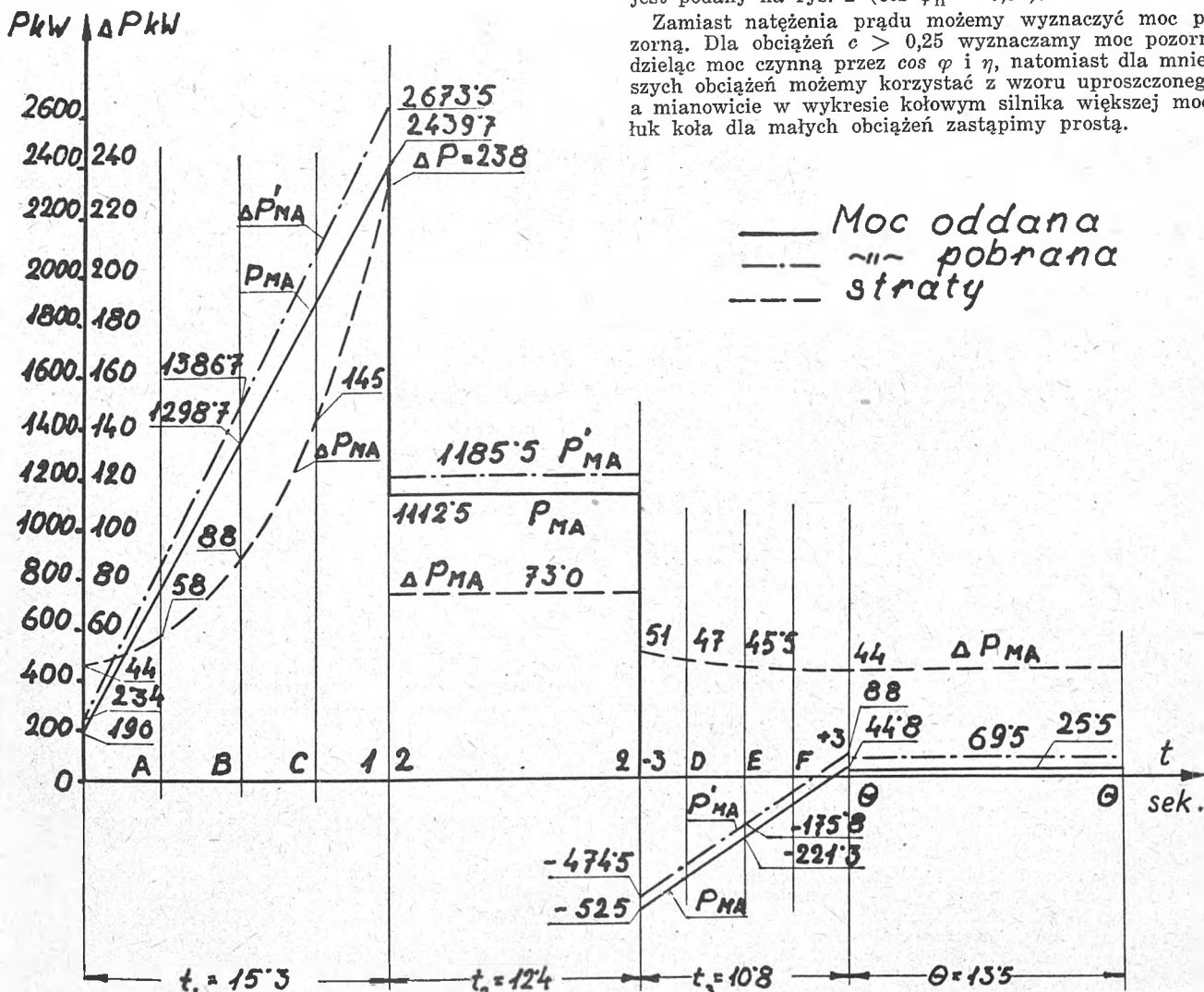
a) Moc zastępcza silnika

Przy obliczeniu mocy zastępczej silnika właściwie obliczamy prąd zastępczy, gdyż nagrzanie zależy od  $I^2R$ . W wypadku, gdy moc silnika jest proporcjonalna do natężenia prądu, możemy zastąpić wykres prądu wykresem mocy, wtedy wynik otrzymamy od razu w postaci mocy czynnej. W silniku asynchronicznym zależność liniowa pomiędzy mocą a natężeniem prądu jest zachowana tylko w granicach od ok. 0,6 do 2-krotnego obciążenia znamionowego. Dlatego też zaleca się od wykresu mocy oddawanej silnika asynchronicznego przejść do wykresu prądu.

Dla uproszczenia możemy obliczyć wartości natężeń prądu tylko dla kilku punktów: początku i końca okresu rozruchu, początku i końca okresu biegu ustalonego (w wypadku instalacji bez liny wyrównawczej), dla początku i końca okresu hamowania oraz dla okresu postoju maszyny wydobywczej. Możemy uważać, że pomiędzy wymienionymi punktami wykres mocy przebiega według prostych.

Do wyznaczenia natężeń prądu w poszczególnych punktach pracy musimy więc znać wartości  $\cos \varphi$  dla danych punktów pracy. Wykres  $\cos \varphi$  dla danego typu silników jest podany na rys. 2 ( $\cos \varphi_n = 0,89$ ).

Zamiast natężenia prądu możemy wyznaczyć moc pozorną. Dla obciążeń  $c > 0,25$  wyznaczamy moc pozorną dzieląc moc czynną przez  $\cos \varphi$  i  $\eta$ , natomiast dla mniejszych obciążeń możemy korzystać z wzoru uproszczonego, a mianowicie w wykresie kołowym silnika większej mocy łuk koła dla małych obciążeń zastąpimy prostą.



Rys. 6. Wykres strat i mocy (oddawanej i pobieranej) silnika napędowego

Wtedy moc pozorną możemy wyrazić:

$$P_p \cong \sqrt{P_o^2 + P_x^2}$$

gdzie  $P_p$  — szukana moc pozorną,  
 $P_o$  — moc pozorną biegu jałowego,  
 $P_x$  — moc czynna odpowiadająca danemu obciążeniu.  
 Pozorną moc biegu jałowego przyjmujemy

$$P_o \cong 0,3 \frac{P_n}{\cos \varphi_n \eta_n}$$

$$P_{oa} = \sqrt{340^2 + 190^2} = 390 \text{ kVA.}$$

$$P_a = 2440 \text{ kW,}$$

Możemy przyjąć:  $\eta_a = \eta_{st} = \eta_n$ , oraz  $\cos \varphi_a = \cos \varphi_{st} = \cos \varphi_n$ .

$$P_{st} = 1113 \text{ kW,}$$

$$P_b = -525 \text{ kW,}$$

$$|c| = 0,56,$$

$$\eta_b = 0,92, \quad \cos \varphi_b = 0,82.$$

Ostatecznie otrzymamy:

$$P_p = 100 \sqrt{\frac{1}{3} \left[ 3,9^2 + \left( \frac{24,4}{0,94 \cdot 0,89} \right)^2 + 3,9 \frac{24,4}{0,94 \cdot 0,89} \right] + 15,3 + 11,13^2 \cdot 12,4 + \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{5,25}{0,92 \cdot 0,82} \right)^2 + 3,4^2 + \frac{5,25}{0,92 \cdot 0,82} \cdot 3,4 \right] \cdot 10,8 + 3,4^2 \cdot 13,5} = 1260 \text{ kVA.}$$

Tablica VI. Zestawienie mocy przetwornicy wraz z silnikiem napędowym

| L. p. | Punkt pracy | Moc pobierana prądnicą sterującej $P'_g$ (z rubr. 12 tabl. V) | Straty wzbudzenia siln. wyc. $\Delta P_{wz}$ (z rubr. 13 tabl. IV) | Straty wzbudz. prądniczy ster. $\Delta P_{wz}$ (z rubr. 13 tabl. V) | Oddawana moc wzbudniczy $P_{wz}$ (z rubr. 4 i 5) | Pobierana moc wzbudniczy $P'_{wz} = \frac{P_{wz}}{\eta}$ | Wypadkowa moc oddawana siln. napęd. (na wale) $P_{MA} = P_g + P'_{wz}$ (z rubr. 3 i 7) | Względne obciążenie silnika napędowego $c = \frac{P_{MAX}}{P_{MAN}}$ | Straty silnika napędowego (z rys. 2) |   | Moc pobierana silnika napędowego $P'_{MA} = P_{MA} + \Delta P_{MA}$ (z rubr. 8 i 10) | Uwagi   |
|-------|-------------|---|--|---|--|--|--|--|--------------------------------------|---|--|---|
|       |             | kW  | kW   | kW  | kW   | kW   | kW   | %  | straty względne $\delta$             | str. bezwzgl. $\Delta P_{MAN} = \delta P_{MAN}$ |  |   |
| 1     | 2           | 3   | 4  | 5   | 6  | 7  | 8  | 9  | 10a                                  | 10b   | 11   | 12  |
| 1     | O           | 174,7   | 12,0   | 0   | 12,0   | 15,0   | 190,0  | 0,14   | 3,2                                  | 44,0  | 234  | Wartości mocy pobieranej prądnicą sterującej $P'_g$ dla punktów A, B, C, D, E i F możemy znaleźć drogą wykreślną z rys. 5b. |
| 2     | A           | 760   | 12,0   | 1,5   | 13,5   | 17,0   | 777  | 0,56   | 4,2                                  | 58,0  | 835  |   |
| 3     | B           | 1280  | 12,0   | 3,0   | 15,0   | 18,7   | 1299   | 0,95   | 6,4                                  | 88,0  | 1387   |   |
| 4     | C           | 1880  | 12,0   | 4,5   | 16,5   | 21,0   | 1901   | 1,38   | 10,5                                 | 145,0   | 2046   |   |
| 5     | I           | 2417  | 12,0   | 6,0   | 18,0   | 22,5   | 2440   | 1,76   | 17,3                                 | 238,0   | 2674   |   |
| 6     | 2-2         | 1090  | 12,0   | 6,0   | 18,0   | 22,5   | 1113   | 0,81   | 5,3                                  | 73,0  | 1186   |   |
| 7     | -3          | -548  | 12,0   | 6,0   | 18,0   | 22,5   | -526   | 0,38   | 3,7                                  | 51,0  | -475   |   |
| 8     | D           | -390  | 12,0   | 4,5   | 16,5   | 21,0   | -369   | 0,27   | 3,4                                  | 47,0  | -322   |   |
| 9     | E           | -240  | 12,0   | 3,0   | 15,0   | 18,7   | -221   | 0,16   | 3,3                                  | 45,5  | -176   |   |
| 10    | F           | -110  | 12,0   | 1,5   | 13,5   | 17,0   | -93  | 0,07   | 3,2                                  | 44,0  | -49  |   |
| 11    | +3          | 29,8  | 12,0   | 0   | 12,0   | 15,0   | 44,8   | 0,03   | 3,2                                  | 44,0  | 88   |   |
| 12    | Θ           | 18,0  | 6,0  | 0   | 6,0  | 7,5  | 25,5   | 0,02   | 3,2                                  | 44,0  | 70   |   |

Przy obciążeniu  $c \leq 0,1$  możemy pomijać  $P_x$ , czyli od razu przyjąć  $P_p \cong P_o$ . Dla wyznaczenia mocy pozornej biegu jałowego należy jeszcze obliczyć przynajmniej przybliżoną wartość mocy znamionowej. Moc tę możemy wyznaczyć wprost z wykresu mocy oddawanej (rys. 6), przy tym moc w początku okresu rozruchu oraz przy postoju przyjmujemy = 0. Przy tych założeniach moc znamionowa w pierwszym przybliżeniu wynosi:

$$P_n = 100 \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 24,4^2 \cdot 15,3 + 11,1^2 \cdot 12,4 + \frac{1}{3} \cdot 5,3^2 \cdot 10,8} \cong 940 \text{ kW.}$$

Wzór na pozorną moc zastępczą dla wykresu przedstawionego na rys. 6 przybierze postać:

$$P_p = \sqrt{\frac{1}{3} \left[ P_{oa}^2 + \left( \frac{P_a}{\eta_a \cos \varphi_a} \right)^2 + P_{oa} \cdot \frac{P_a}{\eta_a \cos \varphi_a} \right] t_1 + \frac{P_{st}^2}{\eta_{st} \cos \varphi_{st}} t_2 + \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{P_b}{\eta_b \cos \varphi_b} \right)^2 + P_o^2 + \frac{P_b}{\eta_b \cos \varphi_b} P_o \right] t_3 + P_o^2 \Theta}$$

gdzie  $P_{oa}$  moc pozorną w początku okresu rozruchu (dla  $c < 0,25$ ),

$P_a$  moc czynna w końcu okresu rozruchu,

$P_{st}$  moc czynna okresu biegu ustalonego,

$P_b$  moc czynna początku okresu hamowania (dla  $c > 0,25$ ),

$P_o$  moc biegu jałowego (= mocy pozornej biegu jałowego).

$$P_o = 0,3 \cdot \frac{940}{0,89 \cdot 0,94} = 340 \text{ kVA,}$$

Moc zastępcza silnika

$$P_z = P_p \eta_n \cos \varphi_n = 1260 \cdot 0,94 \cdot 0,89 = 1050 \text{ kW.}$$

Przeciążenie silnika przy rozruchu

$$c_o = \frac{2440}{1050} = 2,35 > 1,8.$$

\*Należy powiększyć moc silnika do

$$P_{MAN} = \frac{2440}{1,8} = 1380 \text{ kW.}$$

b) Straty silnika

Z wykresu na rys. 2 obliczymy straty silnika dla poszczególnych punktów pracy. Straty są zestawione w tabl.

VI. Wykres strat jest przedstawiony na rys. 6. Na tym wykresie jest podana również krzywa oddawanej mocy silnika ( $P_{MA}$ ) oraz mocy pobieranej tegoż silnika ( $P'_{MA}$ ). Podziałka wykresu strat jest powiększona dziesięciokrotnie w porównaniu z podziałką wykresu mocy, jak to już zaznaczono wyżej.

Średnie straty silnika otrzymamy z rys. 6 według metody podanej wyżej:

$$\Delta P_{sr} = \frac{44+58}{2} \cdot \frac{15,3}{4} + \frac{58+88}{2} \cdot \frac{15,3}{4} + \frac{88+145}{2} \cdot \frac{15,3}{4} + \frac{145+238}{2} \cdot \frac{15,3}{4} + 73 \cdot 12,4 + \frac{51+45,5}{2} \cdot \frac{10,8}{2} + \frac{45+44}{2} \cdot \frac{10,8}{2} + 44 \cdot 13,5 \approx 70 \text{ kW.}$$

Straty znamionowe silnika wyniosą:

$$\Delta P_{MAN} = \frac{1-0,94}{0,94} 1380 = 88 \text{ kW.}$$

Jak widzimy, silnik nie będzie całkowicie wyzyskany, lecz nie możemy brać silnika o mniejszej mocy znamionowej ze względu na przeciążenie przy rozruchu maszyny wyciągowej.

## 12. Zużycie energii i sprawność instalacji.

### a) Zużycie energii

Zużycie energii znajdziemy planimetrując pole wykresu mocy pobieranej ( $P'_{MA}$ ) silnika napędowego (z rys. 6):

$$A = \frac{234+1387}{2} \cdot \frac{15,3}{2} + \frac{1387+2674}{2} \cdot \frac{15,3}{2} + 1186 \cdot 12,4 - \frac{474}{2} (10,8 - 1,7) + \frac{88}{2} \cdot 1,7 + 69,5 \cdot 13,5 = 35260 \text{ kWsek} = 9,8 \text{ kWh.}$$

### b) Sprawność instalacji

Praca użyteczna:

$$A_u = \frac{QH}{102 \cdot 3600} = \frac{6300 \cdot 330}{102 \cdot 3600} = 5,65 \text{ kWh}$$

Sprawność:

$$\eta = \frac{A_u}{A} = \frac{5,65}{9,8} \approx 0,57.$$

## LITERATURA

- [1] Aparow B. P. Maszyny pierieniennogo toka, tom I, Moskwa, 1936.  
 [2] Dubicki B. Maszyny elektryczne, t. I, Warszawa, 1949.  
 [3] Obrąpalski J. Maszyny wyciągowe elektryczne, wyd. C. Z. P. W., Katowice, 1947.

INŻ. T. LIPIŃSKA-PILARZOWA

# Starzenie olejów izolacyjnych i walka z tym objawem

Treść. Zmiany własności chemicznych i fizycznych olejów izolacyjnych podczas pracy w urządzeniach elektrycznych. Kontrola postępów tego procesu w warunkach ruchowych. Metody zapobiegania: dobór surowców, regeneracja obiegowa i uszlachetnianie olejów przez dodatek substancji stabilizujących (przeciwutleniające — inhibitory).

Состаривание изолирующих масел и борьба с этим явлением. Изменение химических и физических свойств изолирующих масел во время их работы в электрических устройствах. Контроль этого процесса в эксплуатационных условиях. Предупредительные меры: надлежащий подбор материала, круговой процесс сушки и очистки масла, повышение качества масла путем добавления веществ, противодействующих окислению.

The ageing of insulating oils and its prevention. Changes in the chemical and physical properties of insulating oils occurring in the course of work in electric equipment. Controlling the progress of this process under operating conditions. Preventive measures: selection of raw materials, regeneration by circulation and improvement of oils by the addition of stabilizing substances (inhibitors).

## I. STARZENIE OLEJÓW IZOLACYJNYCH

### 1. Wstęp.

Jako dielektryki płynne do napełniania transformatorów i wyłączników energetycznych powszechnie używane są oleje mineralne, gdyż praktyka wykazała, że są one szczególnie przydatne do tych celów. Dopiero w ostatnich latach musiały oleje mineralne swe wyłączne stanowisko na tym polu podzielić z cieczami, otrzymywanymi na drodze syntetycznej, zresztą tylko na niektórych odcinkach.

Oleje mineralne w stanie świeżym, odpowiednio przygotowane, tzn. pozbawione wilgoci i zanieczyszczeń mechanicznych, po wlianiu ich do aparatów spełniają swoje zadanie, a więc izolują i chłodzą. Ale w czasie pracy ulegają one skomplikowanemu działaniu różnych czynników, wskutek czego zachodzi w nich szereg przemian chemicznych, jak rozkład, utlenianie, polimeryzacja i kondensacja węglowodorów wchodzących w ich skład itp. Zarówno kierunek, jak i ilościowe natężenie tych przemian różnią się znacznie w poszczególnych wypadkach, tak samo, jak ilość i jakość czynników wywołujących je. Ten złożony proces zmiany chemicznego składu olejów izolacyjnych w czasie ich pracy w aparatach elektrycznych, któremu towarzyszą zwykle daleko posunięte zmiany fizyczne, nazywany jest starzeniem.

Następstwa starzenia olejów izolacyjnych są tak poważne, że w warunkach ruchowych nie można ich nie uwzględniać, zwłaszcza z uwagi na ciągłość ruchu urządzeń, w których oleje te pracują.

Ze wzrostem elektryfikacji kraju wzrasta stale liczba dużych jednostek transformatorowych, przeznaczonych na wysokie napięcia, a wymagania stawiane olejom izolacyjnym stosowanym do napełniania tych transformatorów stają się coraz ostrzejsze, w następstwie czego zmiana własności oleju wskutek starzenia ogranicza jego przydatność.

Ale praktyczne znaczenie starzenia olejów wpływa nie tylko z samego faktu istnienia tego zjawiska. Rolę zasad-

niczą grają tu również jego rozmiary, które w skali krajowej mogą być zilustrowane następującym obliczeniem.

Opierając się na ogólnie przyjętym założeniu, że średni czas służby oleju w transformatorze jest 7 lat, tzn. że po tym okresie olej musi być usunięty z aparatu, gdyż pomimo regeneracji nie może znaleźć dalszego zastosowania jako olej izolacyjny, i uwzględniając ilość oleju znajdującą się w eksploatacji w naszym kraju (według danych z 1948 roku) oraz jego cenę, można obliczyć, że z majątku narodowego ubywa ok. 1 500 000 zł na dobę. Oczywiście, suma ta, będąc tylko równoważnikiem sprzedażnej wartości oleju, usuniętego z ruchu wskutek starzenia się, nie odzwierciedla całkowitych strat. Będą one w rzeczywistości znacznie większe, gdy weźmiemy pod uwagę, że w siedmioletnim okresie służby olej musi być wielokrotnie badany laboratoryjnie, odwilgacany i pozbawiany zanieczyszczeń mechanicznych i osadu, a więc wirowany lub filtrowany lub nawet regenerowany — częściowo przy użyciu środków adsorbcyjnych lub całkowicie — na drodze chemicznej. Oczywiście, zabiegi te podnoszą wydatnie sumę strat ponoszonych wskutek starzenia się oleju. Ale są jeszcze straty inne, bardziej trudne do uchwycenia w złotych: jedne wynikają z zakłóceń i przerw w ruchu lub uszkodzeń aparatów, spowodowanych niewłaściwą jakością oleju, drugie — z faktu, że oleje izolacyjne, aczkolwiek są produktami dość dostępnymi, są produkowane z ropy naftowej, a więc z surowca, którym kraj nasz nie dysponuje w dostatecznej ilości.

### 2. Na czym polega starzenie olejów izolacyjnych?

Starzenie olejów izolacyjnych nie jest zjawiskiem, które tylko im jest właściwe. Zmiany własności z czasem są obserwowane w wielu materiałach. Wymienić tu można choćby korozję metali, jęczenie tłuszczów zwierzęcych, wysychanie olejów roślinnych, starzenie kauczuku, zesmalanie i starzenie produktów naftowych, zmiany licznych substancji stosowanych w perfumerii, przy wyrobie barwników, w technologii sztucznych włókien itd.



Stwierdzono, że starzenie powstaje zawsze pod wpływem tlenu, który powoduje zmianę składu chemicznego, a w następstwie tego zmiany własności fizycznych materiału. Tylko w bardzo niewielu wypadkach i tylko w szczególnych warunkach reakcja samoutleniania bywa odwracalna, natomiast często szybkość jej wzrasta progresywnie i substancja wyjściowa zanika.

Procesowi samoutleniania towarzyszą często liczne procesy uboczne, przebiegające w ślad za reakcją bezpośredniego przyłączenia się tlenu. Mogą one prowadzić do obniżenia użytkowej wartości produktów i to nawet w wypadku, gdy proces jest dopiero w stadium początkowym, np. kauczuk może teoretycznie związać 47% tlenu, jednakże w pełni traci on swoje cenne fizykochemiczne własności już po przyłączeniu 1/50 części tej ilości, tzn. poniżej 1%. Analogiczne objawy obserwujemy i przy starzeniu olejów mineralnych oraz w szeregu innych wypadków.

### 3. Przyczyny starzenia olejów izolacyjnych.

Jedne leżą już w samym materiale, tzn. w jego mniejszej lub większej skłonności do samoutleniania, inne wynikają z warunków, w których olej pracuje. W tym względzie znaczenie podstawowe ma temperatura oleju i obecność substancji katalitycznie przyspieszających reakcję samoutleniania. Do nich należą: wilgoć, miedź, żelazo. Nie można tu pominąć wpływu pola elektrycznego, które zwiększa szybkość procesu. Na podstawie danych statystycznych ustalono, że zależność ta jest liniowa i można ją wyrazić wzorem następującym:

$$S_o = (0,82 \pm 0,03) S_f$$

$$K_o = (0,94 \pm 0,03) K_f$$

gdzie  $S_f$  i  $K_f$  to ilości osadów i kwasów wytworzonych w olejach starzonych pod napięciem, a  $S_o$  i  $K_o$  — bez napięcia.

Wpływ światła, które działa także przyspieszająco, ma znaczenie praktyczne tylko dla olejów wypełniających izolatory przepustowe.

Na wytworzenie tych bezpośrednio sprzyjających starzeniu warunków, od których zależy zachowanie się oleju w eksploatacji, wpływają pośrednio następujące okoliczności:

a) rodzaj aparatu, w którym olej pracuje; wiadomo, że inaczej starzeje się olej w wyłączniku, a inaczej w transformatorze, ale i rodzaj i konstrukcja każdego z nich grają tu poważną rolę, np. stosunek powierzchni miedzi i żelaza do ilości oleju, styk między metalem i olejem, stan powierzchni metalowych, rodzaj izolacji, obecność gorących miejsc, obecność lub brak filtrów do osuszania wdychanego powietrza itd.;

b) warunki pracy aparatu: obciążenie stałe lub zmienne, przeciążenia, miejsce zainstalowania sprzyjające zawilgoceniu oleju np. w okęgach nadmorskich lub wogóle w aparatach napowietrznych, albo też sprzyjające podwyższeniu temperatury np. bliskość pieców, słaba wentylacja pomieszczenia, wadliwe chłodzenie itp.

Omawiając przyczyny starzenia olejów, nie można pominąć roli właściwego obchodzenia się z nimi w czasie eksploatacji.

Zalewanie aparatów świeżym olejem bez należytego usunięcia osadów, pozostałych na uzwojeniach lub innych trudno dostępnych miejscach np. rurach radiatorów, prowadzi do szybkiego starzenia oleju, gdyż zanieczyszczenia osadami katalitycznie przyspieszają ten proces.

Błędem powszechnym jest też niewłaściwy sposób pracy przy filtrowaniu i wirowaniu oleju dla pozabawienia go wilgoci i podniesienia wytrzymałości elektrycznej. Jeśli bibuła w prasie jest niedostatecznie wysuszona lub filtrowanie rozpoczyna się od zapełnienia prasy olejem przeznaczonym do filtrowania, a więc wilgotnym, filtrowanie jest nieskuteczne i obsługa przedłuża je nadmiernie w nadziei, że kiedyś dojdzie do pożądanego rezultatu. Ponieważ temperatura filtrowania jest wysoka, a przy przepompowywaniu olej ma łatwy styk z powietrzem lub nawet miesza się z nim, powstają dogodne warunki dla starzenia oleju. Taki sam skutek ma zbyt długie i częste wirowanie oleju, szczególnie w wirówkach bez próżni, gdyż przy tej czynności olej silnie miesza się z powietrzem i to w wysokiej temperaturze.

Zrozumienie szkodliwości wymienionych błędów i wyjaśnienie obsłudze aparatów ich znaczenia winno być jed-

nym z pierwszych kroków dla podniesienia ogólnej kultury eksploatacji.

### 4. Objawy starzenia olejów izolacyjnych.

Ponieważ wszystkie wyżej wymienione okoliczności sprzyjające starzeniu mogą występować w różnych kombinacjach jakościowych i ilościowych, przebieg procesu samoutleniania oleju izolacyjnego zmienia się od przypadku do przypadku i nie można ustalić jednego obrazu starzenia, wspólnego dla wszystkich olejów i aparatów, w których pracują.

Charakter zmian, zachodzących przy starzeniu olejów izolacyjnych, ani też ich kolejność nie są dotychczas w pełni ustalone i wyjaśnione i jeszcze niespełna dwa lata temu Międzynarodowa Konferencja Wielkich Sieci Elektrycznych, obradująca w Paryżu w lipcu 1948 r., uznała za potrzebne rozpisanie na ten temat międzynarodowej ankiety. Pierwsze pytanie tej ankiety brzmiało: „Jakie są objawy najbardziej szkodliwe, zaobserwowane na waszym terenie w pracy olejów izolacyjnych?” Pytanie opatrzone uwagą: „Prosimy o klasyfikowanie objawów według stopnia szkodliwości, poczynając od najbardziej szkodliwych“.

Do zewnętrznych objawów starzenia olejów należy zmiana barwy, nieraz bardzo silna, i pojawienie się osadów. Jednocześnie elektrycy stwierdza spadek własności izolacyjnych, a analityk wykrywa wolne kwasy organiczne i związki zmydlające się. W miarę postępowania procesu w oleju zjawiają się niskomolekularne kwasy organiczne (np. octowy, mrówkowy) specjalnie niebezpieczne, gdyż są rozpuszczalne w wodzie, oraz substancje smoliste. Benzyna tzw. normalna lub octan etylowy, dodane w dużym nadmiarze, strącają asfalty „twarde“, a mieszanina eteru i alkoholu (2:1) strąca asfalty „miękkie“. Ilości i skład strąconych asfaltów są różne i zależą od rodzaju rozpuszczalnika, np. w wypadku benzyny — od jej składu i temperatury wrzenia.

W momencie pojawienia się w oleju izolacyjnym osadów proces starzenia jest już dość daleko posunięty, gdyż wytworzone produkty utleniania rozpuszczają się w oleju, zwłaszcza w podniesionej temperaturze pracy i dopiero po przekroczeniu punktu nasycenia wypadają z roztworu tworząc szlam lub osad.

Charakterystyczne jest, że zarówno osady wydzielone w transformatorze, jak i sam olej pobrany z pracujących aparatów zawierają zawsze miedź i żelazo. Stosując metody polarograficzne, można wykryć 1—2 mg miedzi i 20 mg  $Fe_2O_3$  w 1 litrze oleju.

### 5. Następstwa starzenia olejów izolacyjnych.

Wszystkim wyżej opisanym zmianom chemicznym towarzyszą zmiany własności fizycznych. Olej staje się coraz gorszym dielektrykiem (tg  $\delta$  wzrasta, natomiast napięcie przebicia nie zawsze maleje). Dla olejów smarowych szczególne znaczenie ma wzrost napięcia powierzchniowego (wskutek czego powierzchnia metalu jest słabiej zwilżana) i wzrost wiskozy — oba te czynniki znacznie pogarszają smarowanie.

Pojawienie się szlamu, oblepiającego uzwojenia i utrudniającego chłodzenie rdzenia, prowadzi często do uszkodzeń na skutek miejscowego przegrzania. W sumie więc olej traci całkowicie lub częściowo swą przydatność i musi być wymieniony. W wypadku zmian niedosć silnie posuniętych olej poddaje się zabiegom mającym na celu przywrócenie mu pierwotnej użyteczności, a więc wirowaniu lub filtrowaniu, a w razie obecności kwasów rozpuszczalnych w wodzie — myciu kondensatem. Zabiegi te, niestety, skuteczne są tylko przejściowo. Wyjaśnienia tej przejściowości należy szukać w tym, że starzenie, jak każda reakcja chemiczna, podlega prawu działania mas i jeśli w danych warunkach ciśnienia i temperatury część produktów reakcji zostanie usunięta, a więc stężenie ich zmaleje, to równowaga chemiczna będzie naruszona i układ będzie dążył do przywrócenia jej, wskutek czego nowe ilości oleju i tlenu ulegną reakcji i produkty starzenia wystąpią znowu.

Tym się tłumaczy ogólnie przyjęte przez praktyków mniemanie, że olej, który już raz zaczął się starzeć i wydzielać szlam, nie może być przy pomocy żadnych zabiegów fizycznych przywrócony w sposób trwały do stanu pierwotnej użyteczności i jedynie regeneracja chemiczna ma tu znaczenie praktyczne.

## 6. Stała kontrola olejów w eksploatacji.

Skutki starzenia są ogólnie znane i nie będą tu szerzej rozpatrywane. Dla uniknięcia ich konieczne jest roztoczenie stałej kontroli nad olejem izolacyjnym będącym w eksploatacji, gdyż tylko na drodze ciągłych obserwacji postępów starzenia można uchwycić momenty groźne dla ciągłości ruchu i zastosować w porę właściwe zabiegi.

Stała kontrola olejów w ruchu musi być prowadzona systematycznie i w okresach z góry ustalonych. Długość tych okresów nie jest stała i waha się w zależności od napięcia i mocy oraz warunków pracy urządzenia. Winna ona być krótsza dla transformatorów napowietrznych niż dla wnetrzowych, jak również krótsza dla transformatorów z chłodzeniem wodnym niż z chłodzeniem powietrznym i jeszcze bardziej skrócona (do 4 miesięcy) dla transformatorów specjalnie ważnych, pracujących bez rezerw oraz dla transformatorów bez konserwatorów.

Dokładnie sprecyzowane dla każdej jednostki transformatorowej lub wyłącznikowej terminy pobierania prób dla analiz winny być ustalone z góry i podane do wiadomości obsługi oraz odnotowane w paszporcie aparatu, przy czym należy uwzględnić obok wyżej podanych warunków pracy także takie, jak np. przeciążenia w okresach szczytów zimowych, letniej młocki w okręgach rolniczych itp. Długość okresów waha się w szerokich granicach, bo od 4 miesięcy do 5 lat.

Często zachodzi potrzeba niezwłocznego pobrania prób i zbadania olejów poza ustalonymi terminami, np. gdy przy przygodnych oględzinach transformatora stwierdzono, że olej zmienił barwę, że pojawiły się w nim szlam, zmełnienie lub woda, a także przy tych zakłóceniach ruchu urządzenia, przy których zachodzi obawa, że olej mógł ulec niekorzystnym zmianom.

Ważnymi zagadnieniami przy stałej kontroli są jakość wykonywanych oznaczeń oraz kryteria, na których opiera się ocena przydatności olejów.

Jeśli chodzi o oznaczenia, to jasne jest, że istnieje dążność, aby były one możliwie najprostsze, nie wymagające skomplikowanej aparatury, trudnodostępnych odczynników i wysokowyszkolonego personelu, jednakże wystarczające do wyciągnięcia właściwych wniosków praktycznych. Nie można także dopuścić, aby materiał zebrany przy ciągłym drobiazgowym analizowaniu olejów ruchomych nie był w całości wyzyskany.

W praktyce przyjęło się następujące rozwiązanie tego zagadnienia: ustalono trzy zakresy badań olejów będących w ruchu i stąd rozróżnia się analizy: skróconą, pełną i szczegółową.

Oznaczenia, które obejmuje analiza skrócona, pozwalają tylko na stwierdzenie, czy olej nie uległ zawilgoceniu lub zanieczyszczeniu domieszkami mechanicznymi. Choćby jej wyniki nie dają podstaw do wysunięcia wniosków o postępach starzenia, jest ona ruchowo całkowicie usprawiedliwiona i potrzebna. Analiza skrócona obejmuje oznaczenia:

- a) zawartość wody i zawiesin,
- b) wytrzymałość elektryczna.

Dopiero analiza pełna daje możliwość zorientowania się, jak daleko posunięty jest proces starzenia oleju. Obejmuje ona oznaczenia:

- a) temperatura zapłonu,
- b) liczba kwasowa,
- c) liczba zmydlenia,
- d) liczba smołowa,
- e) odczyn wyciągu wodnego,
- f) zawartość popiołu,
- g) oznaczenia objęte analizą skróconą.

Analiza szczegółowa nie wymaga szerszego omówienia.

Ze względu na potrzeby ruchowe analizy skrócone wykonywa się znacznie częściej niż analizy pełne i omówione wyżej terminy wykonywania ich ustala się zależnie od rodzaju analizy.

Podane trzy zakresy badań olejów będących w ruchu dowiodły już w praktyce swej użyteczności i w takim ujęciu są też podane w „Tymczasowej instrukcji eksploatacji transformatorów mocy“, opracowanej przez Komisję XXIX Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

Jednym z warunków, mających zasadnicze znaczenie dla kontroli olejów w ruchu, jest właściwe pobieranie próbek olejów. Od warunku tego zależy powodzenie całej akcji, gdyż jedynie właściwie pobrane próbki mogą być źródłem

prawidłowych obserwacji oraz podstawą do słusznych orzeczeń o dalszych losach oleju. Czynność pobierania próbek można powierzyć tylko specjalnie przyuczonej obsłudze, której umiejętności w tym zakresie są sprawdzone, a praca jest stale kontrolowana przez siły fachowe.

Przy pobieraniu próbek należy zwracać uwagę:

- a) na miejsca pobrania próby (z góry, z dołu, ze środka, z kilku miejsc),
- b) na czystość i jakość naczyń, do których pobiera się olej,
- c) na sposób pobrania próby (oczyszczenie otworu wypływowego, spuszczenie pierwszych ilości oleju itd.).

Punkty te, oczywiście, nie wyczerpują całości zagadnienia, a lista warunków uzupełniających może zawierać jeszcze szereg pozycji, np. sposób zamknięcia naczyń, ilość oleju pobranego, okazyjne wystawienie próbek na działanie słońca itd., nawet pogoda przy pobieraniu próbek. Dlatego też sposób pobierania próbek jest uregulowany zwykle przepisami i w znowelizowanej normie PN/E-41 można będzie znaleźć wyczerpujące ujęcie tego tematu.

Wyniki okresowych badań winny być starannie zbierane, gdyż mogą one być źródłem bogatych informacji o przebiegu starzenia, zwłaszcza dlatego, że trudno jest zorientować się w nasileniu procesu na podstawie jednego wyrwykowego wyniku. Dla jednostek ważnych dogodne jest podawanie wyników kolejnych analiz w formie wykresów, gdyż według przebiegów krzywych bez trudu można śledzić postępy starzenia.

## 7. Kryteria do oceny olejów izolacyjnych w ruchu.

Wskutek tego, że samoutlenianie zależy od wielu czynników, występujących w rozlicznych kombinacjach, nie może być ściślej wzajemnej zależności między poszczególnymi danymi analitycznymi. Wiadomo np., że liczba zmydlenia zawsze znacznie wyprzedza liczbę kwasową, ale nie ma między nimi żadnej zależności, jak nie stwierdzono jej również dla liczb: kwasowej i smołowej. Ilość tworzącego się w czasie starzenia osadu nie zawsze biegnie równoległe ze wzrostem kwasowości i dla różnych olejów bądź różnych warunków pracy notowane są w tym względzie duże różnice.

Jednakże opierając się na cyfrowych wynikach analizy użytkownik musi uchwycić moment, w którym ze względu na bezpieczeństwo ruchu olej musi wymienić lub poddać zabiegom, przywracającym mu stan użyteczności. Decyzja musi więc być oparta na ścisłych kryteriach, których jakość i wielkość wypłynęła z wieloletniego doświadczenia, a użyteczność potwierdzona została w praktyce.

Wskaźnikiem powszechnie stosowanym jest kwasowość oleju, wyrażona bądź jako liczba kwasowa, bądź jako liczba zobojętniania. Ich dopuszczalna wysokość, przyjęta przez różne kraje, waha się w dość dużych granicach: w ZSRR dopuszcza się liczbę kwasową 0,4, w wyjątkowych wypadkach 0,6; w Czechosłowacji 0,25 dla transformatorów wielkich i ważnych, 1,5 dla pozostałych; w krajach zachodnich (Anglia, Belgia, Francja, Holandia, Szwecja) liczbę zobojętniania do 1,0; w Niemczech (według norm przedwojennych) liczbę kwasową do 1,5 mg KOH/g oleju, to znaczy, że po przekroczeniu tej wartości olej musi być wymieniony.

Oczywiście, takie podejście do zagadnienia może budzić wiele zastrzeżeń i jest otwarte dla dyskusji, gdyż tworzenie się osadu w transformatorach w praktyce ruchowej powoduje znacznie większe kłopoty i szkody niż kwasy, przy czym, jak już wspomniano, wytrącanie się osadu w różnych olejach nie zawsze idzie w parze z wytwarzaniem się kwasów. Dotychczasowa praktyka jednak wykazała, że sposób ten jest wygodny i dowiodła jego użyteczności.

Wskaźnikiem równie użytecznym, jak liczba kwasowa, mogłaby być liczba zmydlenia, która, jak już wspomniano, jest znacznie wyższa, jednakże w normalnej praktyce ruchowej oznaczenie to wykonywa się rzadziej, gdyż jest ono nie tak łatwe i szybkie, jak oznaczenie liczby kwasowej; nie ma więc powodów do wysuwania liczby zmydlenia, jako podstawowego kryterium dla oceny olejów w ruchu.

Ponieważ wydzielanie się osadu z oleju jest jednym z najbardziej szkodliwych objawów, największe znaczenie praktyczne miałyby właśnie oznaczenie ilości osadu. Niestety, w warunkach ruchowych ilość wytworzonego osadu nie da się określić, gdyż nie można pobrać prawdziwie prze-

ciężnej próbki (osad zbiera się głównie na dnie lub oblepia uzwojenia), musimy więc zrezygnować z tego kryterium. Z oznaczenia wytworzonego osadu korzysta się tylko w warunkach laboratoryjnych — do oceny postępów utleniania olejów starzonych sztucznie.

Należy jeszcze wspomnieć o niezmiernie rozpowszechnionym sposobie kontroli olejów ruchowych przez oznaczanie ich wytrzymałości elektrycznej. Niestety, sama wysokość napięcia przebicia nie jest wystarczającym kryterium do oceny stanu oleju, gdyż nawet bardzo zestarzone oleje, czy też osad, jeśli tylko nie zawierają wilgoci, wykazują często wysoką wytrzymałość elektryczną. Nie wynika stąd jednak, żeby z tego oznaczenia zupełnie zrezygnować, gdyż jest ono pożyteczne, należy tylko jego wyniki rozpatrywać wspólnie z wynikami innych oznaczeń.

To samo dotyczy natężenia barwy zestarzonych olejów. Szczególnie błędne jest wyciąganie z tego wniosków w wypadku olejów wyłącznikowych. W czasie działania wyłącznika, przy gaszeniu łuku elektrycznego wytwarza się sadza, która jest niezwykle rozdrobniona, niemal koloidalna i wskutek tego pozostaje zawieszona w oleju, powodując czasem bardzo silne ściemnienie barwy. Jej obecność jest w oleju równie niepożądana, jak produkty starzenia i należy ją usunąć przez wirowanie z jednoczesnym przemyciem kondensatem. Wnioski, wypływające ze ściemnienia barwy oleju, mogą więc być rozpatrywane tak samo, jak napięcie przebicia — tylko na tle wyników analizy chemicznej.

#### 8. Normy dla olejów izolacyjnych będących w ruchu.

Z wypowiedzi członków Komitetu Olejów Izolacyjnych (nr 1) na sesji CIGRE w lipcu 1948 r. w Paryżu, wynika, że w żadnym kraju nie ustalono dotychczas ścisłych norm na oleje izolacyjne będące w ruchu i nawet sama koncepcja stworzenia takich norm jest otwarta dla dyskusji. Stanowisko to znalazło dalszy swój wyraz we wspomnianej już ankiecie, w której Komitet prosi o wypowiedzenie się, czy jest konieczne sformułowanie takich norm i czy mają one być wspólne dla wszystkich typów aparatów, czy też różne — zależnie od typu aparatu i rodzaju jego pracy, a także jakie kryteria należy tu stosować.

Ogólne zainteresowanie tą sprawą dowodzi, że normy takie byłyby bardzo pożądane, szczególnie dla zakładów, w których brak specjalistów z tej dziedziny i wobec tego zachodzi obawa, że wyniki analiz chemicznych mogą być niewłaściwie interpretowane.

Obecnie opracowana nowelizacja PN/E-41 jest pierwszą w Polsce próbą ustalenia oficjalnych norm na oleje izolacyjne w ruchu. Jako kryteria dla oceny przydatności tych olejów do dalszej pracy, znowelizowana norma PN/E-41 przyjmuje: zawartość wody, liczbę kwasową, liczbę zmydlenia, liczbę smołową, zawartość popiołu, temperaturę zapłonu i wytrzymałość elektryczną.

Wysokość liczby kwasowej uzależniono od odczynu wyciągu wodnego. Jeśli olej nie zawiera kwasów rozpuszczalnych w wodzie, dopuszcza się dla liczby kwasowej wartość 0,6, względnie 0,8 mg KOH/g zależnie od aparatu; w wypadku odczynu kwaśnego tylko 0,3, względnie 0,4 mg KOH/g, więc dwukrotnie mniej.

Wysokość wymagań dla granicznych wartości uzależniono od typu aparatu tj. od napięcia i mocy. Z tego względu norma PN/E-41 rozróżnia 3 klasy aparatów:

kl. I obejmuje transformatory na napięcie ponad 40 kV i moc ponad 320 kVA oraz przekładniki (transformatory miernicze),

kl. II obejmuje transformatory na napięcie do 40 kV i moc do 320 kVA,

kl. III obejmuje wyłączniki energetyczne. Transformatory wyjątkowo ważne zaliczane są do kl. I a nawet w wypadkach, gdy formalnie nie jest to zgodne z powyższą klasyfikacją.

## II. ZWALCZANIE STARZENIA OLEJÓW IZOLACYJNYCH

### 9. Sposoby zwalczania.

Trudności eksploatacyjne, powstające wskutek starzenia olejów mineralnych, zmuszają do stosowania środków zaradczych.

Najprostszym wyjściem wydawałoby się zrezygnowanie z olejów mineralnych do celów izolacyjnych i wprowadze-

nie innych dielektryków płynnych, np. cieczy otrzymanych na drodze chemicznej. Jednakże te cieczy, które do chwili obecnej znalazły zastosowanie jako dielektryki płynne, głównie roztwory chlorowanego dwufenylu w chlorobenzenu lub chlorowane naftaleny, znane na rynku jako „sowol“ w ZSRR, „pyranol“, „ascarel“ w USA, „clophen“ w Niemczech itd., nie są także wolne od wad. Są one drogie, nie tak łatwo dostępne, odznaczają się zbyt dużą lepkością, zdolnością do rozpuszczania lakierów, którymi nasycone są zazwyczaj uzwojenia transformatorów, oraz drażniącym działaniem na skórę. Inne, jak np. płynne związki krzemorganiczne (sylikony), tylko ze względu na wysoką cenę nie znalazły dotychczas zastosowania do powyższych celów. Jedynie więc w wypadkach, w których specjalnie ważne znaczenie ma niepalność dielektryku, np. do transformatorów w teatrach, kopalniach, lub do transformatorów zainstalowanych blisko pieców, zrezygnowano ze stosowania olejów mineralnych i zastąpiono je przez cieczy inne, głównie roztwory pięciochlorodwufenylu w trójchlorobenzenu.

Skoro więc użytkownicy nie mogą zrezygnować ze stosowania olejów mineralnych do napełniania transformatorów i wyłączników, trzeba szukać sposobów zmniejszenia rozmiarów starzenia się olejów lub starać się zapobiec mu. Dwie drogi są do tego: zmiana warunków pracy oleju albo wyzyskanie możliwości, które daje sam olej. Obie zmierzają w kierunku niedopuszczenia do rozwijania się procesu starzenia.

Najnowsze zastosowanie praktyczne znalazły następujące sposoby:

1) **Dobór olejów świeżych.** Polega on na stwierdzeniu przydatności oleju nie tylko w stanie świeżym, ale i na sprawdzeniu jego wrażliwości na działanie tlenu. Tylko partie jak najbardziej odporne na utlenianie mogą być używane jako oleje izolacyjne.

2) **Regeneracja obiegowa.** Przez wyzyskanie pewnych możliwości konstrukcyjnych stwarza się warunki dla ciągłej regeneracji pracujących olejów, tzn. usuwa się z oleju w sposób ciągły wszelkie, nawet bardzo małe ilości produktów reakcji utleniania, kwasy i osady, przez co proces nie może się w pełni rozwinąć.

3) **Stabilizacja olejów.** Polega ona na stosowaniu pewnych domieszek, hamujących utlenianie, a więc nie dopuszczających do szybkiego zesterzenia olejów. Wykorzystano tu zjawisko ujemnej katalizy. Oleje uszlachetnione przez domieszki hamujące utlenianie znalazły szerokie zastosowanie praktyczne także w wielu innych dziedzinach np. jako oleje samochodowe, dylzowe, turbinowe i inne.

Każdy z wymienionych sposobów ma szereg cennych zalet i dowiódł swej użyteczności, zasługuje więc na szersze omówienie.

### 10. Dobór olejów świeżych.

Jak już wspomniano, oleje wykazują niejednakową skłonność do przyłączania tlenu, a więc w tym samym czasie i w tych samych warunkach pracy będą się starzeć w różnym stopniu. Zależy to z jednej strony od chemicznego składu oleju, a więc od pochodzenia ropy, z której został wyprodukowany, z drugiej zaś od głębokości rafinowania.

Ogólnie wiadomo, że oleje rafinowane bardzo silnie — wszystkim jedno, czy drogą wykwaszania, czy rozpuszczalnikami wybioreczymi lub środkami adsorbcyjnymi — czyli tzw. oleje „przerafinowane“ starzeją się znacznie szybciej, niż oleje rafinowane normalnie. Powodem tego jest fakt, że niektóre składniki smoliste, usuwane z olejów przy zbyt głębokiej rafinacji, działają jako substancje ochronne, przedłużające wstępny tzw. indukcyjny okres reakcji utleniania i opóźniają w ten sposób proces starzenia.

Badanie skłonności olejów do utleniania opiera się na próbie przyspieszonego starzenia. Próba ta jest jedną z najważniejszych do kwalifikacji olejów nowych, które jeszcze nie były w eksploatacji. Liczba stosowanych tu metod badania jest niezwykle duża, gdyż prawie każdy kraj ma swą własną, którą uważa za jedynie słuszną, a metody stosowane przez inne kraje, jako sprawy otwarte dla poważnych dyskusji. W krajach, w których przemysł transformatorowy wytwarza duże ilości aparatów na eksport, sytuacja jest wprost absurdalna, gdyż częstokroć transformatory tego samego typu, wymiarów i przeznaczone dla tych samych warunków pracy napełnia się różnymi olejami



tylko dlatego, żeby sprostać różnym wymaganiom krajów, do których będą one eksportowane.

Niemal wszystkie stosowane dotychczas metody mają tę wadę, że wyniki otrzymane przy stosowaniu ich nie zawsze potwierdzane są przez wyniki, otrzymane w pracy w transformatorach lub wyłącznikach oraz że nie są one powtarzalne, tzn. że nie ma zgodności między wynikami indywidualnych prób, prowadzonych równolegle w tym samym układzie pomiarowym, a tym bardziej między rezultatami otrzymanymi w różnych laboratoriach. Wskutek dążenia do usunięcia rozbieżności wyników aparatura do sztucznego starzenia staje się coraz bardziej skomplikowana, a od eksperymentatora wymaga się coraz więcej biegłości i doświadczenia.

Ponieważ starzenie oleju jest jednoznaczne z jego utlenianiem, metody przyspieszonego starzenia polegają na utlenianiu oleju w warunkach możliwie zbliżonych do warunków jego pracy, jednak na tyle zastrzonych, aby czas badania był możliwie krótki.

Na szybkość starzenia, jak już powiedziano wyżej, zasadniczy wpływ mają następujące czynniki: temperatura, ilość tlenu, pole elektryczne i katalizatory. Wyniki zależą od czasu trwania próby i sposobu śledzenia przebiegu utleniania.

**Temperatura.** Podniesienie temperatury ponad normalną temperaturę pracy oleju jest jednym z najpowszechniej stosowanych środków zmierzających do skrócenia czasu próby. Wysokość temperatury dla różnych metod waha się w szerokich granicach od 100 do 170°, a nawet do 200°C. Ponieważ wysokość temperatury ma wpływ na kierunek reakcji utleniania, tzn. na jakość powstałych produktów, przy czym radykalna zmiana występuje w temperaturze 115—120°C, dla prób przyspieszonego starzenia zalecane są raczej temperatury niższe, nie przekraczające 100°, a w żadnym razie 115° C. Za stosowaniem niższych temperatur przemawia także coraz bardziej wzrastające stosowanie olejów stabilizowanych, które w podwyższonej temperaturze mogą zachować się zupełnie inaczej niż w temperaturze pracy.

**Ilość tlenu.** W próbach przyspieszonego starzenia używane są czysty tlen lub powietrze, co pozostaje bez wpływu na kierunek reakcji; w wypadku tlenu szybkość tworzenia się osadu i kwasów wzrasta średnio 2,5-krotnie w porównaniu z ilościami powstającymi przy stosowaniu powietrza. Tlen lub powietrze mogą z olejem stykać się tylko powierzchniowo lub być przedmuchiwane przez warstwę oleju, co wzmacnia także szybkość reakcji, przy czym zaznacza się silniejszy wpływ na tworzenie się osadów niż kwasów. Obie te wielkości, charakterystyczne dla utleniania, nie wzrastają zresztą nigdy równolegle. Mogą tu grać rolę także czynniki dodatkowe, gdyż przedmuchiwanie powietrza lub tlenu może sprzyjać wydzielaniu się z olejów także tej części osadów, które znajdują się w stanie tzw. potencjalnym.

**Pole elektryczne.** Przyspieszający wpływ pola elektrycznego był już omówiony. Jakkolwiek przytoczone wyżej dane nie są zgodne z wynikami osiągniętymi przy stosowaniu pewnych metod przyspieszonego starzenia, to jednak fakt, że oparte zostały na danych statystycznych, przemawia raczej za ich prawdziwością. Ponieważ stwierdzono, że zależność rezultatów otrzymanych przy użyciu pola elektrycznego i bez niego jest proporcjonalna, wydaje się, że nie ma powodu do stosowania go w próbie przyspieszonego starzenia i komplikowania w ten sposób aparatury i pomiarów.

**Katalizatory.** Dla skrócenia czasu trwania prób równie skutecznym, jak podwyższanie temperatury, jest stosowanie katalizatorów. Za takim sposobem postępowania przemawia także fakt, że olej styka się z powierzchniami metalowymi, przede wszystkim żelaza i miedzi w normalnych warunkach pracy. Ale aktywność działania katalizatorów zależy głównie od stanu ich powierzchni i być może, że duże rozbieżności wyników uzyskanych w próbach przyspieszonego starzenia należy przypisać trudnościom przy doprowadzaniu powierzchni katalizatorów zawsze do tego samego stanu.

Jako katalizatory stosuje się głównie miedź i żelazo.

Nie tylko stan powierzchni katalizatorów, ale i ich ilość, tzn. wielkość powierzchni w stosunku do ilości oleju, oraz wzajemny stosunek powierzchni kilku katalizatorów grają poważną rolę. Badacz szwedzki Anderson (ASEA) starzając oleje metodą nazwaną od jego imienia stosuje: katalizator

miedziany o powierzchni 75 cm<sup>2</sup> i żelazny o powierzchni 23 cm<sup>2</sup> przy 60 g oleju, co odpowiada stosunkom panującym w zwykłych transformatorach.

Znaczenie katalizatorów podkreśla fakt, że w praktyce we wszystkich zestarzonych olejach stwierdzono obecność miedzi i żelaza i to nie tylko w osadach, ale i w oleju w stanie rozpuszczonym.

Ponieważ katalizacyjny efekt działania metali jest zależny od ilości metalu w roztworze, więc jest rzeczą oczywistą, że związki tych metali, rozpuszczalne w oleju, mogą być wykorzystane jako katalizatory, zwłaszcza że unika się w ten sposób kłopotów z przygotowaniem metalowych powierzchni. Katalizatory takie znalazły już zastosowanie praktyczne np. stearynian miedzi, przy którym znaleziono, że ilość powstałego osadu jest proporcjonalna do czasu i do ilości miedzi w roztworze. Palmitynian miedzi i benzoosan żelaza są używane w ilościach 10 do 200 mg na 10 g oleju.

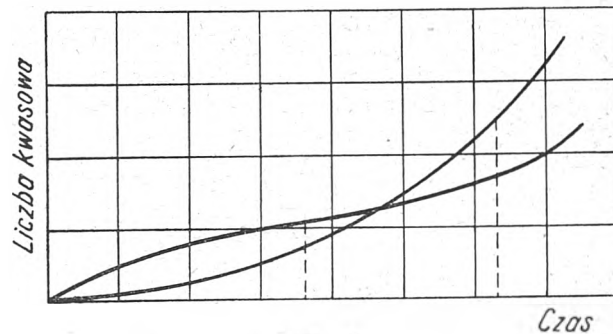
Wzrost stężenia rozpuszczalnych katalizatorów zupełnie nie wpływa na kierunek przebiegu procesu i kształty krzywych, wyrażających zależność liczby neutralizacji lub ilości osadu od czasu, są takie same dla różnych stężeń katalizatorów.

**C z a s.** Dawniej stosowano ściśle określone czasy trwania próby np. 70, 100 lub nawet 300 godz. Obecnie istnieje tendencja do prowadzenia starzenia raczej tak długo, aż osiągnięty zostanie pewien stopień zmian oleju, np. liczba kwasowa osiągnie wartość 1 mg KOH/g oleju.

Wobec pojawienia się na rynku olejów stabilizowanych jasne jest, że stosowane dotychczas czasy trwania prób mogą się okazać niewystarczające i muszą być tak przedłużone, aby osiągnąć pewien stopień zmiany oleju.

**Metody śledzenia przebiegu reakcji.** Przy wyborze metody śledzenia przebiegu reakcji należy wziąć pod uwagę, że dla właściwego wyzyskania wyników próby do oceny olejów podstawowe znaczenie mają nie bezwzględne wartości liczby kwasowej, ilości osadu itp., charakteryzujące olej w momencie ukończenia próby, ale dynamika wzrostu tych wartości. Zwłaszcza jeśli czas starzenia jest zbyt krótki, można dojść do nieprawidłowych wniosków, gdyż wzrost szybkości na początku procesu i w dalszym jego stadium może być różny dla różnych olejów (rys. 1).

Istnieją dwie drogi śledzenia przebiegu starzenia — przez określanie ilości pochłoniętego tlenu, albo przez okre-



Rys. 1

ślanie ilości wytworzonych produktów reakcji. Pierwsza droga jest logicznym następstwem faktu, że starzenie jest jednoznaczne z utlenianiem. Pozwala ona łatwo zorientować się w szybkości reakcji, podczas gdy śledzenie zmian stężenia wielu nieznanymi i skomplikowanymi produktami reakcji jest znacznie trudniejsze. Ale wielu badaczy wskazuje, że z praktycznego punktu widzenia ilość pochłoniętego tlenu ma znaczenie mniejsze niż efekt jego działania, tzn. własności produktów utleniania i ilość wydzielonego osadu.

Badanie produktów reakcji może być bezpośrednie i pośrednie. Metody pośrednie, jak pomiar kąta stratności, napięcia powierzchniowego itp., nie rzucają żadnego specjalnego światła na przebieg procesu, a ponieważ są znacznie bardziej skomplikowane i nieprzydatne dla laboratoriów słabiej wyposażonych, zostały w normalnej praktyce ruchowej zaniechane.

Jako kryteria powszechnie stosowane służą: liczba kwasowa względnie liczba neutralizacji i zawartość osadów, zwłaszcza ta ostatnia wielkość, gdyż, jak wynika z prak-

tyki, osady w transformatorach przysparzają znacznie więcej kłopotów niż kwasy.

W naszym kraju oleje izolacyjne poddaje się starzeniu metodą określoną przez PNE/41-1937 w następujących warunkach: 100 godzin, 100° C wobec tlenu przedmuchiwanego z szybkością 1 l/godz. i wobec katalizatorów: miedzianego pierścienia falistego o powierzchni 100 cm<sup>2</sup> i żelaznych pierścieni o powierzchni 25 cm<sup>2</sup>, bez napięcia elektrycznego.

Obecna znowlizowana norma PN/E-41 przewiduje następujące warunki starzenia: 70 godzin, 120° C, bez katalizatorów, przy przedmuchiwanie tlenu. Po próbie starzenia liczba smołowa nie może przewyższać 0,1%.

Jak z powyższego widać, próby sztucznego starzenia olejów nie są jeszcze w tej chwili w pełni użyteczne i przewidywanie na podstawie ich wyników, jak zachowa się olej w pracy, nie zawsze wiedzie do słusznych wniosków.

Metodom przyspieszonego starzenia olejów poświęcono nie mało czasu na CIGRE w Paryżu w 1948 r. oraz na sesji CEI w Stresie w czerwcu 1949 r., gdzie powołano Podkomitet olejowy, który współpracując ściśle z Komitetem olejowym CIGRE ma wypracować wspólnie międzynarodową metodę przyspieszonego starzenia olejów izolacyjnych.

### 11. Regeneracja obiegowa.

Metoda ta została zainicjowana i wprowadzona w życie w ZSRR i w USA. Osiągnięcia radzieckie, uzyskane dzięki tej metodzie, opisane były w Przeglądzie Elektrotechnicznym \*).

Regeneracja obiegowa polega na ciągłym filtrowaniu oleju pracującego w aparacie przez warstwę adsorbentu, usuwającego z niego produkty starzenia i to nie tylko te, które wypadły jako osad, ale i te, które są rozpuszczone w oleju i których przez filtrowanie zwykle, a tym bardziej wirowanie nie można by było pozbyć się. Wobec tego, że produkty starzenia, nagromadzone w większych ilościach, działają katalitycznie na proces starzenia, przez usuwanie ich w sposób ciągły można proces ten znacznie zwolnić i przedłużyć w ten sposób czas pracy oleju.

Praktyczne rozwiązanie jest następujące: walec blaszany, posiadający dodatkowe dno z sita, napelnia się ziarnistym adsorbentem i tak utworzony filtr umieszcza się tuż przy transformatorze i łączy jego pokrywy z kładzi transformatora przy pomocy przewodów rurowych. Przyłączenie filtru do transformatora — tak odnośnie wymiarów rur, kranów, jak i ich położenia — jest analogiczne, jak w wypadku radiatorów.

Olej, nagrzewając się od rdzenia w czasie pracy transformatora, podnosi się do górnej części kładzi, po czym wpływa do filtru. Bieg oleju w filtrze jest z góry na dół, w transformatorze z dołu na górę. Wykorzystanie termosfonu pozwala na utrzymanie obiegu oleju w sposób automatyczny i ciągły. Ważne jest, żeby temperatura oleju wpływającego do filtru była możliwie najwyższa ze względu na skuteczność działania adsorbentu; stąd przewód, łączący górną część kładzi transformatora z górną pokrywą filtru, winien być jak najkrótszy.

Dla transformatorów dużej mocy, o dużej objętości oleju wysokość filtru osiągnąć może 1,5 do 2,0 m. Tak wysoki słup adsorbentu może stawić zbyt duży opór dla przepływu oleju, wskutek czego szybkość przepływu może zmaleć nawet do zera. W tych wypadkach okazało się rzeczą celową umieszczanie adsorbentu nie bezpośrednio w zbiorniku filtru, a w naczyniach z dziurkowanej blachy zawieszonych wewnątrz filtru, raczej na jego obwodzie, ale z pozostawieniem szczeliny dla przepływu oleju. Taki właśnie sposób stosowany jest w USA.

Adsorbenty. W ZSRR stosuje się granulowany aktywny sylikagel o wielkości ziarna 0,5—3,5 mm, wysuszony uprzednio w temperaturze 500—600° C. Sylikagel odznacza się większą zdolnością do usuwania z oleju smolistych produktów starzenia niż kwaśnych, a wobec tego, że ilość smół ma zasadniczy wpływ na ilość osadu, użycie sylikagelu dla olejów transformatorowych jest szczególnie celowe. Zaleca się zmianę sylikagelu, gdy liczba kwasowa osiągnie wartość 0,1—0,15 mg KOH/g. Sylikagel zużyty może być regenerowany przez wyprażenie go w temperaturze 500—600° C. Ilość sylikagelu wynosi średnio 1%.

\* Prof. J. Skowroński. O regeneracji oleju transformatorowego metodą obiegową (PE, 1947, z 9/10, str. 279).

ciężaru oleju, jest większa (do 1,25%) dla transformatorów o małej pojemności oleju i mniejsza (do 0,75%) dla transformatorów o dużej pojemności oleju.

W ZSRR czynione są obecnie próby nad produkcją i stosowaniem adsorbentów z ziem naturalnych, granulowanych, aktywowanych. W USA stosuje się głównie aktywowany tlenek glinu.

Metoda regeneracji obiegowej ma wiele cennych zalet i jest niezwykle użyteczna. Korzyści osiągane przy jej stosowaniu są następujące:

1) metoda pozwala na zwiększenie czasu pracy transformatora przez zwiększenie okresów między remontami, związanymi ze zmianą oleju lub uzwojenia;

2) pozwala na zmniejszenie zużycia oleju przy remoncie transformatora, gdyż osad nie ma warunków do tworzenia zwartych pokładów, których usunięcie jest zwykle bardzo trudne i powoduje duże zużycie oleju;

3) pozwala na zmniejszenie kłopotów i zużycia oleju przy wirowaniu i filtrowaniu oleju, redukując znacznie potrzebę stosowania tych zabiegów;

4) powoduje, że olej utrzymuje przez długi okres swoje własności w stanie prawie niezmiennym, zbliżonym do wartości określonych normami dla olejów świeżych; zwiększa się w ten sposób nie tylko czas pracy oleju, ale i pewność ruchu aparatu.

### 12. Stabilizacja olejów.

W wielu krajach oleje mineralne, stosowane do najróżniejszych celów, uszlachetniane są często przez dodawanie różnych domieszek, które mają polepszać jakość olejów, a szczególnie pewne ich własności np. smarność, wskaźnik lepkościowy, temperaturę krzepnięcia itp.

Dla olejów izolacyjnych znaczenie mają domieszki, zwiększające ich odporność na utlenianie tzn. nie dopuszczające do szybkiego starzenia się ich w eksploatacji.

Domieszki hamujące proces starzenia nazywają się „inhibitorami” lub przeciwutleniaczami, a ponieważ zwalniają one szybkość reakcji utleniania, przypisuje się im własności katalizatorów ujemnych.

Hamowanie reakcji chemicznych przy pomocy katalizatorów ujemnych znalazło zastosowanie w szeregu dziedzin techniki, a przede wszystkim w tych, które związane są z procesami utleniania. O praktycznym znaczeniu tego zagadnienia świadczyć może chociażby olbrzymi rozwój przemysłu gumowego. Gdyby nie udało się rozwiązać problemu starzenia gumy, zastosowanie wyrobów gumowych z pewnością nie byłoby tak powszechne i nie wtargnęłyby one nigdy do tak wielu dziedzin życia.

Pierwsze badania nad hamowaniem utleniania olejów mineralnych przypadają na rok 1924 (Ameryka) i odnoszą się do olejów silnie rafinowanych, kiedy to zetknięto się ze zjawiskiem tzw. „przerafinowania” oleju. Oleje przerafinowane charakteryzowała skłonność do nadzwyczaj szybkiego starzenia się. Fakty te pozwoliły stwierdzić, że w olejach mineralnych obecne są substancje będące naturalnymi inhibitorami, chroniącymi oleje od utleniania.

Istnieje dość duża liczba materiałów eksperymentalnych, wyjaśniających rolę przeciwutleniacza w procesach starzenia. Pozwalają one na wysunięcie nie tylko teoretycznych, ale i praktycznych wniosków.

Rola inhibitora przy utlenianiu olejów mineralnych. Już przy wstępnych obserwacjach proces utleniania łatwo zauważyć, że szybkość tego procesu nie od razu osiąga swą wielkość. Prawie zerowa na początku, wzrasta ona progresywnie w czasie mniej lub bardziej długotrwałego okresu. Okres, który jest niezbędny dla rozwoju reakcji, a w którym w sposób wyraźny proces utleniania nie zachodzi, nosi nazwę okresu indukcyjnego.

Istnieją rozliczne usiłowania wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska. Np. jedna z teorii głosi, że pierwszy okres samoutleniania sprowadza się do niszczenia inhibitorów, znajdujących się w utlenianym produkcie i nagromadzania substancji przyspieszających samoutlenianie. W momencie, gdy stężenie przeciwutleniacza osiągnie pewne minimum, a stężenie katalizatorów dodatnich wzrośnie w dostatecznej mierze, indukcyjny okres utleniania zmienia się w dodatnio wyrażone samoutlenianie.

Potwierdzeniem tej teorii jest fakt, że sama domieszka inhibitora nie może powstrzymać utleniania, lecz tylko w mniejszym lub większym stopniu zwalnia ten proces,

przedłużając okres indukcyjny. Stwierdzono również, że dodanie przeciwutleniacza jest tylko wtedy skuteczne, jeśli nastąpiło na początku procesu aktywnego utleniania. Obecność indukcyjnego okresu przy utlenianiu substancji, do których nie wprowadzono w sposób sztuczny przeciwutleniaczy, objaśnia się z tego punktu widzenia obecnością w nich naturalnych domieszek, zawartych w wyjściowych produktach. Są to najczęściej związki o charakterze fenolów lub asfaltów i smół.

Działanie przeciwutleniaczy nie zawsze może być traktowane jako czysto katalityczne w klasycznym pojęciu tego słowa; często to działanie polega na tym, że one same utleniają się łatwiej niż substancje, które ochraniają. Dlatego też wpływ takich przeciwutleniaczy stopniowo maleje w następstwie „zużycia“.

Niektórzy autorzy wskazują, że praktyczne znaczenie działania inhibitorów polega nie tylko na ich bezpośrednim wpływie na szybkość utleniania oleju, tzn. na długość okresu indukcyjnego, ale i na jego zdolności do ochrania oleju od wpływu mechanicznych przyspieszczy, z którymi styka się on w czasie pracy. Stwierdzono również, że niektóre inhibitory chronią metalowe powierzchnie od korozyjnego działania produktów starzenia oleju. Amerykanie twierdzą, że stosowane w nich inhibitory zwiększają skłonność oleju do rozpuszczania osadu i w ten sposób zapobiegają odkładaniu się go.

Do szczególnych cech inhibitorów należy wybiórczość i odwracalność ich działania. Polegają one na tym, że substancja, zachowująca się w całym szeregu procesów utleniania jako inhibitor, okazuje się bez wpływu lub nawet dodatnim katalizatorem w innych, tzn. że przy zmianie składu chemicznego ochranianego przed utlenianiem materiału, przy zmianie warunków utleniania (np. odczynu środowiska) lub koncentracji inhibitora, może nastąpić zwrot w kierunku jego działania. Ta odwracalność działania katalitycznego wyjaśnia liczne rozbieżności w materiale doświadczalnym i zmusza do szczególnej uwagi przy pracy nad tym zagadnieniem.

Już w pierwszych badaniach nad stosowaniem inhibitorów wyszło na jaw, że skuteczność działania ich zależy w dużym stopniu od tego, czy stabilizacji podlega substancja chemicznie jednorodna, a więc wydzielone indywidualnie chemiczne, czy też mieszanina związków. Znacznie łatwiej jest dokonać wyboru przeciwutleniacza dla jakiegokolwiek indywidualnego związku niż dla mieszaniny, choćby złożonej ze związków o tym samym charakterze chemicznym.

W przypadku olejów mineralnych przeciwutleniacz musi być znacznie bardziej uniwersalny i musi ochraniać od utleniania nie tylko węglowodory parafinowe, izoparafinowe, nafteny, aromatyczne itd., ale i ich rozliczne pochodne. W czasie pracy oleju wszystkie te składniki ulegają zmianom, wzbogacając jeszcze jakościowo skład chemiczny oleju. Ponieważ przeciwutleniacz wykazuje wybiórczość w działaniu, to może się zdarzyć, że okaże się on inhibitorem tylko dla pewnych składników mieszaniny, będąc równocześnie dodatnim katalizatorem dla innych. Poza tym należy mieć także na uwadze wzajemny wpływ licznych składników olejów i ich wrażliwość na działanie przeciwutleniaczy.

Ponieważ w przypadku stabilizacji użytkowych mieszanin węglowodorów, a więc olejów, zjawisko jest tak skomplikowane, dla zdobycia podstaw teoretycznych i możliwie dokładnego wyświetlenia tego procesu przeprowadzono szereg badań nad utlenianiem indywidualnych węglowodorów lub ich mieszanek o znanym składzie. Węglowodory, podlegające badaniom, odpowiadały indywidualnym związkom, których obecność w olejach mineralnych została stwierdzona. Jednocześnie badano także wpływ przeciwutleniaczy na proces utleniania. Badania te wyświetliły wpływ budowy chemicznej węglowodorów na ich skłonność do utleniania się i stabilizacji, jak również pozwoliły na ustalenie tych zależności w wypadku mieszanin. Ta część zainteresuje bliżej raczej chemików.

Wyjaśniono też rolę substancji smolistych zwykle występujących jako domieszki, które w różnym stopniu usuwane są przy rafinacji. Tworzą się one także zazwyczaj przy starzeniu olejów. Stwierdzono, że jedne z nich działają jako słabe inhibitory, inne jako dodatnie katalizatory utleniania, które paraliżują przy tym wpływ sztucznie wprowadzonych przeciwutleniaczy.

Węglowodory indywidualne tym łatwiej ulegają stabilizacji, im łatwiej utleniają się. Te, które są mniej wrażliwe

na działanie przeciwutleniaczy (tetralina i jej pochodne), przy starzeniu tworzą mniej produktów kwaśnych, a więcej asfaltowo-smolistych (polimeryzacja), dezaktywujących przeciwutleniacze.

W badaniach tych stwierdzono również, że przeciwutleniacze nie wpływają na kierunek procesu utleniania tj. na charakter produktów i ich ilościowe stosunki.

Dobór przeciwutleniaczy. Przy doborze przeciwutleniaczy dla olejów izolacyjnych należy brać pod uwagę specyficzne warunki pracy tych olejów.

Środki stabilizujące winny spełniać następujące wymagania:

- 1) stosunkowo łatwo rozpuszczać się w oleju i nie reagować z nim chemicznie,
- 2) nie zmniejszać użytkowych własności olejów, a głównie ich własności dielektrycznych (napiecie przebicia i tg $\delta$ ),
- 3) nie rozkładać się pod wpływem wody i metali,
- 4) nie wywierać gryzącego działania na metale, szczególnie żelazo i miedź, nie niszczyć izolacji,
- 5) nie ulegać zmianom przy dłuższym pozostawianiu w roztworze olejowym,
- 6) nie ulatniać się z oleju w temperaturze odpowiadającej roboczej temperaturze aparatu,
- 7) nie wykazywać higroskopijności.

Materiał w sprawie jakości stosowanych domieszek jest bardzo skąpy, gdyż wszyscy producenci olejów stabilizowanych trzymają je w największej tajemnicy.

Wiadomo, że ZSRR stosuje u siebie z powodzeniem aminofenole, przede wszystkim paraoksydofenyloaminę ( $C_6H_5NH \cdot C_6H_4OH$ ), którą dodaje się w ilości 0,01%. Zmniejsza ona 2 do 3 razy ilość kwasów, znacznie mniej skuteczna jest przeciw wypadaniu osadów. Według danych z 1947 r. technicy radzieccy poszukują nowych przeciwutleniaczy, pozbawionych wad, które wykazują aminofenole. Szereg związków zawierających grupy  $NH_2$  i  $SO_2$  dało w tym względzie dobre rezultaty. Ich zaletą jest to, że smoliste domieszki, znajdujące się w olejach, nie paraliżują ich działalności, co pozwala na rozszerzenie zakresu ich stosowania także na oleje mniej głęboko rafinowane, eksploatacyjne lub niedość dokładnie regenerowane.

W USA poleca się stosowanie trójbutylofosfitu i środka o nazwie lubrizol 714.

Amerykańska firma Gulf stosuje inhibitor pochodzący z destylacji pewnych frakcji ropy naftowej, przy czym olej przed dodatkiem inhibitora jest niezwykle starannie oczyszczany. Bliższych szczegółów co do jakości i ilości inhibitora brak.

### 13. Wpływ pochodzenia oleju na jego podatność do stabilizacji.

Przy produkcji olejów stabilizowanych do użytku technicznego zasadnicze znaczenie wobec wybiórczego działania przeciwutleniaczy ma jakość oleju poddawanego stabilizacji. Znaczenie tego zagadnienia podkreślone jest szeregiem prac badawczych, poświęcono mu też niemało czasu i uwagi na CIGRE w 1948 r.

Przyczyna leży w tym, że chemiczny skład olejów jest niejednakowy i zależy zarówno od surowca, z którego przygotowany jest olej, tzn. od ropy, jak i od sposobu wyprodukowania go, a szczególnie od głębokości rafinacji, której poddano wyjściowe destylaty.

Stopień wrażliwości olejów na działanie przeciwutleniaczy winien być zbadany dla każdej większej partii, przygotowanej do stabilizacji, gdyż niejednokrotnie stwierdzono, że oleje tej samej marki i z bliskimi fizyko-chemicznymi stałymi, a nawet dające jednakowe wyniki przy próbie przyspieszonego starzenia silnie różniły się swoją wrażliwością na działanie inhibitorów.

Duże znaczenie praktyczne ma także głębokość rafinacji, przy czym metoda rafinacji pozostaje bez wpływu (a więc niezależnie, czy stosowano wykwaszenie, rafinację wybiórczymi rozpuszczalnikami, czy traktowano oleje adsorbentami stałymi). Oleje „przerafinowane“, a więc pozbawione naturalnych domieszek asfaltowo-smolistych, stabilizują się łatwiej, niż oleje oczyszczone normalnie lub nieco niedostatecznie.

Najprostszym więc wyjściem wydawałoby się nieco głębsze niż zazwyczaj rafinowanie olejów, przeznaczonych



do stabilizacji, ale ten sposób ze względów ekonomicznych nie może być zalecany. Wiele olejów bez dodatkowego oczyszczenia wykazuje dostateczną wrażliwość na działanie inhibitorów.

Uczestnicy komisji CIGRÉ również opowiedzieli się przeciw stabilizowaniu olejów przerafinowanych, które są wprawdzie wrażliwsze na działanie inhibitorów, ale w stanie niestabilizowanym nie wytrzymują próby przyspieszonego starzenia, co jest podstawowym warunkiem przy klasyfikacji przydatności olejów izolacyjnych. Nieprzestrzeganie tego warunku mogłoby posłużyć nieuczciwym rafinerom jako sposób zamaskowania wad oleju wyjściowego.

#### 14. Produkcja olejów stabilizowanych.

Po ustaleniu wrażliwości oleju na działanie obranego przeciwutleniacza sama stabilizacja oleju, tj. dodanie domieszki we właściwej ilości i możliwie dokładne rozpuszczenie jej, jest czynnością prostą i nie wymaga szerszego omówienia.

Oleje uszlachetnione przez stabilizację produkowane są głównie w Ameryce i w ZSRR.

Dodatek inhibitorów podnosi cenę olejów amerykańskich o 10%, ale ta zwykła cena jest niewspółmiernie skompensowana przez długi okres pracy, z czego wynika, że oleje uszlachetnione okazują się w eksploatacji tańsze, niż oleje chociażby najlepszej jakości, ale bez domieszek.

#### 15. Oleje stabilizowane w praktyce eksploatacyjnej.

Zależność skuteczności działania inhibitorów od stopnia oczyszczenia olejów ogranicza zakres ich stosowalności głównie do olejów świeżych. Oleje, które już były w eksploatacji, mogą podlegać stabilizacji tylko w wypadku, gdy utlenianie ich znajduje się w początkowym stadium i nie wyszło poza okres indukcyjny. Przyjęto, że liczba kwasowa tych olejów nie może przekraczać 0,1 mg KOH/g.

Stabilizacja olejów regenerowanych jest skuteczna tylko przy dostatecznie pełnej regeneracji; oleje stabilizują się wtedy jak świeże. Oleje stabilizowane tracą w czasie regeneracji chemicznej inhibitor i po regeneracji muszą być stabilizowane powtórnie.

Domieszka inhibitorów do olejów izolacyjnych nie zmniejsza ich innych użytkowych własności, a szczególnie izolacyjnych. Natomiast nieco kłopotliwie przedstawia się pierwszy okres wprowadzania ich do ruchu. Sama sprawa mieszanina olejów stabilizowanych z niestabilizowanymi świeżymi lub będącymi w eksploatacji dostatecznie komplikuje zagadnienie. Czy wolno np. stosować oleje stabilizowane na dolewki do transformatorów? Opierając się na wyżej podanym materiale teoretycznym i obserwacjach radiologicznych i amerykańskich, powinniśmy obawiać się powstania osadów.

Ponieważ oleje stabilizowane pożądane są raczej dla transformatorów małych, niż dla jednostek wielkich, w których starzenie jest znacznie powolniejsze, gdyż rzadko są one przeciążane, można temu zaradzić przez całkowitą wymianę oleju.

Wszystkie te zastrzeżenia, oczywiście, znacznie utrudniają swobodę zaopatrywania się w oleje izolacyjne i zmuszają użytkowników do przedsięwzięcia szeregu ostrożności.

Oleje stabilizowane są szczególnie przydatne w wypadku suszenia transformatorów poprzez olej. Ponieważ zabieg ten trwa zwykle długo, a temperatura jest wysoka (ok. 100°C), możliwe są też miejscowe przegrzania, może się więc okazać, że olej wypełniający transformator po ukończonym suszeniu nie nadaje się do dalszej pracy i musi być wymieniony. Oleje stabilizowane, oczywiście, znacznie lepiej wytrzymują takie suszenie i, jak stwierdzono w praktyce, oddają tu szczególne usługi.

Zaleca się też stosowanie olejów stabilizowanych do napełniania izolatorów przepustowych, w których oleje zwykle często starzeją się dość szybko wskutek bezpośredniego działania promieni słonecznych.

Natomiast nie zaleca się stosowania olejów stabilizowanych do napełniania wyłączników olejowych, gdyż olej nie podlega w nich starzeniu w zwykłym rozumieniu tego słowa. W chwili gaszenia łuku pod wpływem wysokiej temperatury (3000°) olej rozkłada się z wytworzeniem gazowych i innych produktów rozpadu — aż do wolnego węgla. W tych warunkach domieszka przeciwutleniacza będzie, oczywiście, bezskuteczna.

Oleje stabilizowane znalazły największe rozpowszechnienie w ZSRR i USA. Według oświadczenia przedstawiciela amerykańskiego na posiedzeniu CIGRÉ w 1948 r. inhibitory używane są do uszlachetniania olejów transformatorowych już od 1929 r., przy czym oleje stabilizowane stosowane są na razie tylko do transformatorów, w których ze względu na ciężkie warunki pracy oleje mineralne zwykle sprawiały duże trudności, np. w pewnym transformatorze wyprodukowanym w 1918 r. oleje mineralne wytrzymywały nie dłużej niż 18 miesięcy pracy, natomiast po zalaniu tego aparatu olejem stabilizowanym, przy tym samym obciążeniu i tych samych pozostałych warunkach, już od przeszło 8 lat ustały kłopoty ze zwiększaniem się kwasowości oleju i nagromadzeniem osadu.

#### 16. Ocena przydatności olejów stabilizowanych.

Eksploatacja olejów izolacyjnych, uszlachetnionych przez dodatek przeciwutleniaczy, dowiodła ponad wszelką wątpliwość ich użyteczności. Starzenie olejów zostało znacznie zahamowane, przy czym — zależnie od rodzaju użytecznego inhibitora — zmniejsza się znacznie szybkość wytwarzania się kwasów lub tracąca osadów. Działanie inhibitora występuje zawsze w obu tych kierunkach i najczęściej w jednym z nich jest intensywniejsze niż w drugim.

Ostateczna ocena olejów stabilizowanych nie jest w chwili obecnej jeszcze możliwa, gdyż brak dla nich właściwych kryteriów. Próba przyspieszonego starzenia, stosowana dotąd dla olejów zwykłych, w wypadku olejów stabilizowanych zawodzi, gdyż należy prowadzić ją bardzo długo. Poza tym (na co słusznie zwrócono uwagę na sesji Komitetu CEI w 1949 r. w Stresie) olej stabilizowany może z dobrym skutkiem wytrzymać próbę przyspieszonego starzenia, szczególnie gdy ograniczony jest czas jej trwania, a potem źle zachowywać się w warunkach eksploatacyjnych.

Doświadczeń praktycznych jest także niewiele, gdyż metoda jest zdobywać stosunkowo nową, a oleje niestabilizowane w warunkach pomyślnych mogą pracować do 20 lat lub nawet dłużej. Znacznie obfitszy materiał doświadczalny zebrano dla innych olejów energetycznych, mianowicie dla turbinowych, przy czym trzeba podkreślić, że wyniki są nadzwyczaj pomyślne.

#### 17. Uwagi końcowe.

Opisane wyżej metody walki ze starzeniem olejów izolacyjnych nie wyczerpują całości zagadnienia.

Najbardziej troskliwy dobór gatunku oleju, czy też najbardziej skuteczne inhibitory nie zapobiegą starzeniu olejów, jeśli oddane będą do użytku zakładów, w których nie będzie zwrócona dostateczna uwaga na ogólną kulturę eksploatacji, a przede wszystkim na czystość i unikanie stwarzania warunków, sprzyjających starzeniu.

Wyjaśnienie przyczyn starzenia olejów i zapoznanie z nimi obsługi aparatów winno mieć następstwa praktyczne, od których właśnie będzie zależało powodzenie całej akcji zwalczania starzenia się olejów.

#### LITERATURA

- Aptow I. S. i Iwanow W. S. Regeneracja masel z promienniem granulowanych adsorbentow. 1945.
- ASEA. Erection and maintenance of oil-insulated transformers. A. S. T. M. Standards on petroleum products and lubricants. Huiles isolantes. CIGRÉ, 1948, Comité No 1.
- Oleje izolacyjne w elektroenergetycznych transformatorach i wyłącznikach. Projekt II PN/E-41.
- General Electric Company. How to maintain electric equipment. 1944.
- Holde. Kohlenwasserstoffe und Fette.
- Kan A. W. i Kosjakin A. H. Starjenje i regeneracija mineralnih masel. 1946.
- Karas Fr. Hospodarenje elektraren s oleji 1935.
- Liander H. Short time testing of oxidation resistance of transformer oil. ASEA Journal, 1949, 1-2, str. 28-35.
- Seidel St. Niepalne płyny izolacyjne jako materiały zastępcze dla oleju mineralnego. Przegl. Elektr., 1948, z. 6, str. 174.
- Die Oelbewirtschaftung-Vereinigung der Elektrizitätswerke, E. V. ORGRES. Rukowdiaszczyje ukazanja po czystkie i regeneraciji izolacijonnych, turbinnych i smazocznych masel.
- Tiechniczeskije normy na neftieprodukty, 1946.
- Wodopodgotowka, maslancje chozajstwo i kontrol kaczestwa topliwa na elektrostancjach. Redaktor H. G. Naumow. 1947.

## Dyskusja na konferencji technicznej poświęconej sprawie olejów izolacyjnych

po wysłuchaniu referatu inż. T. Lipińskiej-Pilarzowej pł.

### Starzenie olejów izolacyjnych i walka z tym objawem\*)

Zagajenie przewodniczącego inż. B. G. Witwińskiego. Dzisiejsza konferencja olejowa, zorganizowana przez Zarząd Główny SEP, jest zebraniem innego typu niż zwykle zebrania odczytowe. Obrany został temat dość specjalny, jednak bardzo ważny dla naszej techniki i dla gospodarki w planie 6-letnim. Obszerne streszczenie referatu zostało w celu lepszego przygotowania dyskusji rozesłane wraz z zaproszeniami do szeregu specjalistów oraz do instytucji zainteresowanych gospodarką olejową, jak np. CPN. Toteż głos na dzisiejszym zebraniu będą zabierali również przedstawiciele przemysłu naftowego oraz instytucji badawczych.

Inż. Kwiatkowski. Zaniechanie badań nad napięciem powierzchniowym oleju wydaje się godnym ubolewania. Badanie jest wszak łatwe, np. badanie metodą pecherzykową wykonywane przez studentów trwa zaledwie kilka minut; mogłoby więc być wyzyskane jako wskaźnik starzenia oleju.

Inż. Pilarzowa. Napięcie powierzchniowe oleju wzrasta znacznie w miarę postępu starzenia. W niektórych państwach (np. Włochy) stosuje się więc pomiar napięcia powierzchniowego jako kryterium przy badaniu starzenia; wydaje się jednak, że w naszych warunkach normalne laboratoria eksploatacyjne pomiarów tych wykonywać nie mogą.

Inż. Stańczyk. W referacie pominięto rolę aluminium jako katalizatora przy starzeniu oleju.

Inż. Hasterman. Aluminium — w odróżnieniu od miedzi i żelaza — nie wpływa na zjawisko starzenia oleju; nie jest katalizatorem.

Inż. Witwiński. Prosimy referentkę o wyjaśnienie, w jakim stopniu mieszanie różnych gatunków oleju przyspiesza proces starzenia.

Inż. Pilarzowa. Obawy przed mieszaniem różnych gatunków oleju są w znacznym stopniu pozostałością przedwojennej konkurencji między wielkimi firmami olejowymi; obawy te są bardzo przesadzone.

Inż. Woysła w. Istnieją jednak przypadki, gdy mieszanie jest bardzo szkodliwe. Oleje parafinowe np. są skłonne do wytwarzania kwasów pod wpływem tlenu i temperatury, naftenowe natomiast — do wytwarzania osadu. Mieszanka zazwyczaj łączy w sobie ujemne cechy obu olejów. Zjawisko to tłumaczy się prawdopodobnie neutralizacją naturalnych inhibitorów, znajdujących się w każdym oleju i chroniących go od starzenia.

Inż. Pilarzowa. Według doświadczeń radzieckich dla olejów stabilizowanych okres użytkowania okazał się 2—3 razy dłuższy niż dla olejów zwykłych. Natomiast cena olejów stabilizowanych jest tylko o 10% wyższa w porównaniu z niestabilizowanymi. Wydaje się więc, że stosowanie inhibitorów jest gospodarczo uzasadnione. Manipulacje przy stosowaniu inhibitorów są bardzo proste i sprowadzają się do zwykłego zmieszania ich z olejem.

Inż. Szczepanik. Przy manipulacjach związanych z gospodarką olejową popełniano niekiedy rażące błędy, np. suszono rdzeń wielkiego transformatora „poprzez olej” (tj. wirując olej w obiegu zamkniętym) w ciągu 2,5 miesięcy; w ciągu tego czasu liczba kwasowa wzrosła z 0,06 na 0,5; liczba zmydlania z 0,3 na 4. A więc zmarnowano olej.

Inż. Hasterman. Suszenie uzwojeń poprzez olej jest właściwie nonsensem, gdyż izolacja włóknista jako bardziej higroskopijna od oleju oddaje podczas tego procesu tylko nieznaczną część swej wilgoci, olej zaś bardzo się psuje.

Inż. Szczepanik (w odpowiedzi na zapytanie jednego z uczestników). Na Śląsku olej nalany do wielkich transformatorów badany jest 2 razy w ciągu pierwszego miesiąca, 1 raz w ciągu następnego miesiąca, a następnie co 3 miesiące.

Jako najwyższą temperaturę dopuszczalną przy wirowaniu uważa się 70°. Należy zwrócić specjalną uwagę, by olej pobierano z górnej części transformatora, wtłaczano zaś go do dolnej części.

Inż. Woysła w. Oprócz liczby kwasowej ważne znaczenie ma „liczba neutralizacji”, która wyraża zawartość wszystkich kwasów, zarówno rozpuszczalnych jak i nierozpuszczalnych w wodzie. W Głównym Instytucie Paliw Naturalnych określa się obie te liczby: ich różnica jest miarą ilości kwasów niskodrobinowych, bardzo szkodliwych dla izolacji. W toku są badania mające na celu ustalenie dopuszczalnego stosunku liczby kwasowej do liczby neutralizacji. Liczba zmydlania jest tylko wskaźnikiem kontrolnym.

Inż. Gruszkowski. Ważność kwasów niskodrobinowych znalazła swój wyraz w instrukcji eksploatacyjnej C. Z. E., która uzależnia dopuszczalną liczbę kwasową od odczynu wyciągu wodnego. Mianowicie przy obojętnym odczynie wyciągu wodnego dopuszczalna liczba kwasowa jest 2 razy większa niż przy kwaśnym.

Inż. Kuligowski. Aparaty do badania wytrzymałości oleju na przebicie posiadają wiele wad, a wyniki uzyskane na różnych aparatach różnią się między sobą. Konieczne jest wprowadzenie zmian konstrukcyjnych, np. sprawdzian odległości elektrod powinien być okrągły.

Inż. Witwiński. Czy przemysł badał sprawę możliwości stosowania inhibitorów?

Inż. Marcinkiewicz. Nie ustalono do dnia dzisiejszego niezawodnych metod próby na starzenie oleju. Nie ma dwóch identycznych olejów, a również ropa jest produktem o niejednorodnym składzie. Prace przemysłu naftowego zmierzają w następujących kierunkach:

1. Racjonalnego doboru gatunków ropy. Produkcja opiera się na ropie parafinowej, lecz odparafinowanej dla obniżenia punktu krzepnięcia.

2. Wprowadzenia dwóch gatunków olejów izolacyjnych o różnej temperaturze krzepnięcia. Jest to konieczne ze względu na ograniczone możliwości zaopatrzenia się w oleje o niskim punkcie krzepnięcia. Przewidywane jest wydanie zakazu używania olejów o niskim punkcie krzepnięcia do transformatorów wewnętrznych.

3. Ulepszenia metod produkcji. Najkorzystniejszą okazuje się rafinacja z użyciem małej ilości kwasu i dużej ilości ziem alkalicznych. Co się tyczy inhibitorów, to są trudności w uzyskaniu od przemysłu chemicznego odpowiednich preparatów.

Inż. Michałowska. Jako inhibitory mogą być też użyte związki siarki, a ostatnią nowością są związki selenowe. Jest rzeczą ważną stwierdzenie, czy badania nad inhibitorami są potrzebne i czy będą one wyzyskane.

Inż. Marcinkiewicz. Inicjatywa w tej sprawie wyjdzie ze strony przemysłu naftowego. Jest rzeczą niewątpliwą, iż okres użytkowania olejów w eksploatacji jest obecnie zbyt krótki; olej wymienia się zbyt często, co przyczynia się do trudności w zaopatrzeniu.

Inż. Hekel. Klasyfikacja oleju na 2 gatunki jest sprzeczna z wytycznymi przyjętymi przez komisję normalizacji maszyn elektrycznych, która ustaliła dla olejów temperaturę krzepnięcia — 35°. Względy gospodarcze są jednak ważniejsze od ułatwień w pracach normalizacyjnych.

Inż. Marcinkiewicz. Czy istnieje możliwość zmiany niedogodnego dla producenta wymagania, aby lepkość oleju nie przekraczała 50°?

Inż. Szczepanik. Podwyższenie dopuszczalnej lepkości pogarsza warunki chłodzenia, a więc zagrażałoby silnie obciążonym transformatorom, co wobec braku rezerw w dziedzinie wielkich transformatorów wydaje się rzeczą ryzykowną.

Inż. Witwiński. Czy możliwe jest tworzenie się w oleju izolacyjnym wody w drodze syntezy? Praktyka zdaje się potwierdzać to pytanie.

\*) Konferencja zorganizowana przez Zarząd Główny SEP odbyła się dnia 28. III. 1950 r. w Warszawie.

Inż. Marcinkiewicz. W wyłącznikach niewątpliwie tworzy się woda ze względu na wysoką temperaturę w otoczeniu łuku.

Inż. Hasterman. Według referatu na Konferencji Wielkich Sieci w Paryżu z 1948 r. około 40% tlenu związanego przez olej podczas reakcji starzenia zużywa się na wytworzenie wody. Jest to ilość znaczna i może być przyczyną uszkodzeń silnie obciążonych transformatorów; woda ta wydziela się w postaci pęcherzyków pary w miejscach najgorętszych.

Inż. Witwiński. Czy słuszne jest wyzyskanie zużytych olejów izolacyjnych do podrzędnych celów?

Inż. Pilarzowa. Tego rodzaju gospodarka jest pożądana i popierana przez instrukcje, które, przewidując 3 klasy wymagań dla oleju, wyraźnie wskazują drogę kolejnego zużywania oleju do coraz podrzedniejszych celów.

Inż. Witwiński. Jak się przedstawia obecnie organizacja regeneracji olejów?

Inż. Marcinkiewicz. Choć formalnie prawo to przysługuje tylko rafineriom, jednak Centrala Produktów Naftowych godzi się na wykonywanie regeneracji także we wszelkich zakładach przemysłowych posiadających odpowiednie urządzenia.

Inż. Szczepanik. Na Śląsku stosuje się na znaczną skalę regenerację przy pomocy ziem aktywowanych.

Inż. Witwiński. W jakim stopniu olej regenerowany jest gorszy od świeżego?

Inż. Marcinkiewicz. Okres używalności jest krótszy. W Ameryce stosuje się mieszaninę:  $\frac{1}{3}$  oleju regenerowanego,  $\frac{2}{3}$  świeżego, wykazującą okres używalności taki sam prawie jak oleje świeże.

Inż. Pilarzowa. Jak się przedstawia sprawa olejów syntetycznych?

Inż. Chudzyński. Prace doprowadziły do otrzymania w skali półtechnicznej chlorowanych fenoli. Ko-

nieczne jest ustalenie wspólnie z G. I. El. przydatności tych produktów.

Inż. Witwiński. W jakim stopniu syntetyczne oleje są niepalne?

Inż. Chudzyński. Zależnie od stopnia schlorowania; pięciochlorodwufenyl jest całkowicie niepalny.

Inż. Dryś. Jednym z ważnych wskaźników starzenia jest także zmiana fluorescencji; sprawę tę warto opracować.

Końcowe przemówienie przewodniczącego inż. B. Witwińskiego. Dzisiejsza konferencja olejowa dała elektrykom nieczęsto zachodzącą możliwość zetknięcia się z kolegami z przemysłu naftowego oraz chemikami w celu przedyskutowania zagadnień olejów izolacyjnych. Miarą wagi zagadnienia dla gospodarki narodowej jest ponoszona stale strata na skutek starzenia się oleju.

Przedyskutowano kilka zagadnień, dotyczących eksploatacji transformatorów, jak np. sposoby napełniania transformatorów, właściwe i niewłaściwe sposoby oczyszczania oleju, sposoby pobierania próbek, zagadnienie mieszania różnych gatunków oleju, objawy starzenia. Dyskusja była niewątpliwie cennym uzupełnieniem i skomentowaniem istniejących przepisów i instrukcji CZE.

Poruszono sprawę tzw. stabilizatorów, tj. dodatków hamujących proces starzenia. Uznano, że sprawa jest bardzo ważna i że zająć się nią powinna Centrala Produktów Naftowych, jako dostawca olejów, do którego obowiązków należy również kontrola konsumpcji i akcja oszczędnościowa na tym odcinku.

Uznano wreszcie, że zagadnienie izolacyjnych cieczy niepalnych (piranol i inne), mogących zastąpić olej, zasługuje na zbadanie. W tej sprawie potrzebna jest współpraca Głównych Instytutów Chemii i Elektrotechniki.

INŻ. J. GNIEWIEWSKI

## Burze i przepięcia w polskich napowietrznych sieciach wysokich napięć w roku 1948

Według statystyki Komisji Przepięć i Zakłóceń Sieciowych SEP

Treść. Podano wyniki opracowania materiału statystycznego, zgromadzonego za rok 1948 oraz częściowe zestawienie tego materiału z wynikami badań z lat dawniejszych. Analiza burz. Wpływ i skutki wyładowań w urządzeniach energetycznych. Straty i wypadki.

Грозы и перенапряжения в польских воздушных сетях высокого напряжения в 1948 г. Приводятся результаты обработки статистического материала за 1948 год и частичное сопоставление его с результатами исследований прежних лет. Анализ гроз. Влияние и последствия атмосферных разрядов в электроэнергетических установках. Убытки и несчастные случаи.

Thunderstorms and over-voltage in high-tension overhead lines in Poland in 1948. The article contains the results of statistical data compiled for 1948, as well as a partial comparison of these with the results of research carried out in previous years. Analysis of thunderstorms. Influence and effects of discharges on power equipment. Damage and accidents.

### 1. Wstęp.

Wznawiając po wojnie swą działalność, Komisja Przepięć i Zakłóceń Sieciowych postanowiła kontynuować zapoczątkowaną dawniej pracę statystycznego badania burz i przepięć.

Poważne zmiany, które zaszły w czasie wojny i po wojnie w energetyce polskiej, nie pozwalają nawiązać ściśle badań obecnych do badań dawniejszych. Znaczenie ściśle nawiązania maleje jednak wobec zaszłych w międzyczasie zmian geograficznych, organizacyjnych i technicznych oraz wobec znacznego okresu przerwy w prowadzeniu samych badań (10 lat).

Badania obecne mają niewątpliwie większe możliwości niż dawniejsze. Liczyć się jednak należy, szczególnie w pierwszych latach po wznowieniu pracy, z tym, że przed energetyką polską stoją zadania różnorodne, rozległe i wymagające niezwykłego wysiłku. Są one często hierarchicznie ważniejsze od badania zjawisk burzowych i przepięciowych. Odbudowa zniszczeń wojennych w energetyce i w przemyśle oraz gwałtowna potrzeba dostarczania wszelkim odcinkom odradzającego się i rozbudowującego się życia znacznych ilości energii itp. przesuwają z konieczności na plan dalszy zagadnienia bardziej specjalne.

Dużą przeto zasługą SEP, CZE, Zjednoczeń Energetycznych i nielicznego grona fachowców, którzy stanęli do pracy badawczej nad tematem przepięciowym, jest to,

że oddając swój czas, wiedzę i siły narówni z innymi dla zadań podstawowych, hierarchicznie dziś najważniejszych, chcieli i umieli poświęcić jeszcze pewną ilość czasu i sił również temu tematowi.

### 2. Materiał badawczy.

Podstawą do opracowania zawartego w niniejszym referacie materiału, którego nie można jeszcze uważać za kompletny, były:

1) kwestionariusze burzowe w podanym niżej brzmieniu, opracowane przez podkomisję 1 Komisji (ob. załącznik);

2) materiały statystyczne polskie i niemieckie, będące w posiadaniu PIHM.

Kwestionariusze burzowe zostały rozesłane wszystkim Zjednoczeniom Energetycznym przez C. Z. E. przed sezonem burzowym roku 1948.

Niestety, nie wszystkie zjednoczenia zebrały materiał; z tych zaś zjednoczeń, które go nadesłały, nie wszystkie dały opracowania kompletne, odpowiednio jednolite i staranne. Fakt ten wytworzył wiele poważnych trudności przy opracowywaniu statystyki; materiał wymagał nie-raz skomplikowanych rachunków, zestawień, rysunków pomocniczych i innych dociekań w dążeniu do odpowiedniego zgrupowania oraz do śledzenia przebiegów i wyciągania wniosków. Z uznaniem należy przeto podkreślić



zasługę tych zjednoczeń, które włożyły wiele wysiłku w jak najlepsze zebranie i opracowanie materiału statystycznego.

Rzuca się w oczy brak w wymienionym materiale badawczym kwestionariuszów sieciowych (technicznych), charakteryzujących zespół urzędów objętych badaniami. Brak ten, uniemożliwiający stwierdzenie zależności pomiędzy stroną klimatologiczną a techniczną, tłumaczy się znacznymi trudnościami, które napotymano przy opracowywaniu kwestionariusza sieciowego, a wobec których Komisja stanęła na stanowisku, że nie należy opóźniać zapoczątkowania badań oczekiwaniem na kwestionariusz sieciowy i ograniczyć się w pierwszym etapie pracy z konieczności do wyników częściowych.

Ogółem nadesłano 259 kwestionariuszów burzowych z 8 zjednoczeń energetycznych. Wynika z tego, że już w momencie zapoczątkowania pracy ok. 60% zjednoczeń oddało do dyspozycji swoje możliwości badawcze. Okazały się one różne: na jedno zjednoczenie przypada od 5 do 64 kwestionariuszów. Bezsprzecznie można by do tego zestawienia wprowadzić poprawkę uwzględniającą obszar zjednoczenia, długość sieci, klimat itd., lecz nawet te poprawki doprowadzają do stosunku jak 1:10.

Geograficzne rozłożenie nadesłanego materiału, przy jednoczesnym uwzględnieniu jego jakości i ilości, wskazuje na to, że statystyka za rok 1948 zostały objęte dość dobrze środkowe południe kraju i prawie cały środek kraju; słabiej wystąpiły środkowy zachód i środkowy wschód; zupełnie nie nadesłały materiału następujące dzielnice: cała północ kraju, południowy wschód i południowy zachód (tabl. I).

Tablica I. Pochodzenie nadesłanego materiału statystycznego

| Część kraju       | Liczba nadesłanych kwestionariuszów |              | Liczba zjednoczeń energetycznych reprezentujących daną część kraju |
|-------------------|-------------------------------------|--------------|--|
|                   | sztuk                               | %            |  |
| Środek            | 140                                 | 54 %         | 5  |
| Środkowy wschód   | 21                                  | 8 %          | 2  |
| Południowy wschód | 0                                   | 0 %          | 1  |
| Środkowe południe | 48                                  | 18 %         | 1  |
| Południowy zachód | 0                                   | 0 %          | 1  |
| Środkowy zachód   | 50                                  | 20 %         | 1  |
| Północny zachód   | 0                                   | 0 %          | 1  |
| Środkowa północ   | 0                                   | 0 %          | 1  |
| Północny wschód   | 0                                   | 0 %          | 1  |
| <b>Razem</b>      | <b>259</b>                          | <b>100 %</b> | <b>14</b>  |

Materiał z dziedziny pozaenergetycznej pochodzi z wstępnych opracowań i zapisów znajdujących się w archiwach PIHM. Według otrzymanych z tej instytucji wyjaśnień pełne opracowanie istniejących archiwów i bieżących zapisów wymagać będzie dłuższego czasu. Jednak PIHM, w zrozumieniu naszych potrzeb, umożliwił już obecnie uzyskanie podstaw do opracowania wstępnego. W ten sposób powstała, jako pierwsze przybliżenie dla tego ważnego tematu, mapa średniej liczby dni z burzą w roku w Polsce (rys. 3), zestawiona i wykonana przez mgra W. Wiszniewskiego. Zaznaczyć tu należy, że materiały, które posłużyły do wykonania tej mapy, nie są jednolite co do pochodzenia, czasu obserwacji, zagęszczenia punktów obserwacyjnych itp. szczegółów. Stan, pokazany na obszarze kraju obejmującym Ziemię Odzyskaną, można najprawdopodobniej traktować jako ostateczny. Obraz Polski środkowej ulegnie zapewne w ciągu następnych lat pewnym zmianom w wyniku bardziej drobiazgowych opracowań materiałów archiwalnych i przy uwzględnieniu badań bieżących. Zamiaarem Komisji jest aktualizowanie podanej tu mapy, przypuszczalnie co 3 lata, w miarę zdobywania coraz dokładniejszych danych.

### 3. Obserwatorzy.

Porównując jakość nadesłanego materiału z kwalifikacjami obserwatorów (tabl. II) można sformułować dwa spostrzeżenia: 1) opracowanie materiału dokonane przez

personel o wyższych i średnich kwalifikacjach technicznych jest na ogół jednolite i dobre; w jednym tylko, lecz dość znacznym ilościowo przypadku (jedno zjednoczenie) kwalifikacje średnie dały materiał stosunkowo słaby, słabszy nawet niż opracowanie dokonane przez personel

Tablica II. Personel obserwatorski pod względem kwalifikacji

| Kwalifikacje | Personel w % ogólnej ilości materiału z r. 1948 |
|--------------|---|
| Inżynierowie | 1%  |
| Technicy     | 12%   |
| Monterzy     | 20%   |
| Nieznani     | 67%   |

o kwalifikacjach niższych innego zjednoczenia; 2) opracowanie materiału dokonane przez personel o niższych kwalifikacjach jest bardzo niejednolite i od opracowań zupełnie dobrych waha się do całkiem złych.

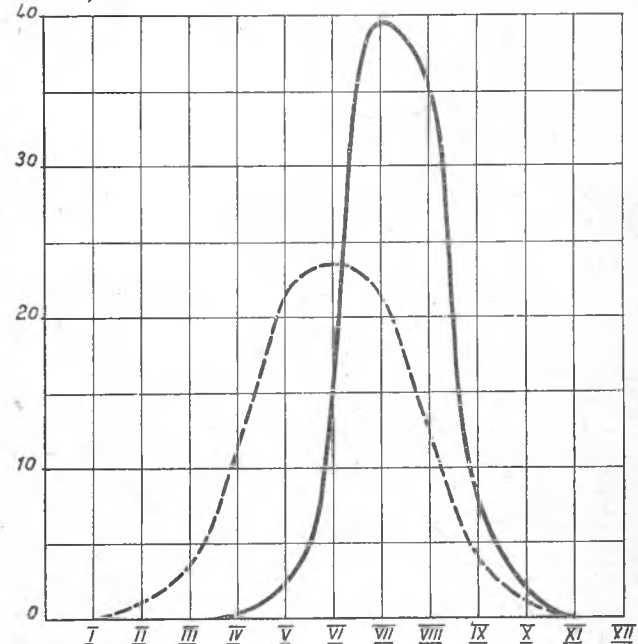
Niedostateczne opracowanie odpowiedzi na całość kwestionariusza daje pewien pogląd na stopień ogólnego i specjalnego wykształcenia personelu sieciowego. Istnieją jednak w kwestionariuszu dwa pytania (wysokość strat bezpośrednich i czas trwania wyłączenia, uzupełniony pytaniem co do rozległości terenu odłączonego), na które odpowiedź, jak to wynika z nadesłanego materiału, podawana jest w wielu przypadkach bardzo niejasno, a najczęściej w ogóle pomijana.

Dodać tu także należy, że podawanie nazwiska obserwatora nie ma w zasadzie znaczenia dla statystyki. Może mieć znaczenie dla zjednoczenia, a poza zjednoczeniem tylko wówczas, gdyby kwestionariusze wskazywały na potrzebę zebrania dodatkowych danych. Niezależnie więc od podania lub niepodania nazwiska należy zawsze jednak podawać kwalifikacje lub funkcje obserwatora.

### 4. Burze.

W opracowaniu statystyki za rok 1937, ostatnim przed wojną, w części II tego opracowania (PE, z. 12, 21. VI. 38, str. 361—369) potraktowano szereg wyników z czterech

% liczby burz



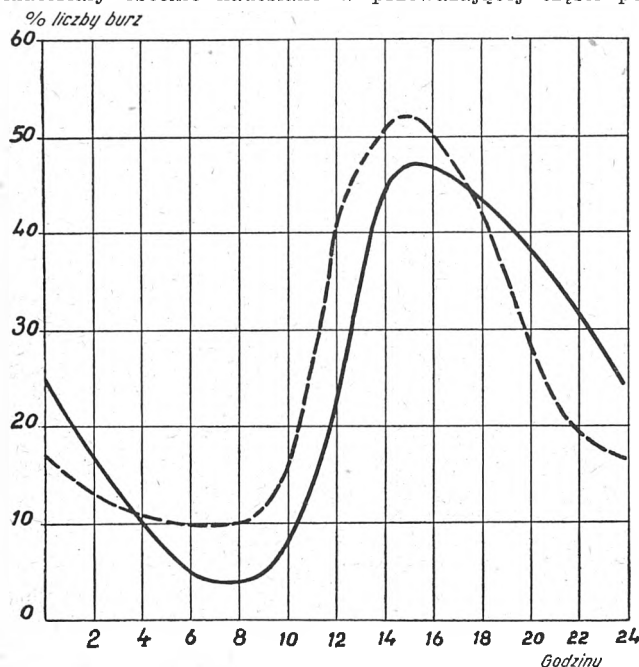
Rys. 1. Podział burz według miesięcy (w %/0/0)

Linia ciągła — stan w roku 1948. Linia przerywana — średnio w latach 1934—37.

lat gromadzenia danych jako wyniki bliskie ostatecznym. W niniejszym referacie niektóre wyniki badań obecnych zestawione są z odpowiednimi wynikami sprzed wojny, celem częściowego choćby nawiązania do badań dawniejszych. Dotyczy to podziału burz według miesięcy (rys. 1),

według towarzyszących im opadów (tabl. III), według nasilenia opadów (tabl. IV), według nasilenia burzy (tabl. V), według kierunku posuwania się burzy (tabl. VI), i według pory dnia, w której burza wystąpiła (rys. 2). Tabl. VII podaje czas trwania burz dla 1948 r.

Zestawienie takie jest możliwe ze względu na to, że materiały obecnie nadesłane w przeważającej części po-



Rys. 2. Podział burz według pory dnia (w %/0/0)

Linia ciągła — stan w roku 1948. Linia przerywana — średnio w latach 1934—37.

krywają się terenowo z materiałami zbieranymi przed wojną.

Ogólna liczba burz w roku 1948 poddana w niniejszym referacie badaniom wynosi, jak wspomniano, 259.

Tablica III. Podział burz według rodzaju towarzyszących im opadów

| Rodzaj opadów | B a d a n i a    |                          |
|---------------|------------------|--------------------------|
|               | obecne (1948 r.) | średnio w latach 1934—37 |
| Deszcz        | 92%              | 82%                      |
| Grad          | 4%               | 7%                       |
| Śnieg         | 1%               | 1%                       |
| Bez opadu     | 3%               | 10%                      |
| Razem         | 100%             | 100%                     |

Analizując materiał z r. 1948 według poszczególnych, geograficznie ujętych części kraju, można powiedzieć co następuje:

a) pod względem występowania burz w poszczególnych miesiącach obserwowano się ich częstsze stosunkowo wy-

Tablica IV. Podział burz według nasilenia towarzyszących im opadów

| Nasilenie opadu   | B a d a n i a    |                          |
|-------------------|------------------|--------------------------|
|                   | obecne (1948 r.) | średnio w latach 1934—37 |
| Silne             | 40%              | 27%                      |
| Średnie           | 36%              | 49%                      |
| Słabe i bez opadu | 24%              | 24%                      |
| Razem             | 100%             | 100%                     |

stępowanie wiosną na południu kraju, z początkiem lata na wschodzie i zachodzie, z końcem lata w środku kraju,

przy utrzymaniu się większego nasilenia w środku kraju pod jesień;

b) pod względem rodzaju opadu towarzyszącego burzy obserwowano się stosunkową przewagę burz z deszczami

Tablica V. Podział burz według nasilenia

| Gwałtowność burzy | B a d a n i a |                          |
|-------------------|---------------|--------------------------|
|                   | w 1948 r.     | średnio w latach 1934—37 |
| Gwałtowne         | 40%           | 20%                      |
| Średnie           | 31%           | 49%                      |
| Słabe             | 29%           | 31%                      |
| Razem             | 100%          | 100%                     |

na wschodzie kraju, przewagę zaś burz z gradem na południu kraju; środek kraju dał stosunkową przewagę w rubryce bezopadowej;

c) pod względem nasilenia opadu obserwowano się stosunkową przewagę nasilenia dużego na wschodzie kraju, średniego zaś i słabego na zachodzie;

d) pod względem gwałtowności burzy obserwowano się stosunkową przewagę burz gwałtownych na wschodzie kraju, średnich w środku kraju, a słabych na zachodzie;

e) pod względem kierunków dążenia burz środek kraju zgromadził stosunkową większość burz o południkowym

Tablica VI. Podział burz według kierunku dążenia

| Kierunek dążenia |    | B a d a n i a |                          |
|------------------|----|---------------|--------------------------|
| z                | na | w 1948 r.     | średnio w latach 1934—37 |
| N                | S  | 7%            | 5%                       |
| NE               | SW | 1%            | 7%                       |
| E                | W  | 2%            | 5%                       |
| SE               | NW | 4%            | 12%                      |
| S                | N  | 8%            | 13%                      |
| SW               | NE | 21%           | 22%                      |
| W                | E  | 41%           | 23%                      |
| NW               | SE | 16%           | 13%                      |
| Razem            |    | 100%          | 100%                     |

kierunku dążenia i to w obie strony — na północ i na południe, wschodnie zaś i zachodnie części kraju miały przewagę burz o równoleżnikowym kierunku dążenia; we wszystkich jednak częściach kraju dominujący ogólnie jest kierunek dążenia z zachodu lub z południowo-zachodu na wschód;

f) pod względem pory dnia, w której burza wystąpiła, wyniki statystyki dały materiał niewielki; można by powie-

Tablica VII. Podział burz z r. 1948 według czasu ich trwania

| Czas trwania                             | Procent burz |
|--|--------------|
| Burze krótkie — znacznie poniżej 1 godz. | 34%          |
| Burze średnie — około 1 godz.            | 11%          |
| Burze długie — znacznie powyżej 1 godz.  | 55%          |
| Razem                                    | 100%         |

zieć że środkowe południe kraju jest stosunkowo najspokojniejsze pod względem burz w godzinach nocnych, ranne burze niepokoją głównie wschód kraju, późniejsze zaś — środek;

g) pod względem czasu trwania burzy obserwowano się stosunkowo najwięcej burz długotrwałych na wschodzie kraju, krótkotrwałych zaś na południu kraju.

## 5. Wyładowania.

Charakterystyka terenu. Uchwycenie ścisłych zależności pomiędzy charakterystyką terenu a wyładowaniami byłoby niewątpliwie rzeczą bardzo pożądaną.

Niestety szereg zjednoczeń nie daje w odpowiednich punktach kwestionariusza dostatecznie wyczerpujących danych. Fakt ten jest mało zrozumiały. Kwestionariusz statystyczny nie nasuwa tu wątpliwości. Jakkolwiek mogłoby się wydawać, że ze względu na krótkotrwałość zjawiska wyładowania, na różne przesłony terenowe pomiędzy obserwatorem a miejscem wyładowania, na trudność ustalenia tego miejsca w późniejszym czasie, gdy brak jest bezpośredniego śladu, ustalenie miejsca, a więc i określenie terenu jest rzeczą bardzo często niemożliwą, to jednak osąd taki jest zwykle fałszywy. Dla badań typu opracowywanej statystyki absolutna ścisłość i drobniogowa dokładność określenia miejsca wyładowania, jeżeli nie spowodowało ono skutku wyraźnego i opisanego w innych punktach kwestionariusza (pożar, porażenie, uderzenie w określony element linii elektrycznej, czy innego urządzenia), nie są bezwzględnie konieczne, chociaż pożądane.

Złagodzenie wymagań dotyczy, oczywiście, jedynie określenia terenu. Jeżeli więc obserwator nie może stwierdzić z dużą ścisłością miejsca bezpośredniego wyładowania, to wystarczy, jeżeli je określi w przybliżeniu, znając jego kierunek, szacując odległość od miejsca obserwacji na podstawie czasu, który upłynął od zauważenia zjawiska świetlnego (błyskawica) do posłyszenia zjawiska dźwiękowego (grzmot) i pamiętając, że prędkość głosu w powietrzu wynosi ok. 330 m/s. Znając swoją okolicę i określając w podany sposób, przy braku innych możliwości, miejsce bezpośredniego wyładowania, obserwator bez trudu będzie mógł podać charakterystykę terenu. Jest rzeczą oczywistą, że mimo to nie wszystkie kwestionariusze z danego zjednoczenia będą posiadały wypełniony punkt charakterystyki terenu, w którym nastąpiło bezpośrednie wyładowanie. Czasem bowiem bezpośrednich wyładowań w ogóle nie można zauważyć, czasem obserwator nie zdoła zauważyć kierunku błyskawicy lub nie jest pewny swej obserwacji itd. Wówczas z konieczności pytanie kwestionariusza musi pozostać bez odpowiedzi.

W statystyce za rok 1948 charakterystykę terenu podano:

- pod względem rzeźby terenu w 22% przypadków,
- pod względem rodzaju gleby w 30% przypadków,
- pod względem pokrycia terenu w 21% przypadków.

Na podkreślenie zasługuje, że jedno ze zjednoczeń, które w ogóle starannie opracowało cały swój materiał, i w tym punkcie okazało się najściślejsze, choć posiada największą różnorodność terenu: dało charakterystykę terenu w 50% przypadków.

Materiał statystyczny daje charakterystykę terenu uwidocznioną w tabl. VIII.

Tablica VIII. Charakterystyka terenu, w którym nastąpiło bezpośrednie wyładowanie

| T e r e n |                  | Liczba zaobserwowanych wyładowań |      |
|-----------|------------------|----------------------------------|------|
| Rzeźba    | równina          | 51%                              | 100% |
|           | pagórki          | 46%                              |      |
|           | góry             | 3%                               |      |
| Gleba     | skały            | 0%                               | 100% |
|           | piaski           | 22%                              |      |
|           | rola             | 42%                              |      |
|           | glina            | 6%                               |      |
|           | biłota<br>(wody) | 30%                              |      |
| Pokrycie  | zabudowania      | 9%                               | 100% |
|           | las              | 61%                              |      |
|           | krzewy           | 13%                              |      |
|           | bez pokrycia     | 17%                              |      |

Analiza tabl. VIII pod względem rzeźby terenu nie wykazuje nic szczególnego. Przeprowadzając natomiast analizę i porównania liczby wyładowań w zależności od rodzaju gleby, przy wzięciu pod uwagę procentowego stanu

poszczególnych jej rodzajów w częściach kraju objętych statystyką, stwierdzamy wyraźne zagęszczenie wyładowań w terenach gliniastych i wilgotnych. Również przy badaniu zależności od pokrycia terenu i przy uwzględnieniu tej okoliczności, że procent pokrycia lasami albo też zabudowaniami jest mały w Polsce w stosunku do terenu bez pokrycia, stwierdzamy szczególnie wyraźne zagęszczenie wyładowań w terenie lesistym, a także w terenie zabudowanym. Wnioski te znajdują dodatkowe poparcie przy bardziej drobiazgowym studiowaniu nadeśnatego materiału. Lasy, a przede wszystkim lasy na gruntach wilgotnych — oto główny teren wyładowań atmosferycznych w roku objętym niniejszą statystyką.

Atakowanie urządzeń elektrycznych. Statystyka niniejsza, jako statystyka prowadzona przez personel energetyczny i pod kątem potrzeb energetyki, ogniskuje uwagę z natury rzeczy na urządzeniach energetycznych. Tym też należy tłumaczyć wysoki stosunkowo procent opracowanego materiału w tych punktach kwestionariuszów, w których sprawa wyładowania wiąże się bezpośrednio ze sprawą urządzenia elektrycznego.

Ogółem zaobserwowano 75 przypadków bezpośredniego uderzenia pioruna w linię i 38 przypadków bezpośredniego uderzenia w stację transformatorową. Do tej ogólnej liczby łącznie 113 bezpośrednich uderzeń pioruna w urządzenia elektryczne można by dodać jeszcze dalszych 17

Tablica IX. Bezpośrednie uderzenie pioruna w urządzenia elektryczne różnego napięcia w procentach ogólnej liczby 113 uderzeń

| Miejsce uderzenia | Napięcie kV | Procent ogólnej liczby uderzeń |
|-------------------|-------------|--------------------------------|
| Linie             | 5 i 6       | 6%                             |
|                   | 15          | 28%                            |
|                   | 20          | 2%                             |
|                   | 30          | 9%                             |
|                   | 35          | 6%                             |
|                   | 60          | 1%                             |
|                   | 110         | 1%                             |
|                   | nie podane  | 12%                            |
| Stacje            | 4 i 6       | 2%                             |
|                   | 15          | 8%                             |
|                   | 20          | 2%                             |
|                   | 30          | 4%                             |
|                   | 35          | 3%                             |
|                   | 60          | 1%                             |
|                   | nie podane  | 15%                            |

uderzeń pioruna w bezpośredniej bliskości urządzeń elektrycznych. Z tych ostatnich jedno było bardzo bliskie (10 m), 10 średnio odległych (do 100 m) i 6 cokolwiek dalszych, lecz ciągle jeszcze stosunkowo bliskich. Podział bezpośrednich uderzeń, uszeregowanych według napięć, podaje tabl. IX, przy czym jako napięcie stacji przyjęto jej napięcie górne. Brak podbudowy technicznej dla tego zestawienia, wynikający z braku kwestionariusza sieciowego, pomniejsza cokolwiek wartość otrzymanych liczb. Nie mniej jednak uderza szczególna podatność na wyładowania urządzeń o napięciu 15 kV. Niewątpliwie znaczną rolę gra tu stosunkowo duża liczba linii i stacji tego napięcia w całej masie statystycznej. Jednak obok strony ilościowej wchodzi tu również zapewne w grę i to, że linie 15-kilowoltowe przebiegają duże stosunkowo szlaki terenowo podatne dla wyładowań, są budowane tanio itd., a wskutek tego są szczególnie narażone na ataki piorunów. Problem taniej a skutecznej ochrony urządzeń 15-kilowoltowych nabiera w Polsce szczególnie dużego znaczenia wobec zamierzonej ich bardzo szerokiej rozbudowy w związku z elektryfikacją wsi.

Bezpośrednie uszkodzenia urządzeń elektrycznych, wynikiem wskutek bezpośrednich uderzeń pioruna w urządzenia. Rodzaj i ogólne określenie miejsca uszkodzenia podaje tabl. X. Istnieje dość duży związek pomiędzy danymi tablic IX i X. To też obraz wynikający z tabl. IX charakteryzuje w dużej mierze również ilościowy zakres uszkodzeń według napięć.

Ciekawą stroną tego zestawienia jest prawie równy podział liczby uszkodzeń pomiędzy linie i stacje z nie-



wielką przewagą dla stacji. Stan obserwowany w roku 1948 nabiera dodatkowego znaczenia, jeśli wyniki obecne zestawia się z wynikami przedwojennymi. Wyniki przedwojenne dają prawie identyczny podział uszkodzeń w sta-

Tablica X. Rodzaj i miejsce uszkodzeń wynikłych wskutek bezpośrednich uderzeń w urządzenia elektryczne w procentach ogólnej liczby 101 uszkodzeń tym spowodowanych

| Miejsce uszkodzenia | Uszkodzone urządzenie | Procent ogólnej liczby uszkodzeń |
|---------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Linie               | słup drewniany        | 20%                              |
|                     | izolator              | 19%                              |
|                     | przewód prądowy       | 5%                               |
|                     | linka odgromowa       | 1%                               |
|                     | inne                  | 2%                               |
|                     |                       | 47%                              |
| Stacje              | odłącznik             | 4%                               |
|                     | bezpiecznik           | 13%                              |
|                     | odgromnik             | 12%                              |
|                     | transformator         | 17%                              |
|                     | izolator wsporczy     | 3%                               |
|                     | izolator przepustowy  | 4%                               |
|                     |                       | 53%                              |

tystykach za lata 1934, 1935 i 1937. Jedynie rok 1936 wykazuje pewne odstępstwo od tego stanu rzeczy, a mianowicie daje stosunek 1:1,6, tj. wynik o bardziej zaakcentowanej przewadze uszkodzeń dla stacji. W roku tym statystyka Komisji zarejestrowała jako jedyne wyraźne odstępstwa i zmiany od statystyk w pozostałych latach, znacznie większą bezwzględnie liczbę burz oraz pewne zwracające uwagę przesunięcia w liczbie i jakości zainstalowanych odgromników na korzyść odgromników nowoczesnych. Ostatni ten fakt — jakkolwiek może się wydać dziwnym w stosunku do zakresu uszkodzeń — został jednak tak właśnie zaobserwowany.

Wiadomą rzeczą jest, że poszukiwania skutecznego, pewnego w działaniu i dobrego odgromnika nie zostały do dziś jeszcze zakończone; wiadomą rzeczą jest, że nawet nowe konstrukcje tych aparatów nie są doskonałe; wiadomą wreszcie rzeczą jest, że samo zainstalowanie dobrego nawet odgromnika, bez uwzględnienia szeregu dodatkowych okoliczności, nie rozwiązuje jeszcze sprawy. Gdyby prace badawcze i wyniki z nich wnioski sięgnęły głębiej w bardzo ważny problem koordynacji izolacji, wówczas zarówno projektowanie wyposażenia sieci w aparaturę przeciwprzebiegową, jak i efekty z tego wynikające byłyby lepsze, zbierane materiały byłyby kompletniejsze, zjawiska zaś obserwowane — łatwiejsze do wytłumaczenia. W tym też celu Komisja XIX SEP rozszerzyła swój program prac także na temat koordynacji izolacji.

Sam fakt wymienionego wyżej prawie równego podziału liczby uszkodzeń od bezpośrednich wyładowań pomiędzy linie i stacje można uznać za niezbyt trafnie ujęty statystyką. Jest bowiem rzeczą bardzo prawdopodobną, że pewna liczba uszkodzeń na liniach wykrywana jest dopiero po burzy, czasem nawet po kilku dniach, a wówczas nie wprowadza się tej liczby do statystyki burzowej.

## 6. Straty bezpośrednie.

Jako straty bezpośrednie przyjęto tu wszelkie zniszczenia i uszkodzenia urządzeń energetycznych, powstałe bądź wskutek uderzenia pioruna w urządzenie, bądź wskutek działania fali przepięciowej, bądź wreszcie wskutek innych — wtórnych zjawisk wywołanych przepięciem.

Łączna liczba przypadków dających się obliczyć z nadesłanego materiału wynosi 219.

Spośród zarejestrowanych 219 przypadków uszkodzeń na liniach wystąpiły 74 przypadki, tj. 34% ich łącznej liczby, na stacjach zaś transformatorowych 145 przypadków, tj. 66%. Zarówno to łączne zestawienie, jak i jego bardziej szczegółową analizę, podaną niżej, należy rozpatrywać przy uwzględnieniu dodatkowych okoliczności. Rzecz w tym, że pomiędzy stratami bezpośrednimi a pośrednimi (wartość niedostarczonej energii) istnieje ścisły związek, nie dający się ująć w proste zależności liczbowe. Zdarza się bowiem tak, że znaczna strata majątkowa może nie pociągnąć za sobą żadnej natychmiastowej straty pro-

dukcyjnej wtórnej (gdy np. zniszczone kosztowne urządzenie posiada rezerwę i zasilane objekty mogą wcale nie mieć przerwy w dostawie energii); zdarza się — odwrotnie — i tak, że drobne i rzadkie uszkodzenie i mała strata majątkowa wywołują znaczną stratę produkcyjną wtórna (gdy np. pęknięcie izolatora na końcu kablowej spowoduje długotrwałe pozbawienie zasilania obiektu przemysłowego o bardzo dużej wartości produkcji).

W zestawieniu zawartym w tabl. XI bezwzględnie niepokojąca jest znaczna podatność na uszkodzenia wartościowych urządzeń, jakimi są transformatory. Na ten więc element wyposażenia stacji należałoby zwrócić baczniej-

Tablica XI. Podział przypadków uszkodzenia urządzeń

| Uszkodzone urządzenia na liniach | Przypadki |      | Uszkodzone u ządzenia na stacjach | Przypadki |      |
|----------------------------------|-----------|------|-----------------------------------|-----------|------|
|                                  | liczba    | %    |                                   | liczba    | %    |
| Izolatory                        | 24        | 33%  | Odłączniki                        | 10        | 7%   |
|                                  |           |      | Wyłączniki                        | 1         | 1%   |
|                                  |           |      | Bezpieczniki                      | 78        | 54%  |
|                                  |           |      | Odgromniki nn.                    | 1         | 1%   |
| Słupy                            | 49        | 66%  | Odgromniki wn.                    | 12        | 8%   |
|                                  |           |      | Mufy kabl.                        | 2         | 1%   |
|                                  |           |      | Izol. wsp.                        | 12        | 8%   |
| Kabel                            | 1         | 1%   | Izol. przep.                      | 5         | 3%   |
|                                  |           |      | Transformat.                      | 24        | 17%  |
| Razem                            | 74        | 100% | Razem                             | 145       | 100% |

szą uwagę. Tu także problem koordynacji izolacji nabiera bardzo dużego znaczenia zarówno w doboru odpowiednich poziomów dla poszczególnych urządzeń, jak i w tworzeniu właściwych i właściwie dobranych miejsc o najniższych poziomach (odgromniki). Należy zwrócić również baczną uwagę na linie, których uszkodzenia mają znaczny wpływ na wielkość strat pośrednich (szybkość usuwania uszkodzeń). Stacje bowiem posiadają w znacznej liczbie przypadków stały dozór techniczny, a poza tym na stacjach przede wszystkim poszukuje się przyczyn przerw w zasilaniu, wreszcie zabiegi usuwania uszkodzeń na stacjach są przeważnie wygodniejsze. Wskutek tego uszkodzenia na stacjach, a więc i przerwy spowodowane tymi uszkodzeniami likwidowane są zwykle szybciej i sprawniej niż uszkodzenia na liniach.

## 7. Wypadki.

W zakresie wypadków spowodowanych przepięciami atmosferycznymi w urządzeniach elektrycznych statystyka za rok 1948 notuje jeden wypadek porażenia człowieka i dwa wypadki porażenia zwierząt. Charakterystyczną rzeczą przy śmiertelnym porażeniu człowieka było to, że człowiek ten znajdował się w krytycznym momencie w odległości około 500 m(?) od linii elektrycznej 15-kilowoltowej, w której przepięcie — zapewne indukowane (uderzenie pioruna w drzewo w pewnej niewielkiej odległości od linii, teren podgórski wilgotny i bagnisty) — spowodowało przepalenie bezpieczników w różnych miejscach, wyłączenie wyłącznika w jednym miejscu i stwierdzone działanie cewki gasikowej. Okoliczności towarzyszące wypadkowi ze zwierzętami były bardzo podobne do opisanych z człowiekiem.

## 8. Zakończenie.

Jakkolwiek statystyka za rok 1948 była niepełna, gdyż nie objęła całego kraju, nie dysponowała kwestionariuszem sieciowym, wreszcie posiadała szereg braków w sposobie podawania odpowiedzi na pytania kwestionariusza burzowego, przyniosła ona jednak sporo ciekawego materiału i zawiera niewątpliwie szereg wskazówek dla eksploatacji.

W niniejszym referacie zrezygnowano jeszcze z formułowania wniosków ogólniejszych; podyktowane to zostało ostrożnością wobec braków w materiale statystycznym.

Zamykając niniejsze — pierwsze powojenne — opracowanie, kierujemy szczególnie gorący apel do zjednoczeń energetycznych, do podległych im zakładów, do energetyki przemysłowej, wreszcie do wszystkich pracowników zatrudnionych w różnych organizacyjnych formach energe-

tyki i na różnych szczeblach czynności, aby dokładali starań przy szczegółowej rejestracji zjawisk przepięciowych, aby dokładnie i wyczerpująco opracowywali kwestionariusze i aby nadsyłali wszelkie swoje uwagi i spostrzeżenia. Wysuwamy również sugestie, aby do prac obserwacyjno-rejestracyjnych przyciągnąć także środowiska z poza energetyki. Można z pożytkiem rozszerzyć zakres obserwacji przez zainteresowanie rejestracją np. świata nauczycielskiego, szeroko i gęsto rozsianego po całym kraju.

Załącznik

**KWESTIONARIUSZ BURZOWY**

(tylko dla sieci wysokiego napięcia)

Zakład elektryczny wypełnia ten kwestionariusz dla każdego wypadku burzy oraz przepięcia atmosferycznego lub innego bez względu na skutki tej burzy lub tego przepięcia. Wypełnione kwestionariusze z całego sezonu (roku) należy przestać za pośrednictwem właściwego Zjednoczenia Energetycznego do Centralnego Zarządu Energetyki, Warszawa, Al. Niepodległości 188, do dnia 30 listopada każdego roku, łącznie z kwestionariuszem zawierającym opis sieci.

Zjednoczenie Energetyczne . . . . .  
Zakład . . . . .  
Miejsce obserwacji . . . . .  
Data obserwacji . . . . .  
Obserwator . . . . .  
Czas trwania burzy (od godz. — do godz.) . . . . .  
Kierunek skąd burza nadeszła (strona świata) . . . . .  
Opady podczas burzy\*) . . . . .

\*) Należy określić rodzaj opadu (deszcz, grad) oraz jego natężenie (słabe, średnie, silne).

1. Czy nastąpiło bezpośrednie uderzenie pioruna w urządzenie elektryczne (jaki dowód, w które miejsce) . . . . .
2. Czy nastąpiło bezpośrednie uderzenie pioruna w pobliżu urządzeń elektrycznych (jaki dowód, w jaki przedmiot), jak daleko od urządzenia (linii, stacji), czy przedmiot posiadał piorunochron i jaki . . . . .
3. Charakterystyka terenu, w którym nastąpiło bezpośrednie uderzenie (rzeźba, gleba, pokrycie, lasy, błota itp.) . . . . .
4. Określenie ruchowe przepięcia innego rodzaju niż atmosferyczne . . . . .
5. Reakcja aparatów przeciwprzepięciowych i miejsce ustawienia tych aparatów . . . . .
6. Gwałtowność burzy\*\*) . . . . .
7. Rodzaj, zakres i miejsce uszkodzenia (dołączyć ewent. szkice, fotografie itp.) . . . . .
8. Czy nastąpiło samoczynne wyłączenie? . . . . .
9. Czas trwania wyłączenia . . . . .
10. Jakie części sieci zostały odłączone? . . . . .
11. Ewentualne porażenia i pożary . . . . .
12. Inne następstwa przepięcia . . . . .
13. Szacunek wysokości strat bezpośrednich (wskutek uszkodzeń) . . . . .
14. Dodatkowe uwagi i spostrzeżenia zakładu . . . . .

Uwaga. Wszystkie powyższe dane będą użyte wyłącznie do studiów XIX Komisji SEP i do dorocznego opracowania statystycznego bez wymienienia nazw poszczególnych zjednoczeń (zakładów), których dotyczą.

\*\*) Gwałtowność burzy należy oceniać w następujący sposób:  
słaba burza — kilka rzadkich grzmotów,  
średnia burza — częste wyładowania,  
silna burza — bardzo gwałtowne wyładowania.

INŻ. W. SMOLUCHOWSKI  
INŻ. Z. WOYNAROWSKI

## Przemysł maszyn i aparatów elektrycznych na XXIII Międzynarodowych Targach Poznańskich

Treść. Ogólny charakter targów i przegląd eksponatów z dziedziny maszyn i aparatów elektrycznych produkcji krajowej i zagranicznej.

Электрические машины и аппараты на XXIII-й международной ярмарке в Poznani. Общий характер ярмарки и обзор экспонатов в области электрических машин и аппаратов отечественного и иностранного производства.

Electrical machinery, transformers, switchgear, control equipment etc. at the 23-rd International Fair at Poznań. General character of the Fair and review of exhibits of the products of the electrical industry referred to, both of home and foreign manufacture.

**1. Uwagi ogólne.**

Zasadnicza zmiana ustroju gospodarczego naszego państwa spowodowała daleko idące przeobrażenie charakteru Targów Poznańskich. Są one obecnie nie tylko imprezą handlową, lecz również wystawą osiągnięć i przeglądem potencjału wytwórczego w poszczególnych działach społecznej gospodarki. Dawniej reklama konkurujących ze sobą firm wywoływała często u zwiedzającego zupełne spaczenie opinii o rzeczywistej wartości eksponatów i o prawdziwej zdolności wytwórczej producenta, uzyskanie zaś obiektywnego syntetycznego obrazu całokształtu gospodarki w danej dziedzinie było częstokroć w ogóle niemożliwe. Obecnie poszczególne działy przemysłu — jak zresztą i inne gałęzie gospodarki państwowej — występują zespołowo, przedstawiając syntezę swych osiągnięć, a wystawione eksponaty traktować należy jako przykłady ilustrujące te osiągnięcia, nie zaś jako obiekty, na które się przede wszystkim szuka nabywcy.

Zmienił się jednak nie tylko stosunek do materiału wystawianego, ale i do człowieka. Dawniej tłumy zwiedzających bynajmniej nie były pożądane dla wielu wystawców (z wyjątkiem wytwórców artykułów masowego użytku); teraz wykorzystano Targi w dużym zakresie jako wystawę o walorach dydaktycznych dla szerokiego mas. To „popularyzatorskie” nastawienie przejawiało się wielokrotnie w układzie eksponatów właśnie w przemyśle elektrotechnicznym. Nie ograniczono się przy tym do pouczających modeli, np. silnika w przekroju, lub rdzenia transformatora 3-fazowego na 1600 kVA, 6000/400—231 V z uzwojeniem na jednej fazie, lub stojana wielkiego 6-biegunowego silnika o mocy 750 kW, 6 kV, lecz pokazano współdziałanie różnych elementów ze sobą tak, jak odbywa się ono w praktyce eksploatacyjnej. Imponującym przykładem takiego pokazowego ujęcia problemu wystawy elektrotechnicznej była (rys. 1) dominująca nad całym polskim stoiskiem elektrotechniki podstacja na 110 kV, złożona

z transformatora olejowego typu TONa, na 25000 kVA,  $110 \pm 5\%/6,3$  kV, połączonego linkami stalowo-aluminiowymi z przynależną aparaturą, a więc z wyłącznikiem małoolejowym, przekładnikami napięciowymi i prądowymi oraz z odłącznikiem. Dalszymi przykładami były kompletne rozdzielnie wolnostojące i okapturzone, pełne wyposażenie elektryczne teatru, pokazane od strony kulis, wreszcie liczne zastosowania napędów elektrycznych, jak np. maszyny i urządzenia transportowe z przynależnymi silnikami i aparaturą.

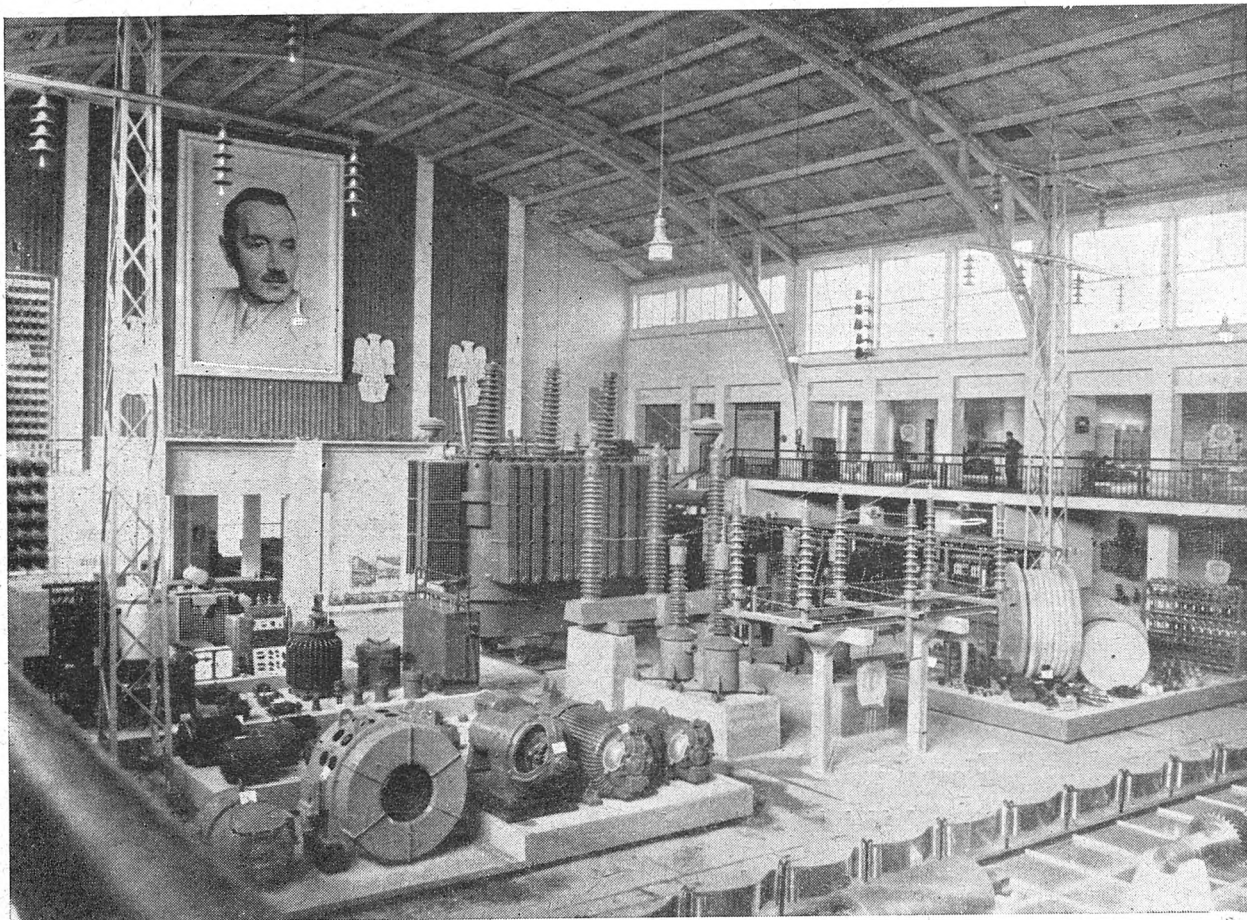
Udział w targach państw z nami sąsiadujących i zaprzyjaźnionych, a więc Związku Radzieckiego i krajów Demokracji Ludowej został na ogół podobnie potraktowany w formie jednolicie skomponowanej wystawy, dającej za pomocą celowo dobranych przykładów wyobrażenie o całokształcie osiągnięć przemysłu w danym kraju nie tylko specjalistom, ale i masom zwiedzającym. Szczególnie imponująco przedstawiały się pod tym względem liczne i ciekawe radzieckie maszyny i całe urządzenia z elektrycznym napędem; znaczna część tych eksponatów nie mieściła się w pawilonie ZSRR, lecz ulokowana była na otwartych terenach przyległych (rys. 2). Targi były obsiane również przez kilka czołowych firm elektrotechnicznych z dalszych krajów. Wystawiły one tylko niewielkie fragmenty swego programu produkcji, lecz trzeba przyznać, że dobrały bardzo interesujące eksponaty.

Tak szeroki zakres tegorocznych (XXIII) Targów — znacznie bogatszy niż w latach ubiegłych — dał zwiedzającym nie tylko wiele możliwości poznania postępu technicznego produkcji krajowej, ale również poczynienia interesujących porównań naszego dorobku z poziomem przemysłów zagranicznych.

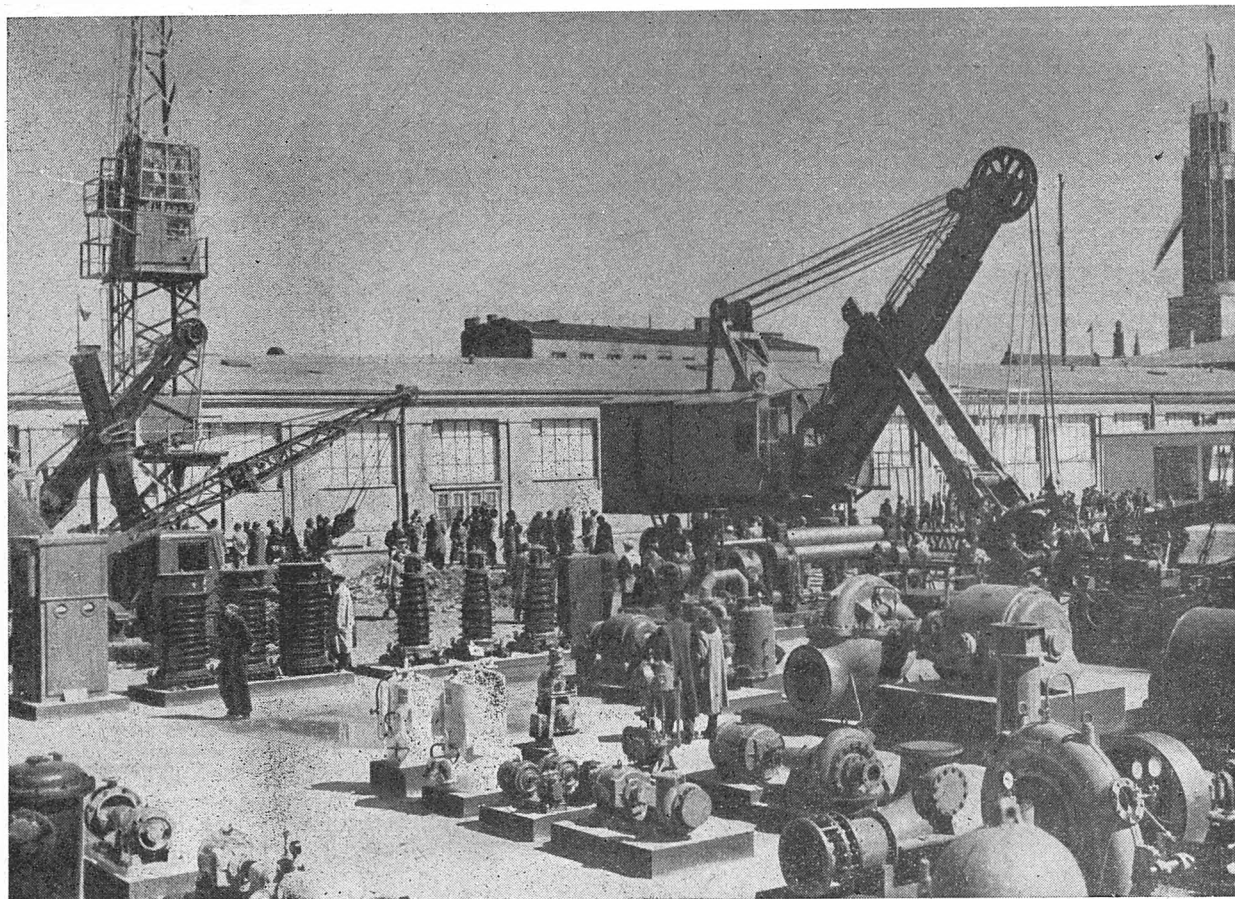
**2. Maszyny wirujące.**

Polska. Zakłady wytwórcze maszyn elektrotechnicznych, podległe Centralnemu Zarządowi Przemysłu Elek-





Rys. 1. Ekspozyty polskiego przemysłu elektrotechnicznego w hali przemysłu ciężkiego na M. T. P. 1950 r.



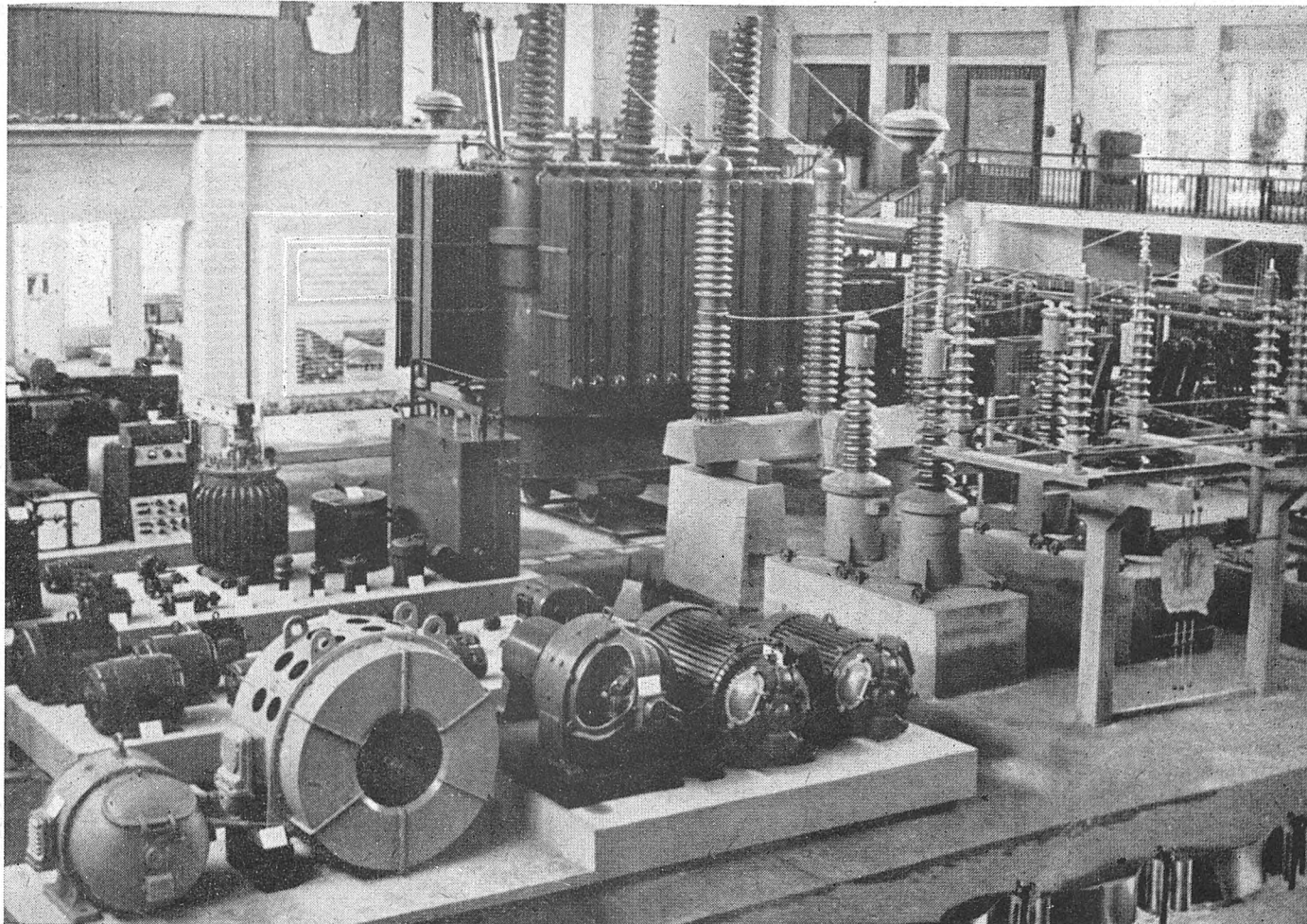
Rys. 2. Tereny wystawowe ZSRR: maszyny i urządzenia z napędem elektrycznym



trotechnicznego, wystawiły (rys. 3) kilkadziesiąt silników asynchronicznych w różnych wielkościach od 0,37 kW do 750 kW i w różnych wykonaniach: półotwarte, okapturzone i zamknięte, z wirnikiem zwartym i z pierścieniami ślizgowymi. Pokazano również silniki do celów specjalnych, np. elektrowibrator do ubijania betonu, silnik dźwignowy z wirnikiem stożkowym do elektrowciąągów, silnik do obrabiarek do drzewa, silnik do samotoków z izolacją

Wystawiono poza tym dużą ilość rozruszników (starte-rów) i prądnic samochodowych do wozów różnych marek.

Z. S. R. R. W pawilonie ZSRR i w tym roku znaleźliśmy na Targach nową rewelację w zakresie silników elektrycznych. W roku ubiegłych atrakcją części elektrotechnicznej pawilonu były silniki serii „Ural”; w roku bieżącym pokazano silniki tzw. Wszechsojuznoy serji A. Obok wystawiono duże silniki pierścieniowe typu AM6—117/8 na 80



Rys. 3. Stoisko polskie: silniki na pierwszym planie, wyłącznik małoolejowy na 110 kV i transformator na 25 MVA i 110,6,3 kV na dalszym planie

klasy B, silnik wraz ze sprzęgłem do maszyn krawieckich. Nowością stanowi silnik przeciwwybuchowy w osłonie szczelnej do napędu wrębówki ściennej o mocy 9,5 kW, przy  $P = 25\%$ , 2900 obr./min.

Osobną grupę stanowią silniki tworzące zespół konstrukcyjny z maszyną napędową jak elektropompki do chłodzawa, których wystawiono kilka typów, elektropompa głębinowa (z silnikiem na 9,2 kW pracującym w wodzie), narzędzia elektryczne, polerki, szlifierki stołowe. Ekspozycje z tej dziedziny zgrupowane również były na stoisku przemysłu spółdzielczego (wiertarki i szlifierki elektryczne ręczne „Grupy Technicznej”) oraz prywatnego („Mokomotor”: silnik ze śrubowym układem blach stojana, „Markiewicz”: piła do drzewa i wiertarka). Przy okazji omawiania silników asynchronicznych wspomnieć trzeba, że prócz rozruszników olejowych, znanych już z poprzednich lat, wystawiono jako nowość rozrusznik płynowy typu Rp 511, przeznaczony do uruchamiania silników do 1200 kW.

Z dziedziny prądu stałego był ciekawy eksponat: prototyp prądnic nowej serii PBM. Prototyp stanowiła maszyna o małej stosunkowo mocy 3 kW przy 1500 obr./min., 230 V, ale seria sama opracowana jest do mocy ok. 10 razy większych. Drugi ciekawy przykład stanowiła trójfazowa maszyna prądu stałego, typu GC 186a, do pracy w zespole Leonarda o mocy 4,7 kW do 18,8 kW przy 100÷750 obr./min., o napięciu od 70 V do 450 V.

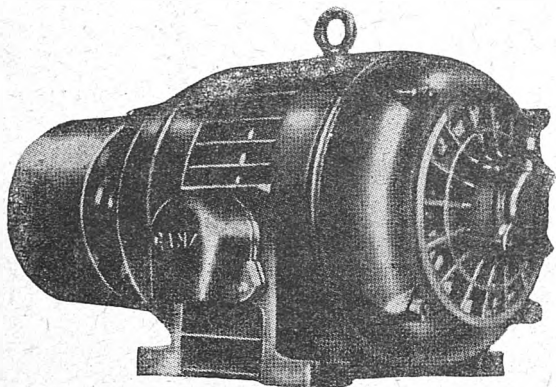
kW, 730 obr./min. oraz typu MAD 128/8 na 160 kW, 730 obr./min. Charakterystyczne jest w nich osadzenie pierścieni ślizgowych w oddzielnej osłonie, umieszczonej poza łożyskiem od strony nienapędowej. Osłona drugiego z tych silników o budowie chronionej (typ MAD) posiada otwory wentylacyjne, ułatwiające chłodzenie, oraz stałe przylegające szczotki; pierwszy z tych silników miał osłonę pierścieniową zamkniętą, a na niej umieszczoną dźwignię do podnoszenia szczotek. U nas podobny układ, polegający na zamknięciu pierścieni w komorze poza łożyskiem, stosowany był w bardzo rzadkich wypadkach, gdy chodziło o wykonanie przeciwwybuchowe. Wydaje się jednak, że wprowadzenie takiego układu jako normalnego — wzorem opisanych wyżej konstrukcji radzieckich — miałyby poważne zalety, gdyż układ ten pozwala na dobrą ochronę tulei pierścieniowej i szczotek, a więc czułych części silnika asynchronicznego od zanieczyszczeń, dotknięcia, przerzutu iskry na łatwopalne materiały w otoczeniu, a równocześnie dopuszcza swobodną wentylację reszty maszyny.

Porównanie rozruszników olejowych produkcji radzieckiej o zgrabnych nowoczesnych kształtach z konstrukcją stosowaną u nas bez zmiany od szeregu lat nasuwa od razu wniosek, że i w tym drobnym na pozór szczególe przydałaby się modernizacja przestarzałych typów.

Pięknie prezentowało się kilka prądnic synchronicznych z dobudowanymi wzbudnicami o mocy 14, 25 i 120 kW

(przy  $\cos \varphi = 0,8$ ) oraz zespół czterocylindrowego silnika dyzelskiego z prądnicą prądu stałego na 50 kW, 1500 obr./min.

Węgry. Wystawiono kilka silników produkcji firmy Ganz. Charakterystyczna jest wentylacja silników budowy chronionej np. silnika z wirnikiem zwartym typu FLK 75/6 o mocy 35 k. m. na 960 obr./min. Posiada on normalne otwory wentylacyjne w tarczach łożyskowych, a ponadto równoległe do osi wału wycięcia w kadłubie czyniące



Rys. 4. Silnik węgierski firmy Ganz na 35 k. m. i 960 obr./min.

wrażenie, że silnik jest ożebrowany (rys. 4). Mniej szczęśliwe wydaje się być zastosowanie smarownic Stauffera do łożysk.

Z zewnętrznego wyglądu podobny był do tej maszyny silnik zamknięty, z typowym chłodzeniem żebrowym, typu FOA 109/4 na 45 k. m. Największym z eksponatów był silnik pierścieniowy okapturzony na 120 k. m., 5000 V, 950 obr./min., wyróżniający się bardzo szerokimi żaluzjami dla przepływu powietrza po obu bokach kadłuba.

Pokazano również silnik zamknięty żebrowy z dobudowaną przekładnią zębatą. Wystawiona prądnica synchroniczna na 150 kVA, otwarta, miała oddzielny zespół wzbudający.

Bułgaria. Na stoisku bułgarskim pokazano kilkanaście silników elektrycznych o mocy do 15 kW, stanowiących nie jedną, lecz kilka różnych serii konstrukcyjnych. Widoczne jest, że w nowym socjalistycznym ustroju kraj, stanowiący do niedawna domenę eksporterów, uruchomił nawet nie jedną, lecz kilka fabryk maszyn elektrycznych i stał się w zakresie silników asynchronicznych małej mocy samowystarczalny. Stoisko Bułgarii było typowym świadectwem przeobrażenia charakteru Targów. Oczywiście wystawienie kilkunastu silników w Poznaniu nie miało na celu zawarcia realnych transakcji na dostawy do Polski, skoro maszyny podobnej mocy my pokazywaliśmy na Targach w Płowdiv. Bułgarii chodziło o pokazanie dorobku swego w dziedzinie przemysłu elektrotechnicznego i cel ten został w całości osiągnięty.

Czechosłowacja nie wystawiła normalnych silników, wiedząc, że konstrukcje fabryk czeskich są nam dostatecznie znane. Na stoisku umieszczono natomiast kilka narzędzi elektrycznych, jak szlifierkę z giętkim wałem, wiertarki ręczne, a ponadto kilka urządzeń specjalnych, które nie należą wprawdzie do działu maszyn, ale o których warto przy okazji wspomnieć, jak np. urządzenie do wykrywania na drodze magnetycznej skaz wewnątrz badanego materiału (przez powlekanie emulsją z opiłkami żelaznymi), np. wewnątrz grubych wałów, oraz podobny aparat (marki TOS) w wykonaniu przewoźnym do analogicznego badania przy pomocy miedzianych elektrod.

Niemiecka Republika Demokratyczna. Dział maszyn elektrycznych był dość bogaty. Silniki z wirnikiem zwartym o mocach 125 kW (typ H 16/4), 80 kW (typ H 14/4) i kilka mniejszych stanowiły ciekawą serię, przy czym wygląd tych maszyn wyróżniał się oryginalnym kształtem tarcz łożyskowych o szerokich wachlarzowych otworach wentylacyjnych u dołu.

Ponadto można było obejrzeć kilka szlifierek elektrycznych oraz przetwornicę do galwanizacji wykonaną w Lipsku według wzorów b. firmy Langbein-Phannhauser. Prąd-

nica tego zespołu daje 670 A przy napięciu 4—6 V, przy 1500 obr./min. (rys. 5).

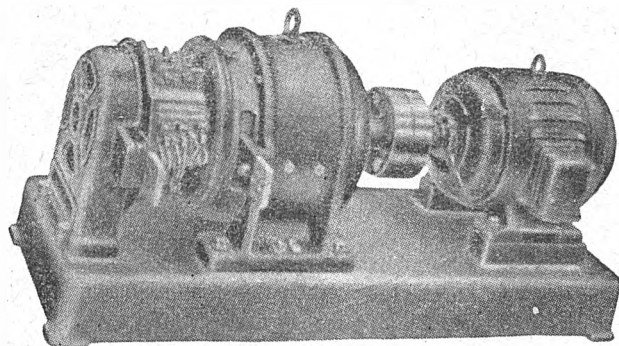
Wystawiono wreszcie kilka generatorów synchronicznych na 400 V i 50 obr./sek., o mocach 50 kVA przy 750 obr./min. oraz 15 kVA przy 1000 obr./min., napędzanych silnikami spalinowymi (marka FIMAG).

Ilościowo skromny, ale jakościowo interesujący był udział dalszych państw zachodnich.

Szwajcaria. Firma Brown Boveri wystawiła silnik typu Mev 44a-s o mocy 3,6 k. m. przy  $P = 25\%$ , 1430 obr./min., ze szklaną izolacją, przeznaczony do wielkiej liczby przełączeń. Silnik sterowany stycznikiem biegł bez przerwy naprzemian po kilka sekund w prawo i w lewo. Obok niego znajdował się silnik typu MQUe 612 z wbudowaną przekładnią planetarną, redukującą jego obroty z 470 na 50 obr./min. Szklana pokrywa od strony napędu i wewnętrzne oświetlenie silnika pozwalało zobaczyć konstrukcję tej przekładni.

Najciekawszy był silnik komutatorowy o mocy 8,5 kW przy 1850 obr./min., regulowany do 3,45 kW przy 750 obr./min. z dobudowanym serwowotorkiem na 25 W do sterowania szczotek. Silnik ten, podobnie jak poprzednie, pokazany był w ruchu, przy czym automatycznie nastąpił jego rozruch, przyspieszenie wzgl. opóźnienie biegu i zahamowanie.

Austria. Firma Garwens wystawiła szereg pomp podwodnych sprzężonych z silnikami, działającymi według



Rys. 5. Przetwornica niemiecka do galwanizacji

innej nieco zasady, niż podobna pompa podwodna wystawiona na naszym stoisku.

Włochy. Pokazano kilka silników firmy Deco na 1,5 i 2 k. m., napędzających kompresorki. Są one — podobnie jak silniki węgierskie — budowy krytej, z otworami w tarczach łożyskowych, a mimo to z ożebrowanym kadłubem.

### 3. Przykłady napędów elektrycznych.

Polska. Należy wymienić 2 przenośniki do węgla — jeden gumowy, drugi żelazny — napędzane silnikami produkowanymi przez własny zakład przemysłu węglowego typu RRK o mocy 24 kW i 14 kW.

Więcej ciekawych przykładów zastosowania napędu elektrycznego pokazano wewnątrz pawilonu przemysłu ciężkiego: młyn węglowy pyłowy MUG z silnikiem zamkniętym zwartym SZJa 1546 na 140 kW, liczne obrabiarki z przybudowanymi silnikami, pompy z silnikami SCUa 142a, na 103 kW, 3000 obr./min., nowy typ wirówki cukrowniczej SFUP z umieszczonym u góry pionowym silnikiem o mocy ok. 35 kW, następnie szereg maszyn włókienniczych (w ruchu), oraz ciężkie maszyny kuzienne, młoty, nożyce — wszystko o indywidualnym napędzie elektrycznym.

Dla uzupełnienia obrazu należy wspomnieć jeszcze o zmontowanych na zewnątrz pawilonu dźwigach (w rodzaju „Demaga“) oraz podnośnikach wagonów z 2 lub 4 silnikami, posiadającymi aparaturę do jednoczesnego włączania całej grupy.

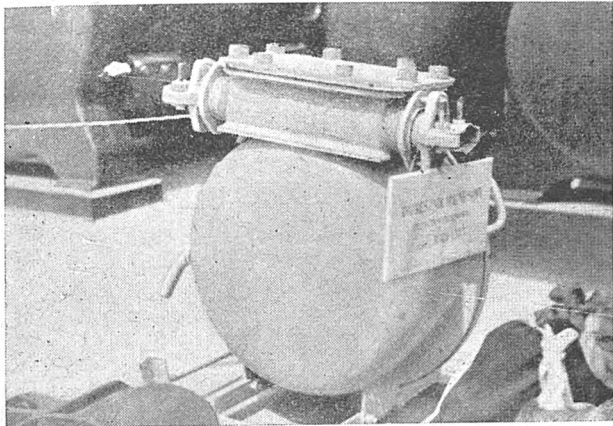
Z. S. R. R. W pawilonie radzieckim widzieliśmy napędy wielosilnikowe ciężkich obrabiarek, wśród nich np. szlifierkę do płaszczyn z wbudowanymi silnikami prądu stałego i oddzielną przetwornicę Leonarda.

Na terenach obok pawilonu wiele maszyn radzieckich posiadało pełny napęd elektryczny. Tak np. pokazano przeciągarke do drutu (podobna do Kratosy) z 6 silnikami prądu stałego — każdy o mocy 5,6 kW z regulacją



od 1000 do 1960 obr./min. — i osobną przetwornicę Leonarda na 41 kW, 1450 obr./min. Obok umieszczono pompy (np. z silnikiem na 80 kW i 730 obr./min.), sprężarki pionowe na 50 atm., 13 m<sup>3</sup>/min. z silnikiem pierścieniowym o mocy 180 kW. Dalej pokazano cały szereg urządzeń dla górnictwa, a więc przenośnik o długości ok. 50 m napędzany silnikiem o mocy 29 kW z fabryki Krasnyj Oktiabr oraz różne odmiany wrębówek w wykonaniu przeciw-wybuchowym.

Najciekawszy z tych eksponatów był „kombajn“ węglowy o zdolności przerobu 50 t na 8 godzin przy obsłudze 2 ludzi. Maszyna ta zawiera wrębówkę, która podcina ścianę węglową, następnie kruszy węgiel i przerzuca na

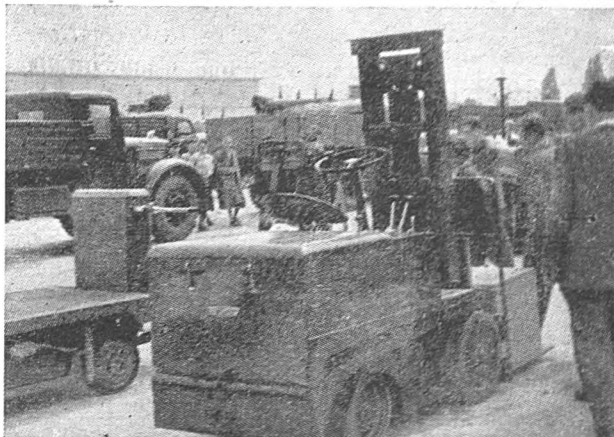


Rys. 6. Rozrusznik ognioszczelny, typ MMB 1355, 380 V, 120 A do silnika na 55 kW, waga 140 kg (Zakłady Stalina, ZSRR)

przenośnik. Do napędu służy silnik o mocy 57 kW, przeciwwybuchowy, z wirnikiem zwartym, uruchamiany transformatorem rozruchowym na 380/48 V również w wykonaniu ognioszczelnym (rys. 6). Konstruktor tego „kombajnu“ otrzymał nagrodę im. Stalina w wysokości 200 000 rb.

#### 4. Trakcja.

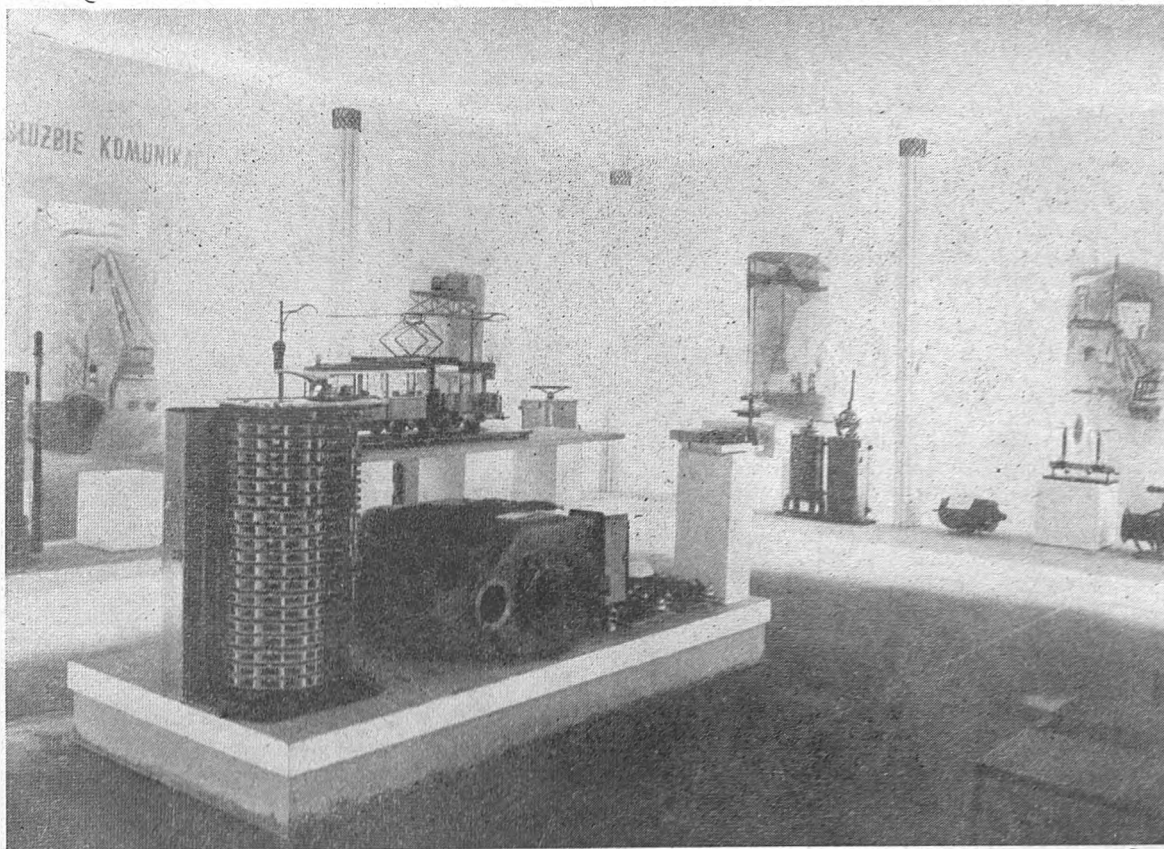
Z satysfakcją należy stwierdzić u nas postęp w tej dziedzinie. Świadczą o nim (rys. 7) silnik tramwajowy na 60 kW, 860 obr./min., silnik do lokomotyw kopalnianych



Rys. 8. Wózek elektryczny z ładownicą samochodową o nośności 1500 kg; prędkość 10 km/h bez ładunku, 5 km/h z ładunkiem (ZSRR)

typu LD2, silnik do wózków akumulatorowych na 3 kW, 75 V, 1600 obr./min., jak również cały wózek o nośności 2000 kg wraz z przyczepą i drugi wózek na 1000 kg produkcji sektora spółdzielczego („Grupa Techniczna“). Pokazano ponadto aparaturę sterującą i zabezpieczającą do tramwajów i lokomotyw, oraz prądnice do oświetlenia wagonów i parowozów.

W dziedzinie transportu przy pomocy wózków akumulatorowych niektóre eksponaty zagraniczne wytyczają drogę, po której powinien iść rozwój naszej dotychczasowej produkcji. A więc wózek radziecki zaopatrzony jest w dyferencjał na tylnej osi (rys. 8); inny wózek radziecki i węgierski ma platformę unoszoną umożliwiającą



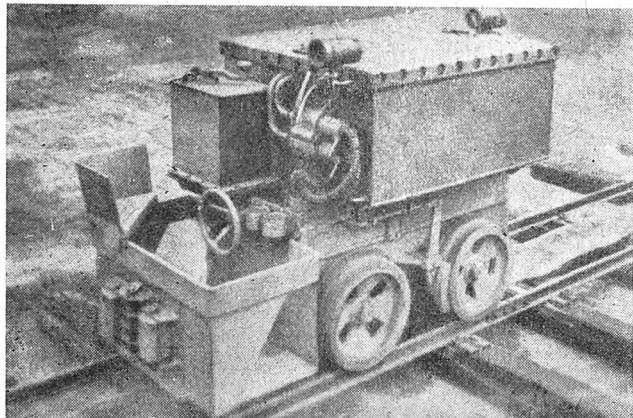
Rys. 7. Sprzęt trakcyjny na stoisku polskim



podnoszenie skrzyń (te ostatnie wózki mają co prawda napęd silnikami benzynowymi, jednak urządzenie podnośnikowe może być przystosowane i do wózków akumulatorowych).

W zakresie lokomotyw dla trakcji głównej Węgry wystawiły model (normalny typ, nie Ganz-Kando), a Niemiecka Republika Demokratyczna całą lokomotywę manewrową 4-osiową o mocy 780 kW na prąd stały 1500 V, o prędkości największej 72 km/godz.

Ciekawy był również kopalniany ciągnik szynowy (tor 600 mm) systemu „Karlik“ produkowany w Niemczech (u Bleicherta) na podstawie licencji radzieckiej (rys. 9).



Rys. 9. Kopalniany ciągnik szynowy akumulatorowy (wyrób niemiecki na podstawie licencji radzieckiej)

Jest to ciągnik akumulatorowy w wykonaniu przeciwybuchowym: moc silnika 2,05 kW, 1000 obr./min., 40 V, siła na haku 200 kg, prędkość do 3,9 km/godz.

Wreszcie wspomnieć należy, że na stoisku węgierskim wystawiono prądnice do oświetlania wagonów z regulatorem napięcia (system Pintsch).

#### 5. Prostowniki.

Na stoisku polskim pojawił się po raz pierwszy prostownik rtęciowy. Jest to typ PRP 0,5 dla prądu stałego na 600 A i 600 V, a więc nadający się do trakcji tramwajowej. Ten sam typ może być dostarczany dla trakcji kopalnianej na napięcie 250 V. Prostownik składa się z zaworu w naczyniu żelaznym i z kompletnego wyposażenia — pomp, wentylatora, mierników itp.

Notując to osiągnięcie, dostrzegliśmy jednocześnie na Targach jedną z możliwości dalszej drogi rozwoju techniki prostownikowej. Mamy tu na myśli prostownik radziecki na 600 V, 3000 A, a więc o mocy 5 razy większej. Jest to konstrukcja, składająca się z 6 zaworów jednoanodowych, ustawionych parami w 3 rzędach z jednym wspólnym urządzeniem pompowym.

Poza tym szklane prostowniki rtęciowe wystawiła austriacka firma „Elektrobahn“: 6-anodowy na 500 A, 1200 V oraz mniejsze do ładowania akumulatorów i do kinematografów.

#### 6. Transformatory.

Największym obiektem w tej dziedzinie był wzmiankowany już na wstępie polski transformator na 25 000 kVA, 110/6,3 kV, o układzie Yd5, o napięciu zwarcia 11% (rys. 10). Waży on wraz z olejem ponad 50 ton. Obok niego ustawiono kilka mniejszych sztuk: transformator na 1600 kVA, transformator kopalniany na 250 kVA, autotransformator dla przemysłu filmowego oraz pojazdową stację transformatorową dla kopalni węgla typu TJ 160 o mocy 160 kVA.

Na osobną wzmiankę zasługuje piecowy transformator olejowy jednofazowy na 2000 kVA, 6200/35-110 V.

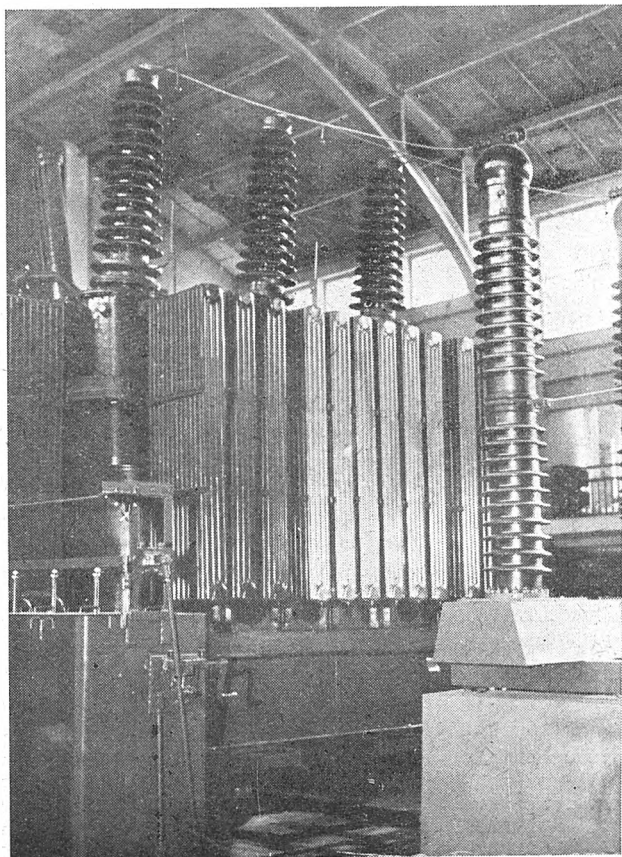
Kilka transformatorów wystawił również Związek Radziecki (o mocy 320 kVA na 35 kV oraz 50 kVA — 10 kV (rys. 11), Węgry (ok. 1600 kVA — 15 kV) oraz Bułgaria (100 kVA — 6 kV).

#### 7. Spawarki.

Na stoisku polskim nie było nowych konstrukcji poza typami znanymi już z poprzednich targów (spawarka wirująca na 300 A, spawarka transformatorowa, oraz punk-

towa). Natomiast Czechosłowacja, Szwajcaria i Szwecja silnie reprezentowane były w dziale spawarek.

Pokazano typ BP30 produkowany w Zakładzie Ceska Lipa o prądzie spawania 11900 A z samoczynnym nast-



Rys. 10. Transformator polski na 25 000 kVA, 110/6,3 kV

wieniem, posuwem elektrod itd. Na stoisku czechosłowackim wystawiono również dwie spawarki wirujące na prąd stały 320 A i 500 A (typ Praga).

Niemiecka Republika Demokratyczna pokazała zespół „Arcatom“ do spawania w atmosferze wodoru.

Całą serię spawarek punktowych wystawiła szwajcarska firma Brown Boveri o mocach od 10 kVA (do spawania



Rys. 11. Transformator energetyczny z chłodzeniem olejowym (ZSRR)

blach stalowych 2 + 2 mm) do 47 kVA (blachy 6 + 6 mm), a ponadto spawarkę rolkową na 80 kVA.

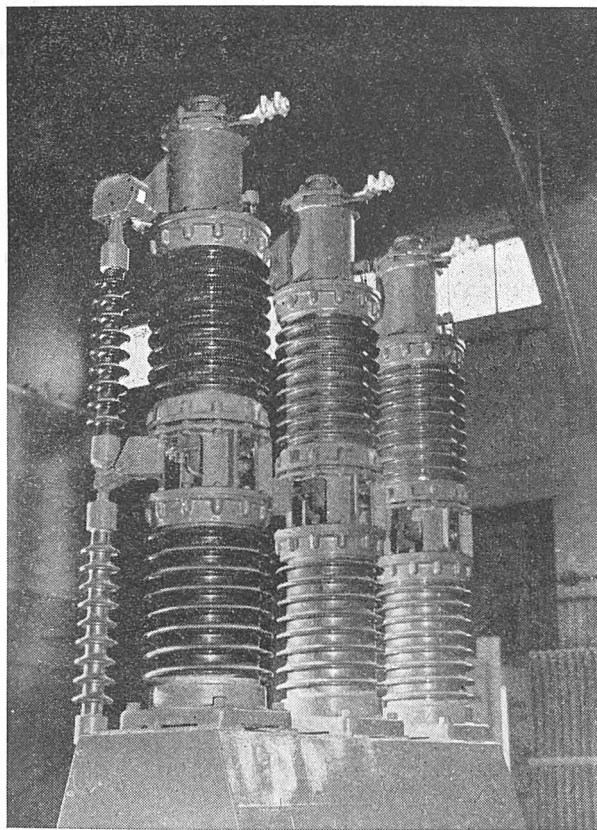
Szereg spawarek pokazała również Szwecja na stoisku ASEA-SVETS: spawarki punktowe na 25 kVA do blach 5 + 5 mm, automatyczną zgrzewarkę stykową typu SVU 565 o mocy 60 kVA, pozwalającą na spawanie dwóch części stalowych do 2200 m<sup>2</sup>, spawarkę wirującą LZ18 do

350 A z wzbudzeniem obcym za pomocą prostownika stykowego, wmontowanego w skrzynię aparatu, nabudowaną na korpus spawarki oraz przetwornicę wielostokową dla 10 spawaczy typu LZ60.

Przeгляд powyższy nie może zastąpić zwiedzenia Targów tym czytelnikom, którzy nie mieli okazji być w tym roku w Poznaniu, ponieważ najbardziej szczegółowy opis nie zastąpi bezpośredniego wrażenia wzrokowego, ani nie wywoła tych wszystkich refleksji, które się nasuwały przy zwiedzaniu poszczególnych stoisk i oglądaniu nowych konstrukcji, stanowiących świadectwo stałego dążenia do postępu technicznego.

#### 8. Aparaty elektryczne.

Polska. Pełne wyposażenie podstacji wysokiego napięcia umożliwia obecnie nowy typ małoolejowego wyłącznika na napięcie 110 kV w wykonaniu napowietrz-



Rys 12. Polski wyłącznik małoolejowy na 110 kV, 2500 MVA

nym (rys. 12). Jego zdolność wyłączalna sięga 2500 MVA przy napięciu 110 kV. Włączanie następuje za pośrednictwem silnikowego napędu zdalnego. Wyłącznik ten łącznie z zespołem przekładników prądowych i napięciowych, trójbiegunowym odłącznikiem uruchamianym sprężonym powietrzem i transformatorem o mocy 25 000 kVA i przekładni 110/6,3 kV stanowił pełne urządzenie podstacji napowietrznej na targach.

Z zakresu napięć średnich demonstrowano odłączniki, odłączniki mocy oraz wyłączniki. Na wyróżnienie zasługuje wyłącznik samoczynny małoolejowy z napędem silnikowym na napięcie 30 kV i wyłącznik powietrzny na napięcie 6 kV o mocy wyłączalnej 400 MVA. Wyłącznik ten, przyłączony do normalnej instalacji sprężonego powietrza, można było oglądać w pracy.

Udany wzór urządzenia okapturzonego na napięcie 6 kV przedstawia szafa przyłączowa z wbudowanym samoczynnym wyłącznikiem olejowym o mocy wyłączalnej 100 MVA, wyposażona w przekładniki napięciowe i prądowe.

Nowością na naszym rynku był odłącznik na napięcie 6 kV typu teleskopowego. Odłącznik ten odznacza się

małymi wymiarami obrysu i posiadając wszystkie części robocze osłonięte w porcelanie może być instalowany bez specjalnych osłon zabezpieczających.

Z dziedziny urządzeń przemysłowych niskiego napięcia na pierwsze miejsce wysuwała się wielopolowa rozdzielnia wolno stojąca, wyposażona w wyłączniki samoczynne suche, przekładniki, bezpieczniki dużej mocy, mierniki i zespoły sygnalizacyjne (rys. 13).

Równolegle zwracały na siebie uwagę wielopolowe rozdzielnie żeliwne okapturzone, pozwalające w układzie uniwersalnym na tworzenie wielostronnych zespołów.

Wystawione wyłączniki samoczynne zapadkowe na 400 A i 1500 A odznaczały się różnorodnym wyposażeniem dodatkowym w formie wyzwalaczy elektromagnetycznych i termicznych o różnych zakresach, wyzwalaczy napięciowych zanikowych i impulsowych wybijałkowych. Do wyłączników tych łatwo można dobudować elektromagnetyczne napędy zdalne na prąd stały i zmienny. Wielokrotne zespoły styków pomocniczych służą do tworzenia uzależnionych układów połączeń. Wyłączniki te mają szerokie zastosowanie w przemysłowych urządzeniach rozdzielczych niskiego napięcia, gdyż zadowalają potrzeby energetyki przemysłowej dzięki zdolności wyłączania zwarć i uniwersalnemu wyposażeniu.

Z dziedziny aparatury sterowanej niskiego napięcia demonstrowano w dużej ilości pełny asortyment styczników w suchych na prądy znamionowe 15, 40, 100 i 350 A oraz zespół styczników olejowych, stosowanych chętnie w urządzeniach narażonych na wilgoć, pył i gazy szkodliwe. Masowa produkcja styczników suchych pozwoliła jak najszerzej automatyzację i mechanizację wielu procesów technologicznych. Aparaty demonstrowano przy znacznej częstotliwości łączeń. Impulsy sterujące wychodziły od szeregu przekaźników programowych.

W dziedzinie aparatury dźwigowej i trakcyjnej wystawiano bogaty wybór nastawników walcowych i stycznikowych w różnych układach połączeń. Urządzenia zabezpieczające, jak wyłączniki krańcowe dźwigniowe — olejowe i suche, wyłączniki krańcowe wrzecionowe, zwalniające hamulcowe elektromagnetyczne i elektrohydrauliczne, łączniki przyciskowe nożne oraz pomocniczy sprzęt sieci ślizgowej, jak zbieracze prądu, uchwyty, pierścieniowe doprowadzenia prądu, dawały obraz naszej dzisiejszej wytwórczości w dziedzinie urządzeń dźwigowych. Wspomniemy tu również o pomyślnych doświadczeniach z ruchu urządzeń dźwigowych, wyposażonych w stycznikowe zespoły sterownicze.

Demonstrowane na Targach mierniki przemysłowe wykazują dużą dokładność wykonania. Szereg aparatów pomiarowych typu ruchowego, jak wielozakresowy wolt-ampieriomierz, miernik oporu izolacji z przetwornicą wibracyjną, kleszcze Dietza i inne dają obecnie możliwość elektrykowi ruchowemu dokonywania w każdej chwili pomiarów o znacznej dokładności.

Pokazaliśmy wybór własnych przekaźników — rtęciowych i stykowych, czasowych i nadmiarowych, impulsowych i programowych. Mamy prawo liczyć na szybki rozwój tej zupełnie nowej w naszym kraju dziedziny wytwórczości.

Wobec coraz większych mocy instalowanych po stronie urządzeń niskiego napięcia zachodzi potrzeba stosowania urządzeń, które zapewniają ochronę przed skutkami stale rosnących wielkości prądów zwarcia. Oprócz wyłączników samoczynnych zapadkowych o dostatecznej zdolności wyłączalnej przemysł aparatowy produkuje masowo bezpieczniki dużej mocy niskiego napięcia. Trzy częściowo wzajemnie wymienne wielkości wkładek bezpiecznikowych mieszczą w przestrzeni szczerle wypełnionej materiałem kwarcowym, gaszącym łuk, topiki o charakterystyce opóźnionej na prądy znamionowe od 25 do 600 A. Budowa bezpiecznika umożliwia jego wielokrotną regenerację po działaniu. Regeneracja wykonana przez zakład wytwórczy gwarantuje prawidłowe i zgodne z charakterystyką działanie.

Oprócz typowych eksponatów aparatury przemysłowej wystawiono urządzenia do gospodarki olejowej, jak aparat do filtrowania i suszenia oraz aparat do prób oleju izolacyjnego na wytrzymałość dielektryczną.

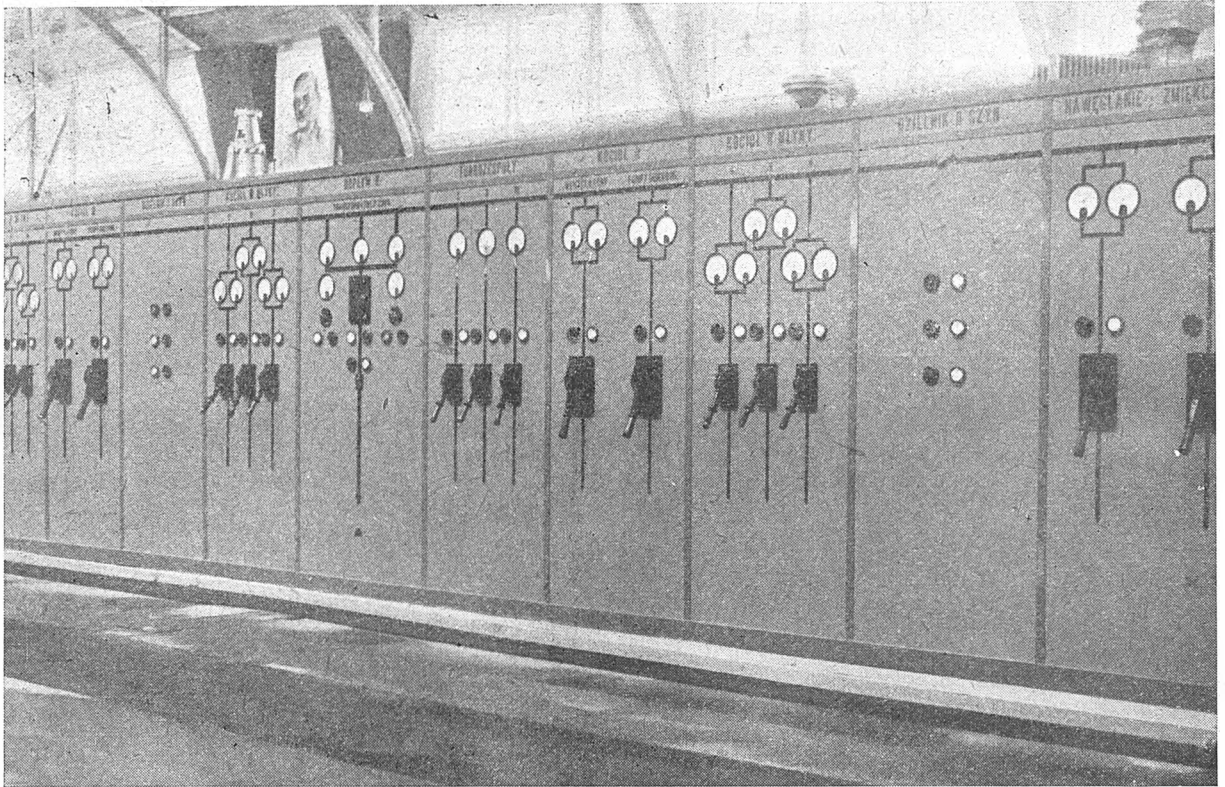
Osobny dział zajmowały na targach aparaty elektryczne z nowoczesnym urządzeniem rentgenowskim na czele (rys. 14). Poza tym demonstrowano panto-



stacy, aparat do wstrząsów elektromedycznych i lampy do naświetleń promieniami ultrafioletowymi czy typu Solux. Z dziedziny oświetlenia przemysłowego wy-

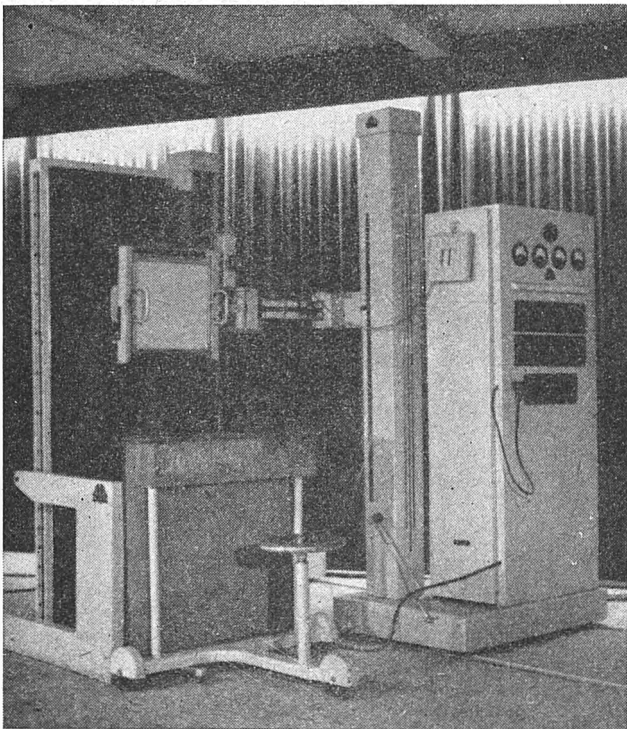
napięciem 110 kV i z czynnym rentgenowskim aparatem diagnostycznym.

W ogólnej ocenie wystawianej aparatury można stwier-



Rys. 13. Rozdzielnia przemysłowa niskiego napięcia (Polska)

stawiano bogaty wybór opraw przemysłowych, pozwalający na pełne wykorzystanie światła żarowego. Szeroko były stosowane na Targach rury fluoryzujące krajowego wyrobu.



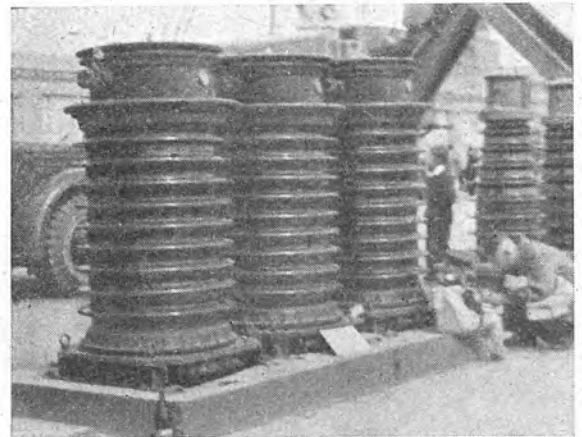
Rys. 14. Urządzenia rentgenowskie (Polska)

Urozmaiceniem stoiska Centrali Handlowej Przemysłu Elektrotechnicznego był salon demonstracyjny z efektownymi pokazami wyładowań powierzchniowych na szkłe pod

dzić stały rozwój zarówno pod względem liczby typów, jak i ich poziomu technicznego.

Oczywiście, daleko jeszcze u nas do pełnego wyposażenia przemysłu we własną aparaturę wysoko- i niskonapięciową. Szereg naszych konstrukcji nie odpowiada już nowoczesnym wymaganiom. Jakość wykonania ustępuje wielu zagranicznym wyrobom. Jesteśmy jednak pewni, że odbudowujący się i rozbudowujący się polski przemysł aparatowy, opierając się na młodych kadrach specjalistów oraz pomocy naukowej i fachowej Związku Radzieckiego, postawi wkrótce na należytych poziomach swe biura konstrukcyjne, laboratoria i wytwórnie i osiągnie rozwój, odpowiadający naszym potrzebom.

Z. S. R. R. Targi tegoroczne ponownie wykazały przo-



Rys. 15. Przekładnik napięciowy na  $110 : \sqrt{3}/0,1$  kV (ZSRR)

dujące stanowisko radzieckiego przemysłu aparatów elektrycznych. Ekspozycje pokazywano nie tylko osobno w specjalnych działach. Szereg urządzeń było wbudowanych w maszyny i zespoły, które demonstrowano w ruchu.



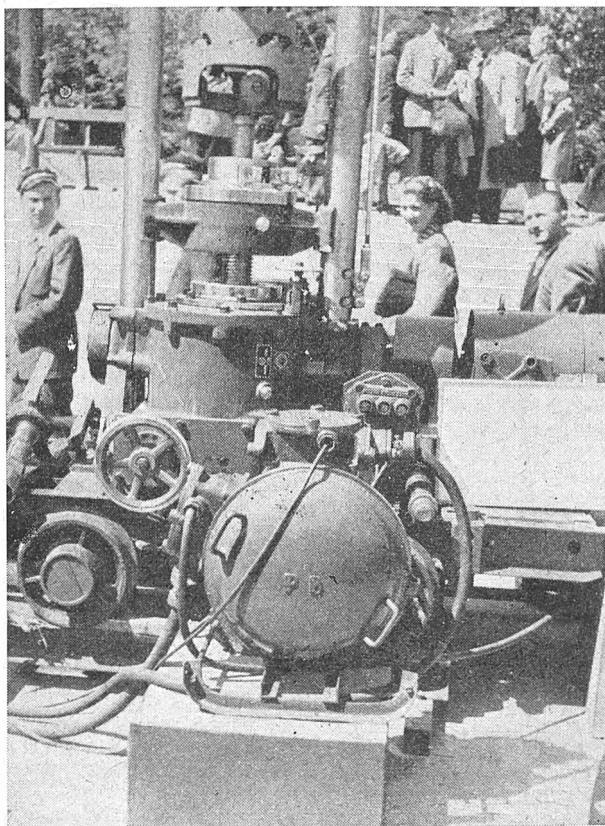
Z aparatury wysokonapięciowej należy wymienić wyłącznik napowietrzny na 6 kV oraz przekładniki 110-kilowoltowe (rys. 15).

Zainteresowanie wzbudzał wyłącznik samoczynny niskiego napięcia na 1500 A, 500 V. Wyłącznik ten, klasycznej konstrukcji trójstykowej, odznaczał się wielką dokładnością wykonania i pięknym wykończeniem. Zwracała uwagę charakterystyczna budowa wyzwalaczy elektromagnetycznych o rdzeniach z małym rozproszeniem i opóźnieniem czasowym przy pomocy mechanizmu zegarowego. Styki główne typu mostkowego posiadały nakładki srebrne. Wszystkie części metalowe wyłącznika były starannie kadmowane.

Z wystawionej serii styczników suchych — o bardzo prostej, lecz mocnej budowie — szereg aparatów można było oglądać zainstalowanych w pracujących urządzeniach. Zwracały uwagę masywne i wygodne do obsługi urządzenia przyciskowe wraz z lampkami sygnalizacyjnymi.

Na obszernych terenach otwartych widzieliśmy te same styczniki wbudowane w ognioszczelne osłony w zespołach różnych maszyn górniczych do urobku i przewozu węgla (rys. 16).

W ogromnej kopaczce czerpakowej oglądaliśmy stycznikową aparaturę sterującą na prąd stały, w układzie Leonarda. Nastawniki w urządzeniach trakcyjnych (elektro-



Rys. 16. Ognioszczelny przenośny zespół łącznikowy ze stycznikiem suchym, sterowanym przyciskami do napędu pionowej wiertarki górniczej (ZSRR)

busy, wozy kopalniane i akumulatorowe) odznaczały się zwartą i mocną konstrukcją. Nastawniki sterownicze typu stycznikowego posiadały bardzo lekkie biegi przy zdecydowanych położeniach stopni i mocnej wodoszczelnej obudowie.

W dziedzinie przyrządów pomiarowych bogaty wybór mierników, od przemysłowych i ruchomych do ścisłych przyrządów laboratoryjnych, jak oscylografy katodowe i wielopętlicowe magnetyczne, wzorce i mostki pomiarowe, pozwalał zorientować się w możliwościach produkcyjnych i asortymencie przemysłu radzieckiego.

Czechosłowacja. Na stoiskach czechosłowackich oglądaliśmy niskonapięciową aparaturę sterowniczą mniejszych mocy, głównie styczniki suche używane do napędów obrabiarkowych. W dziedzinie aparatury miernikowej wi-

dzieliśmy szereg nowoczesnych przyrządów pomiarowych. Zwracał uwagę przemysłowy aparat rentgenowski.

Węgry. Przemysł tego kraju reprezentowany był przez wyroby zakładów Ganz, które należą do najstarszych w Europie. Zademonstrowano wyłączniki małoolejowe na 10 i 30 kV do urządzeń wewnątrzowych oraz napowietrzne przekładniki do 110 kV. Na specjalną uwagę zasługiwał dwuprzerwowy odłącznik napowietrzny na 110 kV, w którym dzięki prostej konstrukcji styku stałego zapewnione zostało samooczyszczanie się styków oraz łatwe kruszenie lodu w warunkach zimowych (rys. 19). Z urządzeń nisko-napięciowych warto wspomnieć o styczniku na 350 A do ruchu ciężkiego typu jak wykonywany u nas.

Rumunia, Bułgaria i Albania. Kraje te do ostatnich czasów własnych przemysłów aparatowych nie posiadały. Wystawione ekspozyty z dziedziny prostych urządzeń na wysokie i niskie napięcia świadczą o poważnych wysiłkach twórczych państw Demokracji Ludowych w kierunku uprzemysłowienia kraju i odrobienia zaniechanych okresu kapitalistycznego.

Niemiecka Republika Demokratyczna. Spośród wystawionych aparatów wysokiej klasy zasługuje na uwagę 9-pętlicowy oscylograf elektromagnetyczny z bogatym wyposażeniem. Z urządzeń wysokonapięciowych demonstrowano dwupolową szafę rozdzielczą na napięcie 6 kV w wykonaniu kopalnianym, wyposażoną w autopneumatyczne wyłączniki.

Lokomotywa elektryczna na tor normalny posiadała szereg urządzeń aparatowych, między innymi wyłączniki bardzo szybkie typu Gearapid i styczniki, uruchamiane sprężonym powietrzem. Sterowanie lokomotywy odbywało się za pomocą nastawnika sterowniczego typu stycznikowego; uruchamiał on zawory elektryczne, kierujące sprężone powietrze do właściwych styczników.

Szwajcaria. Firma Brown-Boveri wystawiła wewnątrzowy wyłącznik powietrzny na 10 kV, 100 MVA. Ekspozat ten wraz z licznymi przełącznikami zaliczyć można do najwyższej klasy aparatury elektrycznej. Z innych urządzeń zwracała uwagę seria odgromników katodowych na napięcia robocze 6, 10, 20 i 30 kV.

Z dziedziny aparatury niskonapięciowej BBC wystawiło wyłącznik samoczynny na 1000 A, 500 V w klasycznym układzie ze stykiem mostkowym masywnym. Charakterystycznym elementem były dobudowane wyzwalacze typu transformatorowego z odlanym uzwojeniem pierwotnym i przełącznikami termicznymi i elektromagnetycznymi. Przełączniki termiczne były wyskalowane w temperaturze chronionego urządzenia. Z urządzeń sterowanych oglądaliśmy styczniki suche i olejowe bardzo małych rozmiarów, z wyzwalaczami cieplnymi o migowym działaniu. O stopniu doskonałości użytych materiałów świadczy, będący w stałym ruchu układ napędu nawrotnego silnika na 2,5 kW, o hamowaniu przeciwprądowym i liczbie łączy powyżej 600 na godzinę.

Inna firma szwajcarska (Trüb & Täuber) zademonstrowała poza ścisłymi aparatami pomiarowymi także oscylograf katodowy z zimną katodą. Po raz pierwszy w Polsce oglądaliśmy mikroskop elektronowy. Przyrząd ten budził zainteresowanie naukowców ze świata medycyny, fizyki i chemii. Jakość reprodukowanych zdjęć wskazywała na wielką doskonałość aparatu.

Włochy. Firmy „Officine Galileo“, „Scapa-Magnano“ i „Magrini“ wystawiły jedynie aparaturę wysokonapięciową, w szczególności wyłączniki wewnętrzne małoolejowe na 15, 20 i 45 kV z napędem zdalnym elektromagnetycznym, silnikowym i na sprężone powietrze. Demonstrowano również jeden biegun wyłącznika napowietrzego małoolejowego na 110 kV oraz przekładnik napięciowy na 150 kV.

Ciekawą konstrukcję przedstawiał wyłącznik powietrzny firmy Magrini na napięcie 10 kV, 1200 A i 500 MVA mocy wyłączalnej. Włącza go się za pomocą napędu zdalnego na sprężone powietrze, wyłącza się zaś normalnie za pomocą przełączników lub wyzwalaczy bezpośrednich. Wyłącznik posiada pojedynczy kłocowy styk ruchomy, którego część opalinowa wykonana jest ze spieku wolframowego. Część stykowa stale przewodząca posiada masywną wkładkę srebrną. Wyłącznik przypomina budową wyłącznik niskonapięciowy typu bardzo szybkiego.

Dużą moc odłączalną uzyskuje się dzięki urządzeniu do gaszenia łuku typu DEION (rys. 20). W urządzeniu tym

łuk pali się między elektrodami rożkowymi, znajdującymi się w komorze łukowej, zasilając równocześnie poprzeczne pole magnetyczne. Pole to powoduje ruch wirowy łuku, co wraz z rozdzielaniem go szeregiem płytek chłodzących daje w wyniku momentalne wygaszenie. Styk ruchomy zapoczątkowuje jedynie powstanie łuku, przerywa go na rożki prowadzące, a sam cofa się poza obręb jego działania.

Wyłącznik ten jest przykładem „naturalnego“ sposobu gaszenia łuku bez korzystania ze skomplikowanych urządzeń i metod. Zajmuje on nieco więcej miejsca niż podobnego typu wyłącznik olejowy. Nie mniej jednak pokazuje bez wątpienia w prosty sposób drogę rozwiązania problemu mocy zwarciowej dla wyłączników na średnie napięcia.

Austria. Demonstrowano przyrządy pomiarowe „Norma“, małe styczniki suche i transformatoriki miernikowe.

Wnioski ogólne. Aparatura wystawiona na tegorocznych Targach Poznańskich wykazuje stały rozwój myśli technicznej. Zwraca uwagę ogromny asortyment aparatury miernikowej, co dowodzi coraz większej roli, którą wyznacza się wyposażeniu laboratoriów, kontroli i ruchu w nowoczesne, ścisłe, a jednak nadające się do intensywnej pracy przyrządy pomiarowe.

Szerokie rozpowszechnienie znajdują aparaty zapisujące kilka różnych wielkości pomiarowych na wspólnym pasku wykresowym.

W dziedzinie urządzeń elektrycznych dla usprawnienia organizacji pracy zwracały uwagę wspaniałe urządzenia dyspozytorskie, dyktafony magnetyczne (ZSRR), dyktafony woskowe (Szwecja), oraz wszechstronne urządzenia do kontroli czasu.

## GRZEJNICTWO ELEKTRYCZNE\*)

### Przegląd metod elektrotermicznych

INŻ. T. SCHWARTZ

Treść. Podany jest przegląd metod, które w praktyce stosowane są do wytwarzania ciepła z elektryczności. Przeglądu dokonano na tle rozwoju historycznego poszczególnych metod i ich obecnego zastosowania w przemyśle.

#### 1. Klasyfikacja metod.

Przez metodę elektrotermiczną rozumiemy sposób wytwarzania ciepła z elektryczności.

Wytwarzanie ciepła z elektryczności jest podstawą wielu procesów przemysłowych o dużym znaczeniu dla gospodarki krajowej, zwłaszcza w przemyśle hutniczym i chemicznym oraz w wielu przemysłach związanych z mechaniką.

Przed rozpatrzeniem poszczególnych metod elektrotermicznych warto zwrócić uwagę na ich cechy wspólne.

Wszystkie metody elektrotermiczne dotyczą przemiany energetycznej elektrocieplnej, dla której jedną z najbardziej charakterystycznych wielkości, podobnie jak i dla innych przemian, jest sprawność.

Sprawność ogólna procesów występujących w elektrycznych urządzeniach grzejnych, rozumiana jako stosunek ilości użytecznego ciepła do ilości zużytej energii elektrycznej, zależy od metody, od sposobu wykonania urządzenia i od innych czynników, jednak nie bywa niższa od kilku dziesiątych i średnio może być oszacowana jako równa 0,7. W zestawieniu ze sprawnością innych przemian, przy których użytkowywana jest energia elektryczna, wartość ta nie jest bynajmniej mała. Przemiany energii elektrycznej w mechaniczną (napęd elektryczny) zachodzą w urządzeniach technicznych ze sprawnością około 0,8, a więc tego samego rzędu.

Pogląd o niecelowości procesów elektrotermicznych, oparty na wartości sprawności tych procesów, byłby zupełnie niesłuszny, nawet gdyby sprawność przemian elektrotermicznych była zupełnie niska. O zastosowaniu praktycznym metody nie decyduje wyłącznie sprawność. Gdyby

sprawność stanowiła jedyne kryterium stosowalności metod, nie byłoby nigdy używane światło żarówek elektrycznych, w których energię świetlną uzyskuje się z elektrycznej ze sprawnością wynoszącą najwyżej 0,15.

Wysoką sprawność procesów elektrotermicznych zawdzięcza się wysokiej sprawności elektrycznej i dobrej sprawności cieplnej. Sprawność cieplna, czyli stosunek ilości użytecznego ciepła do ilości całkowitego ciepła, jest w elektrycznych urządzeniach grzejnych z reguły znacznie wyższa od sprawności cieplnej urządzeń grzejnych opartych na innych zasadach działania. Sprawność elektryczna elektrycznych urządzeń grzejnych jest bliska jedności albo równa jedności.

Metody elektrotermiczne poza dobrą sprawnością charakteryzują cały szereg niezmiernie cennych zalet; należą do nich między innymi:

- osiągalność wysokich temperatur,
- możność utrzymywania temperatury na żądanym poziomie przy pomocy samoczynnych regulatorów,
- równomierność wytwarzanego ciepła,
- łatwość stosowania zarówno ze względu na dużą ilość metod, jak i na elastyczność poszczególnych metod w przystosowaniu do dowolnego procesu przemysłowego,
- czystość procesu,
- mała bezwładność procesu,
- łatwość instalowania urządzeń grzejnych,
- bardzo małe koszty utrzymania urządzeń grzejnych,
- przeważnie duże skrócenie czasu produkcji w porównaniu z innymi metodami,
- mniejsza ilość potrzebnego na urządzenie miejsca i zysk miejsca ze względu na nieobecność magazynów paliw, zbiorników popiołu itd.

znaczenie lepsze warunki pracy, warunki zdrowotne i samopoczucie robotnika ze względu na czystość procesów i ułatwienie w pracy dzięki całkowitej lub częściowej samoczynności procesów.

Metody elektrotermiczne są dla niektórych procesów przemysłowych jedynymi metodami; w innych wypadkach są one szybsze, albo bardziej bezpieczne, albo bardziej doskonałe z punktu widzenia uzyskiwanego dzięki nim rezultatu działania.

Poza wymienionymi zaletami większość metod elektrotermicznych pozwala na nagrzewanie bezpośrednio, czyli wytwarzanie ciepła bezpośrednio w ogrzewanym materiale, co na ogół nie jest możliwe przy użyciu innych metod.

Metody ogrzewania przy pomocy materiałów palnych są metodami pośredniego ogrzewania; towarzyszy im przejście ciepła ze źródła ciepła do ciała ogrzewanego, przy czym konieczna jest różnica temperatur źródła i ciała

\*) Jest to seria artykułów, napisanych jako czyn 1-majowy przez współpracowników Zakładu Elektrotermii GIElu dla zapoznania najszerszych kół elektryków polskich (a zwłaszcza racjonalizatorów) w ogólnej i przystępnej formie z zadaniami, dzisiejszym stanem i widokami dalszego rozwoju wszystkich głównych dziedzin grzejnictwa elektrycznego.

Bardziej szczegółowe wiadomości z niektórych dziedzin tego grzejnictwa czytelnik znajdzie w następujących pracach ogłoszonych w PE w 1948 r.:

Sochor B. Źródła prądu wielkiej częstotliwości w grzejnictwie indukcyjnym (zesz. 6, str. 171).

Schwartz T. Wielkie częstotliwości w zastosowaniu do elektrotermicznej obróbki dielektryków (zesz. 12, str. 411).

Baumgartner H. Przemysłowe zastosowania grzejnictwa dielektrycznego (zesz. 12, str. 430).

Scherrer S. W. Grzejnictwo wielkiej częstotliwości (zesz. 12, str. 491).

Guyer E. M. Obróbka szkła techniką wielkiej częstotliwości (zesz. 12, str. 432).

Mokrosz E. Elektrotermika pieców elektrodowych (zesz. 12, str. 418).

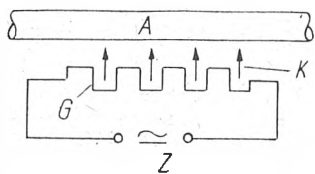
Schwartz T. Metoda modyfikacji wykresu kołowego urządzeń łukowych (zesz. 12, str. 420).

ogrzewanego, bo tylko wtedy może nastąpić przestrzenne przenoszenie się ciepła.

Metody bezpośredniego ogrzewania cechuje wyższa sprawność cieplna.

Metody elektrotermiczne pozwalają na bezpośrednie nagrzewanie zarówno ciał przewodzących prąd jak i dielektryków.

Rozróżniamy siedem metod elektrotermicznych. Wprawdzie odnosząc zjawiska wytwarzania ciepła z energii elektrycznej do pokonywania oporu na drodze przepływu prądu elektrycznego, można by podaną ilość metod zredukować, ale jak rozróżniamy np. zjawiska świetlne, radiowe i podczerwone, chociaż moglibyśmy wszystkie zaliczyć do falowania elektromagnetycznego, tak też ze względów użytkowych rozróżniamy następujące metody: 1) oporową,

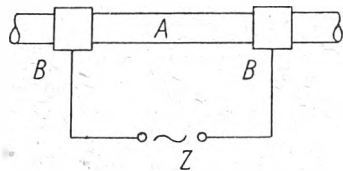


Rys. 1. Ogrzewanie oporowe pośrednie

A — ciało ogrzewane  
G — element grzejny  
Z — źródło prądu  
K — kierunek przepływu ciepła

2) elektrodową, 3) łukową, 4) indukcyjną, 5) pojemnościową, 6) promieniowania podczerwonego, 7) promieniowania katodowego.

Ostatnia z wymienionych metod jest jeszcze w stadium badań laboratoryjnych, nie będzie więc tutaj bliżej rozpatrywana; wszystkie inne są w pełni uznane za wartościowe.



Rys. 2. Ogrzewanie oporowe bezpośrednie

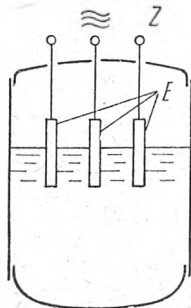
A — ciało ogrzewane  
B — zaciski doprowadzające prąd  
Z — źródło prądu

we i stosowane w przemyśle do wielu procesów produkcyjnych i przetwórczych.

## 2. Metoda oporowa.

Metodę oporową określamy jako wytwarzanie ciepła Joule'a przy przepływie prądu elektrycznego przez stałe przewodniki.

Ilość ciepła wytwarzana tym sposobem nie zależy od kierunku prądu; w obwodzie grzejnym może więc płynąć zarówno prąd stały, jak i zmienny.



Rys. 3. Elektryczny kocioł parowy

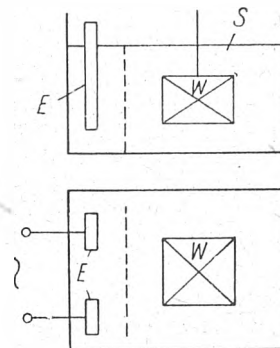
E — elektrody  
Z — źródło prądu zmiennego wysokiego napięcia

Metoda oporowa pozwala na ogrzewanie pośrednie dowolnych ciał i bezpośrednie ogrzewanie ciał przewodzących prąd. W praktyce bezpośrednie ogrzewanie stosuje się przede wszystkim do ciał o przewodności metalicznej (metale, węgiel).

Schemat układu ogrzewania oporowego pośredniego podany na rys. 1, a bezpośredniego na rys. 2.

Przy bezpośrednim ogrzewaniu ciało ogrzewane (wsad) włączone jest w obwód prądu; przy pośrednim ogrzewaniu wsad wydzielony jest z obwodu grzejnego, który dostarcza mu ciepła przez przewodzenie, unoszenie i promieniowanie.

Bezpośrednie ogrzewanie oporowe stosowane było w przemyśle już od roku 1891 w piecach Achesona do gra-

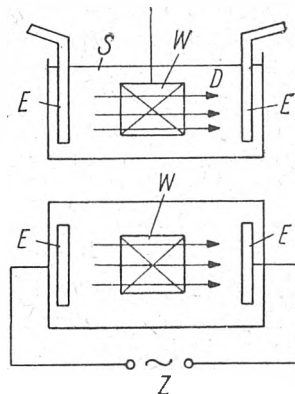


Rys. 4. Grzanie elektrodowe pośrednie w wannie solnej

S — sól  
W — wsad  
E — elektrody  
Z — zasilanie prądem zmiennym

fityzacji węgla i do produkcji karborundu. Pośrednie ogrzewanie oporowe zostało wprowadzone do przemysłu dopiero po wynalezieniu w roku 1910 chromonikieliny, jakkolwiek pierwszy piec o działaniu pośrednim zbudowany był już w roku 1849 przez Depretza.

We współczesnym przemyśle piece oporowe odgrywają ogromną rolę przede wszystkim jako źródła ciepła przy ob-



Rys. 5. Grzanie elektrodowe pośrednio-bezpośrednie w wannie solnej

S — sól  
W — wsad  
E — elektrody  
D — droga prądu  
Z — źródło prądu zmiennego

róbce cieplnej ciał poniżej punktu topliwości, przy procesach elektrochemicznych i przy topieniu metali o stosunkowo niskim punkcie topliwości.

## 3. Metoda elektrodowa.

Przez metodę elektrodową rozumie się wytwarzanie ciepła tarcieniem jonów przy przepływie prądu przez ciecz, do której zanurzone są elektrody.

Ponieważ przepływowi prądu przez ciecz towarzyszyć może zjawisko elektrolizy, w przypadkach, w których chcemy jej uniknąć, stosować można w obwodzie grzejnym tylko prąd zmienny o częstotliwości powyżej 15 okr./sek.

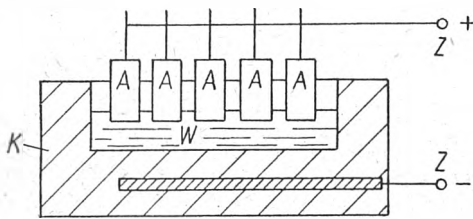
Metoda elektrodowa stosowana jest w praktyce do bezpośredniego, pośredniego i pośrednio-bezpośredniego ogrzewania.

Trzy ważne grupy urządzeń grzejnych pracują na zasadzie elektrodowej, mianowicie: kotły wodne i parowe, wanny solne i termoelektrolizery.



Kotły elektrodowe do grzania wody lub wytwarzania pary (rys. 3), są grzejnikami o działaniu bezpośrednim. Ciepło wytwarza się w wodzie, przez którą przepływa prąd doprowadzany elektrodami.

Wanny solne (rys. 4) nowej konstrukcji (Blomberg, Ajax-Hultgren) służą do pośredniego ogrzewania; natomiast działanie zwykłej wanny solnej (rys. 5), będącej w

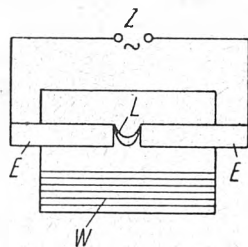


Rys. 6. Termoelektrolizer glinu

A — anody W — wsad  
K — katoda Z — zaciski prądu stałego

powszechnym jeszcze użyciu do celów hartowniczych, jest pośrednio-bezpośrednie, gdyż wsad ogrzewa się pośrednio od soli i bezpośrednio od prądu płynącego między elektrodami.

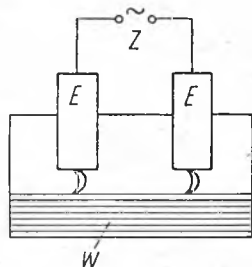
Termoelektrolizery są piecami elektrycznymi zasilanymi prądem stałym i służą do wytapiania i rafinacji niektórych metali (glin, potas, sód, magnez, wapń itd.). Szkic układu termoelektrolizera do produkcji aluminium podany jest na rys. 6. Surowce użyte do produkcji aluminium są roztopiane i utrzymywane w stanie roztopionym ciepłem, powstającym na skutek przepływającego przez nie prądu.



Rys. 7. Ogrzewanie łukowe pośrednie

E — elektrody Z — źródło prądu  
L — łuk W — wsad

Wydzielone z surowców działaniem prądu elektrycznego aluminium gromadzi się na dnie zbiornika (K).



Rys. 8. Ogrzewanie łukowe bezpośrednio o łuku otwartym

Z — źródło prądu zmiennego  
E — elektrody W — wsad

Metoda elektrodowa znana jest od czasów Héroult'a i Hall'a, którzy pierwsi użyli jej do produkcji glinu w roku 1886.

#### 4. Metoda łukowa.

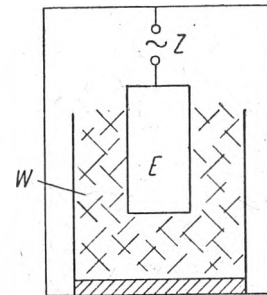
Wytwarzanie ciepła przez palenie łuku elektrycznego nazywa się metodą łukową.

Łuk może palić się zarówno przy prądzie stałym, jak i zmiennym, ale w praktyce grzejniki łukowe zasilane są obecnie wyłącznie prądem zmiennym, gdyż jest to gospodarczo korzystniejsze.

Pośrednie ogrzewanie łukowe stosuje się w urządzeniach, w których wsad poddawany jest działaniu ciepła wypromieniowywanego z łuku (rys. 7); sposób taki — bardziej odpowiedni przy łatwo topliwym wsadzie — jest obecnie

rzadko w praktyce stosowany. Ogromna większość pieców łukowych działa bezpośrednio: wsad piecowy jest włączony w obwód prądu, przy czym znane są układy o łuku otwartym (rys. 8) i łuku otulonym (rys. 9).

Metoda łukowa stosowana jest w przemyśle od dawna; prawdopodobnie pierwszym laboratoryjnym piecem łuko-



Rys. 9. Ogrzewanie łukowe bezpośrednio o łuku otulonym

E — elektrody  
W — wsad  
Z — źródło prądu zmiennego

wym posługiwał się Davy w 1810 r. Poważne próby grzania łukiem elektrycznym prowadzone były w połowie ubiegłego wieku; pierwsze piece łukowe przemysłowe przypadają na lata: Siemens'a — 1878/9, Moissana — 1890, Héroult'a — 1899.

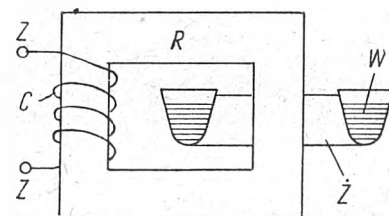
Piece łukowe odgrywają poważną rolę w procesach metalurgicznych (produkcja stali specjalnych) i chemicznych (np. produkcja karbidu).

#### 5. Metoda indukcyjna.

Przez metodę indukcyjną rozumiemy wytwarzanie ciepła prądami wirowymi indukowanymi w ciałach przewodzących prąd, a w ciałach ferromagnetycznych także — do punktu Curie\*) — przez histerezę magnetyczną.

Z definicji wynika, że grzejniki indukcyjne mogą być wyłącznie grzejnikami prądu zmiennego.

Grzanie indukcyjne w praktyce jest najczęściej grzaniem bezpośrednim ciał przewodzących elektrycznie, głów-



Rys. 10. Grzanie indukcyjne w piecu rdzeniowym

C — cewka pierwotna  
Z — zaciski prądu zmiennego  
R — rdzeń żelazny  
Z — żródło  
W — wsad

nie metali, spotyka się jednak także urządzenia o grzaniu pośrednim, np. do topienia kwarcu w tyglach grafitowych ogrzewanych indukcyjnie.

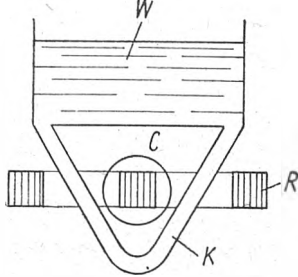
Urządzenia oparte na działaniu indukcyjnym dzielą się na rdzeniowe i bezrdzeniowe. Do pieców rdzeniowych zalicza się piece żłobowe (Kjellin) i piece kanałowe (Ajax-Wyatt).

Piece żłobowe (rys. 10), używane dawniej do produkcji stali, mają dziś znaczenie historyczne. Piece kanałowe (rys. 11), rozpowszechniające się coraz bardziej w odlewniach miedzi, brązu, aluminium itd., zasilane są częstotliwością 50 okr./sek. Obydwa typy działają podobnie jak transformator żelazny o zwartym wtórnym obwodzie. Ciepło wydziela się bezpośrednio w metalu topionym, stanowiącym obwód wtórny transformatora; źródłem tego ciepła jest indukowany w obwodzie wtórnym prąd elektryczny o bardzo dużym natężeniu.

Urządzenia grzejne indukcyjne bezrdzeniowe charakteryzują się powietrznym sprzężeniem obwodów; zaliczamy

\*) To znaczy do temperatury ok. 760° C, przy której tracą one własności magnetyczne.

do nich piece do topienia metali, zasilane częstotliwością od kilkuset do kilku tysięcy okr./sek. (rys. 12) i urządzenia do hartowania powierzchniowego, zasilane częstotliwością od kilku tysięcy do jednego miliona okr./sek. (rys. 13). W obydwu wypadkach ciepło wydziela się w metalu

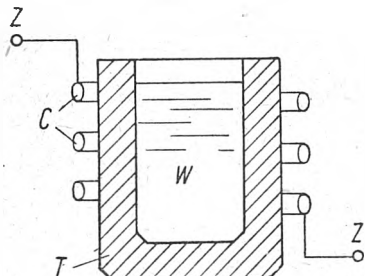


Rys. 11. Grzanie indukcyjne bezpośrednie w kanałowym piecu indukcyjnym

C — cewka pierwotna zasilana z sieci prądu zmiennego  
R — rdzeń żelazny  
K — kanał  
W — wsad (płynny metal)

nagrzewaniem skutkiem przepływu prądów wirowych indukowanych w metalu ogrzewanym i ew. skutkiem histerezy. Podwyższenie częstotliwości jest niezbędne dla zwiększenia sprzężenia magnetycznego obwodów, koniecznego do osiągnięcia dobrej sprawności elektrycznej.

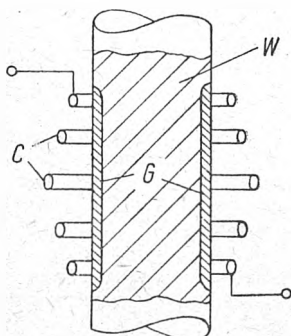
Nie wszystkie urządzenia grzejne indukcyjne znane są od dawna. Choć znany jest patent na indukcyjne żelazko



Rys. 12. Ogrzewanie bezpośrednie w piecu indukcyjnym bezrdzeniowym

C — cewka pierwotna W — wsad (metal topiony)  
Z — zaciski prądu zmiennego T — tygiel

elektryczne do prasowania z roku 1891, pierwszy piec indukcyjny bezrdzeniowy zbudowany był dopiero w roku 1914 (F. Jacoviello). Piece rdzeniowe wprowadzone były do przemysłu dzięki wynalazkowi de Ferranti'ego (1887 r.) i rozwój ich przypada na przełom XIX i XX w. (Kjellin —



Rys. 13. Ogrzewanie powierzchniowe indukcyjne

C — wzbudnik W — wsad (wał korbowy)  
G — warstwa nagrzewana

1900 r.). Nagrzewanie indukcyjne powierzchniowe jest zdobyczą ostatniego dziesięciolecia (Dufour, Leduc).

Metoda grzania indukcyjnego odgrywa dziś główną rolę w hutnictwie i w przemysłach związanych z hutnictwem oraz we wszystkich warsztatach mechanicznych stosujących ciepłą obróbkę powierzchniową.

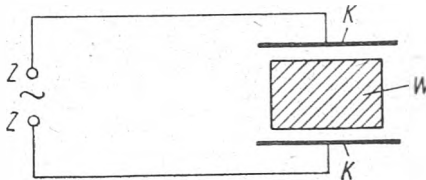
## 6. Metoda pojemnościowa.

Metoda pojemnościowa polega na wytwarzaniu ciepła w dielektrykach poddanych działaniu szybkozmiennego pola elektrycznego.

Zasilanie obwodu grzejnego przy metodzie pojemnościowej (rys. 14) odbywa się prądem zmiennym o częstotliwości rzędu kilku do kilkuset megacykliów na sekundę.

Zastosowania przemysłowe tej metody datują się mniej więcej od r. 1939 i rozwinęły się na bardzo szeroką skalę podczas ostatniej wojny.

Metoda pojemnościowa jest metodą bezpośredniego nagrzewania — ciepło wytwarza się wprost we wsadzie W —



Rys. 14. Ogrzewanie bezpośrednie pojemnościowe

K — okładziny kondensatora  
W — wsad  
Z — zaciski prądu zmiennego

i jest obecnie w powszechnym użyciu w przemysłach produkujących i przetwarzających materiały nieprzewodzące, głównie sztuczne żywice, gumę, drewno itd.

## 7. Metoda promieniowania podczerwonego.

Metoda promieniowania podczerwonego polega na wytwarzaniu ciepła w ciałach opromieniowanych falami elektromagnetycznymi o długościach od ok. 0,8 do ok. 20 mikronów.

Metoda ogrzewania promieniami podczerwonymi służy do bezpośredniego wytwarzania ciepła zwłaszcza w warstwach powierzchniowych ciał ogrzewanych i nadaje się przede wszystkim do suszenia.

Źródła promieniowania podczerwonego, czyli tzw. promienniki podczerwieni zasilane są zwykle prądem zmiennym o częstotliwości 50 okr./sek.

Budowa i zastosowanie w przemysłach promienników podczerwieni datuje się od ostatniego dziesięciolecia.

## 8. Zastosowania metod elektrotermicznych i wybór metody.

Dokładne wyszczególnienie zastosowań, które wymienione wyżej metody elektrotermiczne znalazły w przemyśle, wymagałoby dłuższego opracowania. „Nowe“ metody znajdują coraz inne zastosowania i grupa przemysłów „różnych“, zainteresowanych tymi metodami, stale wzrasta. Ograniczymy się więc tutaj do krótkiego przeglądu.

Przemysły, zainteresowane grzejnictwem elektrycznym i stosujące metody elektrotermiczne, to przede wszystkim przemysły pochodne od metalurgii, chemii i mechaniki, a następnie przemysły różne: np. spożywczy, farmaceutyczny, włókienniczy, drukarski itd.; wreszcie metody elektrotermiczne interesujące są dla elektryfikacji wsi i gospodarstw domowych, szpitali, kasyn, jadłodajni itp.

Główne zastosowania metod elektrotermicznych są następujące: wytapianie rud, produkcja stali i stopów żelaznych, produkcja węglików, produkcja związków azotowych i ich pochodnych, produkcja materiałów ceramicznych i szkła, odlewnictwo metali, emaliowanie, wernikowanie, lakierowanie, cynkowanie, grzanie i akumulacja wody, produkcja i przetwarzanie jądła, różne.

Nie wszystkie zastosowania metod elektrotermicznych możliwe są do zrealizowania w dowolnych warunkach. Wytapianie rud np. opłaca się jedynie przy redukcji prowadzonej metodą ciągłą, na dużą skalę, przy taniej energii elektrycznej, a więc jedynie przy wyzyskaniu sił wodnych; podobnie instalowanie kotłów wodnych i parowych, zwłaszcza wielkich mocy, jest racjonalne jedynie przy nadwyżkach energii elektrowni wodnych.

Niektóre z wymienionych zastosowań nie nadają się dla innych metod poza elektrotermicznymi. Tak np. wyłącznie metodami elektrotermicznymi produkowany jest karbid i karborund, wytapianie aluminium, topiony kwarc.

Panuje pogląd, że w niedalekiej przyszłości wszystkie stale specjalne będą produkcji wyłącznie elektrotermicznej. Wiązanie azotu atmosferycznego, stanowiące podstawę produkcji nawozów sztucznych i materiałów wybuchowych, dokonywane jest głównie przy pomocy łuku elektrycznego; produkcja nawozów (fosforany i związki cyjanowe) związana jest ściśle z procesami elektrotermicznymi.

Wybór metody najodpowiedniejszej dla danego procesu nie jest dla fachowca trudny. Metody elektrotermiczne można rozpatrywać dla lepszej orientacji z punktu widzenia szybkości ich działania i głębokości przenikania wytwarzanego ciepła. Tak np. metodą oporową pośredniego ogrzewania posługujemy się zwykle w celu powolnego ogrzewania ciał. Gdy chodzi o szybkie nagrzanie na wskroś materiałów dielektrycznych, nadaje się najlepiej metoda pojemnościowa. Do suszenia przedmiotów wilgotnych za najodpowiedniejszą należy uważać metodę oporową pośredniego ogrzewania przy przenoszeniu ciepła drogą konwekcji, pod warunkiem, że nie zależy na znacznej oszczędności czasu; gdy czas suszenia ma być krótki a warstwa suszona jest cienka, lepiej zastosować metodę promieniowania podczerwonego.

Dość ważnym wskaźnikiem jest przy wyborze metody wielkość charakteryzująca ilość ciepła wytwarzanego na jednostkę powierzchni ogrzewanej, a więc decydująca o szybkości wzrostu temperatury. Przy metodach elektro-

termicznych można mieć mianowicie do czynienia z następującymi wielkościami strumienia ciepłego: przy ogrzewaniu oporowym metali na drodze przewodzenia ciepłego strumień ciepły może wynosić do około  $11 \text{ W/cm}^2$ ; przy metodzie oporowej, przy grzaniu pośrednim, przy przenoszeniu ciepła drogą konwekcji wymuszonej — do ok.  $0,6 \text{ W/cm}^2$ ; przy ogrzewaniu przez promienniki — do ok.  $0,6 \text{ W/cm}^2$ ; w piecach oporowych komorowych, przy ogrzewaniu przez promieniowanie — do ok.  $8 \text{ W/cm}^2$ ; przy ogrzewaniu indukcyjnym powierzchniowym — do  $1600 \text{ W/cm}^2$  i więcej; przy ogrzewaniu pojemnościowym — do około  $3,3 \text{ W/cm}^2$  i więcej.

Na pierwszy rzut oka istnieje w każdym prawie przypadku możliwość zastosowania różnych metod elektrotermicznych, jeżeli jednak uwzględnić specyficzne cechy metod, własności ciała ogrzewanego oraz względy technologiczne i ekonomiczne, okaże się, że dla danego procesu najbardziej właściwa jest zwykle tylko jedna metoda elektrotermiczna.

#### LITERATURA

1. Michiejew M. A. Osnovy tieplotieredacz. Moskwa — Leningrad, 1947.
2. Jacob M. & Hawkins G. A. Elements of heat transfer and insulation. New York, 1946.
3. Szorin S. N. Tieplotieredacza. Moskwa — Leningrad 1947.

II

## Podstawy termodynamiczne elektrotermii

INŻ. T. SCHWARTZ

Treść. W artykule omówione jest znaczenie i rola teorii procesów cieplnych w odniesieniu do zagadnień elektrotermicznych na tle projektowania elektrycznych urządzeń grzejnych.

Elektrotermia jest działem elektrotechniki i obejmuje zagadnienia dotyczące przemian energii elektrycznej w ciepło. Z tematyki elektrotermii wynika więc, że ważne są dla niej nie mniej niż prawa dotyczące elektryczności także prawa dotyczące zjawisk cieplnych.

Jakkolwiek ciepło w przemianach elektrotermicznych jest wtórną postacią energii i mogłoby się wydawać, że umiejętność posługiwania się energią elektryczną powinna stać na pierwszym miejscu, to jednak w teorii elektrotermii za podstawę przyjmuje się prawa termodynamiczne. Uzasadnienie tego wynika z toku rozwiązywania zagadnień elektrotermicznych, przy czym rozpoczyna się od ilościowych i jakościowych danych dotyczących ogrzewania, a kończy na ilościowych i jakościowych wynikach dotyczących elektryczności, stanowiącej źródło ciepła zużytego do ogrzewania.

Nie można prawidłowo zaprojektować elektrycznego urządzenia grzejnego, a więc wybrać odpowiedniej metody elektrotermicznej, i obliczyć mocy elektrycznej urządzenia działającego na zasadzie tej metody, jeżeli nie rozpocząć od rozważania, w jaki sposób ma odbywać się zużytkowanie ciepła, w jaki sposób mają być ogrzewane materiały przechodzące przez cieplny proces technologiczny, oraz jeżeli nie rozpocząć od obliczenia ilości ciepła niezbędnego do ogrzewania tych materiałów i od uwzględnienia sprawności termicznej procesu, czyli od uwzględnienia strat ciepła, towarzyszących każdemu procesowi ogrzewania.

Ciepło niezbędne do ogrzewania — w określony sposób — danego materiału nazywa się ciepłem użytym. Przez straty ciepła rozumie się tę ilość ciepła, którą pochłaniają zarówno masa tworzyw budowlanych urządzenia grzejnego, jak i ciała materialne stanowiące otoczenie elektrycznego urządzenia grzejnego: powietrze otoczenia, ciała stałe sąsiadujące z urządzeniem grzejnym.

Każdy proces cieplny w urządzeniu (układzie) technicznym podzielić można na trzy zasadnicze okresy czasowe: na rozgrzewanie, utrzymywanie stanu rozgrzania i stygnięcie.

Pierwszy i ostatni okres charakteryzuje się zmiennością temperatur rozpatrywanego układu w funkcji czasu i przestrzeni i należy do tak zwanych przebiegów niestabilnych; drugi charakteryzuje się, przynajmniej w teorii, niezmiennością temperatur rozpatrywanego układu w funkcji czasu i należy do tak zwanych przebiegów ustalonych.

Jeżeli uwzględnić, że zbiór temperatur poszczególnych punktów rozpatrywanego układu grzejnego nazywa się polem temperaturowym, to z tego, co powiedziano poprzednio, wynika, że podstawy termodynamiczne elektrotermii obejmują teorię przebiegów cieplnych w polach ustalonych i niestabilnych.

Pole temperaturowe określone jest przez funkcję

$$t = f(x, y, z, \tau),$$

wyrażającą temperaturę  $t$  dowolnego punktu, określonego w przestrzeni przez współrzędne  $x, y, z$ , w dowolnym czasie  $\tau$ .

Najprostszy przypadek dotyczy pola temperaturowego w środku jednorodnym i izotropowym; dla takiego przypadku pole zobrazowane jest różniczkowym równaniem cząstkowym (zwanym równaniem Kirchhoffa albo Fouriera) o postaci

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Rozwiązanie tej funkcji dla określonych warunków granicznych jest bardzo skomplikowane, toteż dla celów technicznych opracowano rozmaite uproszczone metody rozwiązywania zagadnień, dotyczących niestabilnych przebiegów cieplnych w ośrodkach jednorodnych i izotropowych. Są to np. metoda Schacka i Groebera, metoda Heiligenstaedta, metoda Beukena, metoda Schmidta. Pozwalają one między innymi na rozwiązanie takich zagadnień, jak określanie temperatur wsadu piecowego ogrzewanego w komorze pieca; jest to zagadnienie dotyczące wszelkich procesów obróbki cieplnej dokonywanej w piecach elektrycznych.

Przebieg temperatur rdzenia i powierzchni wsadu rozgrzewanego w piecu można przedstawić wykreślnie w sposób podany na rys. 1.

W wielu wypadkach jest niezbędne obliczenie temperatury dowolnego punktu ciała ogrzewanego w dowolnym momencie ogrzewania. Przy ogrzewaniu na wskroś wynika z tego obliczenia okres potrzebny na przetrzymywanie wsadu w piecu, a więc zużycie energii potrzebne do jednorodnego rozgrzania ciała. W wypadku ogrzewania powierzchniowego wynika z niego głębokość przenikania ciepła we wsadzie.

Innym zastosowaniem wymienionych metod jest zagadnienie rozkładu temperatur w ścianach piecowych w trakcie rozgrzewania i stygnięcia. Znajomość tego rozkładu



temperatur może być konieczna np. przy rozwiązywaniu zagadnień akumulacji ciepła, zagadnień dotyczących ilości materiału budowlanego użytego do budowy ścian pieca itp.

Dla stanów ustalonych funkcja pola (1) wobec

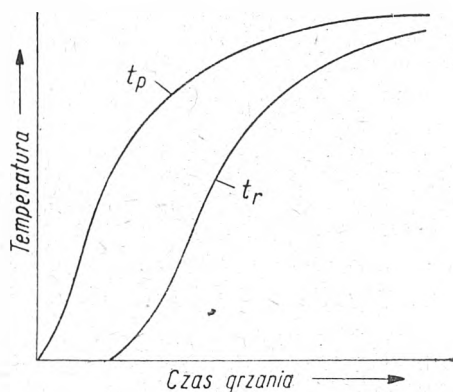
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad (1)$$

upraszcza się. W zagadnieniach technicznych upraszczamy ją zwykle jeszcze bardziej, robiąc często dopuszczalne założenie:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0, \quad (2)$$

czyli zakładając jednokierunkowość przepływu ciepła w polu ustalonym.

Rozwiązanie równania różniczkowego (2) przy założonych warunkach granicznych pozwala obliczyć straty ciepłe w elektrycznych urządzeniach grzejnych, a więc obliczyć moc elektryczną pracy jałowej, wielkość charaktery-



Rys. 1. Rozgrzewanie wsadu w piecu komorowym

$t_p$  — przebieg temperatury na powierzchni wsadu  
 $t_r$  — przebieg temperatury rdzenia wsadu

styczną wszelkich pieców elektrycznych; pozwala również na określenie przebiegu temperatur na drodze przepływu ciepła, co jest niezbędne przy prawidłowym doborze rodzaju materiałów użytych do budowy elektrycznych urządzeń grzejnych, itd.

Chociaż funkcja pola dla stanu ustalonego jest znacznie prostsza niż funkcja pola dla stanu nieustalonego, jednak i w zagadnieniach dotyczących stanu ustalonego napotyka się skomplikowane zjawiska.

Nie trzeba zapominać, że funkcja (1) obowiązuje dla ośrodka izotropowego i jednorodnego, z jakim nigdy prawie nie mamy do czynienia w układach grzejnych technicznych. W rzeczywistych układach grzejnych mamy do czynienia nie tylko z rozplywem ciepła w ośrodku jednorodnym, lecz także z przejmowaniem ciepła z gazów i płynów do ciał stałych i odwrotnie. W procesach tych ciepło prze-

noszone jest więc nie tylko przez przewodzenie, ale także przez konwekcję i promieniowanie.

Prawa promieniowania dla stanów ustalonych są stosunkowo proste i dość dokładne; posługujemy się w tym wypadku najczęściej prawem Stefana-Boltzmann'a:

$$q = C T^4, \quad (3)$$

które pozwala dość dokładnie i w sposób prosty określać ciepło przepromieniowane, chociaż we współczynniku  $C$ , tzw. „stałej promieniowania“ materiałów technicznych, kryje się wiele niestałości i niewyjaśnionych dotąd zagadnień.

Ilość ciepła  $q$  przenoszona przez konwekcję wyraża się według równania Newtona jako

$$q = \alpha \cdot \Delta t, \quad (4)$$

czyli iloczynem współczynnika ( $\alpha$ ) przejmowania ciepła przez spadek temperatury ( $\Delta t$ ) na drodze przepływu ciepła.

Prawo (4), pozornie bardzo proste, jest jednym z praw następczących największe trudności w teorii procesów cieplnych, gdyż  $\alpha$ , to znaczy współczynnik konwekcyjnego przejmowania ciepła, jest funkcją wielu zmiennych, a dla jego określenia trzeba rozwiązać układ trzech równań różniczkowych: przepływu, ciągłości i rozkładu temperatur w ruchomym ośrodku płynnym (gazowym), czego matematyka nie jest w stanie dokonać. Przy pomocy teorii podobieństwa stanów fizycznych udaje się uzależnić  $\alpha$  jedynie od wymiarów liniowych ciała ogrzewanego (lub chłodzonego) i tzw. kryteriów podobieństwa, ale i tak postać funkcji  $\alpha$  określić się daje jedynie na drodze doświadczalnej.

Droga do liczbowego określenia współczynnika  $\alpha$  jest dość żmudna, ale znajomość wielkości  $\alpha$  w poszczególnych przypadkach niezbędna. Wielkość  $\alpha$  decyduje np. o procesach zachodzących w przedmuchowych piecach elektrycznych, o przenikaniu ciepła do wsadu ogrzewanego w piecach na wsad nieruchomy, o stratach ciepła ze ścian pieców do otoczenia itd.

Jeżeli wziąć pod uwagę, że metody elektrotermiczne pozwalają nie tylko na pośrednie, ale także na bezpośrednie ogrzewanie ciał, i że inne prawa wyrażają te dwa rodzaje ogrzewania, można zdać sobie sprawę zarówno ze znaczenia, jak i z zakresu termodynamicznych podstaw elektrotermii. Znaczenie tych podstaw widoczne jest choćby na tle obliczania mocy urządzenia. Moc elektryczną urządzenia grzejnego określa moc cieplna urządzenia, to znaczy ilość jednostek ciepła, które muszą być wytwarzane na jednostkę czasu. Moc cieplna urządzenia grzejnego, ogólnie rzecz biorąc, jest funkcją ciepła użytkownego akumulacyjnego i strat cieplnych powstających przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie, a prawidłowe określenie każdej z wymienionych ilości ciepła możliwe jest tylko przy znajomości praw termodynamiki o przenoszeniu ciepła, stanowiących podstawy elektrotermii.

#### LITERATURA

1. Paschki V. Industrial electric furnaces. New York, 1945.
2. Orszanski D. L. Elektrotiermia. Leningrad — Moskwa, 1933.
3. Maksymienko M. S. Osnovy elektrotiermii. Leningrad, 1947.

### III

## Elektryczne pomiary temperatury

MGR INŻ. FRANCISZEK SONDIJ

Treść: Autor podaje zasady budowy termometrów oporowych, termoelektrycznych i optycznych oraz omawia w krótkości metody pomiaru za pomocą tych przyrządów.

#### 1. Klasyfikacja metod pomiarowych.

Pomiary temperatury na drodze elektrycznej należą do podstawowych pomiarów stosowanych w elektrotermii, przy czym zarówno w pomiarach przemysłowych, jak i laboratoryjnych są stosowane w ogólności trzy metody pomiarowe:

- 1) pomiary przy pomocy termometrów oporowych,
- 2) pomiary przy pomocy termometrów termoelektrycznych,
- 3) pomiary przy pomocy pirometrów optycznych.

#### 2. Zasada termometru oporowego.

W termometrze tego typu jest wyzyskana do pomiaru właściwość przewodników elektrycznych, polegająca na tym, że zmieniają one pod wpływem temperatury swoją oporność. Do budowy termometrów oporowych stosuje się takie przewodniki, dla których zależność ta jest w żądanym zakresie temperatur jednoznaczna, tzn. że dany przewodnik w określonej temperaturze ma określoną oporność elektryczną i, odwrotnie, danej oporności odpowiada tylko jedna temperatura. Mierzac więc oporność takiego prze-

wodnika elektrycznego możemy określić jego temperaturę, jeśli znamy jego charakterystykę temperaturową, tj. zależność oporności elektrycznej od temperatury.

Termometry oporowe są w istocie układami do pomiaru oporności, złożonymi z dwóch podstawowych elementów:

a) z przyrządu do pomiaru oporności, np. przyrządu skazówkowego ze skrzyżowanymi cewkami, mostka Wheatstone'a itp., oraz

b) z przyłączonego do zacisków pomiarowych tego przyrządu specjalnego opornika o ściśle określonej charakterystyce temperaturowej; opornik ten, mający zazwyczaj postać cewki i nazywany często sondą oporową, poddaje się działaniu temperatury mierzonej.

Metale, z których wykonywa się sondy oporowe, powinny możliwie nie ulegać zmianom chemicznym (np. utlenianiu) oraz mieć charakterystykę temperaturową nie zmieniającą się z biegiem czasu. Do takich metali należy przede wszystkim chemicznie czysta platyna i z niej też są wykonywane sondy oporowe przeznaczone do ścisłych termometrów oporowych. Platyna stosowana na sondy oporowe musi być szczególnie czysta. Jeśli oporność przewodnika platynowego w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  wynosi  $R_0$ , a w temperaturze  $100^{\circ}\text{C}$  —  $R_{100}$ , to stosunek  $R_{100}/R_0$  jest miarą czystości platyny. W termometrach oporowych z sondą platynową stosunek ten winien być zawarty w granicach 1,3910—1,3925.

Oporność sond oporowych bywa rozmaita; na ogół wartości tych oporności przy temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  mieszczą się w granicach 10—100 omów.

Zakres temperatur, do którego są stosowane termometry oporowe z sondami platynowymi, sięga  $+700^{\circ}\text{C}$ , a w wykonaniach specjalnych nawet  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Charakterystyka temperaturowa platyny jest bardzo dokładnie zbadana i dla temperatur powyżej  $0^{\circ}\text{C}$  wyraża się równaniem

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2),$$

przy czym  $R_t$  oznacza oporność przewodnika platynowego w temperaturze  $t^{\circ}\text{C}$ , a  $R_0$  jego oporność w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ . Stałe  $R_0$ ,  $A$ ,  $B$  wyznacza się przy pomocy cechowania w lodzie topniejącym ( $0^{\circ}\text{C}$ ), we wrzącej wodzie ( $100^{\circ}\text{C}$ ) i wrzącej siarce ( $444,6^{\circ}\text{C}$ ) przy ciśnieniu 1 atm.

Dokładność pomiaru temperatury mierzonej termometrem oporowym zależy od dokładności, z którą dany przyrząd mierzy oporność sondy oporowej. Np. po-

rowe umożliwiające pomiar zmian temperatury rzędu  $0,0001^{\circ}\text{C}$  i mniejszych; termometry takie noszą nazwę bolometrów.

Inne metale, z których wykonywa się sondy oporowe. Oprócz platyny stosuje się również przewodniki niklowe i miedziane. Nikiel stosuje się do temperatur do  $300^{\circ}\text{C}$ , miedź natomiast do  $150^{\circ}\text{C}$ .

Jako przykład układu pomiarowego termometru oporowego jest przedstawiony na rys. 1a i 1b schemat układu z mostkiem Wheatstone'a.

Na rys. 1a mamy układ pomiarowy z mostkiem Wheatstone'a. W układzie tym opory stosunkowe są zazwyczaj równe, a więc  $r_1 = r_2$ . Z warunku równowagi tego mostka wynika, że

$$r_t + p_1 + p_2 = r_3.$$

Pomiar ten jest, jak widać, obciążony pewnym błędem, ponieważ w układzie takim mierzymy sumę oporności złożoną z oporności sondy  $r_t$  oraz oporności przewodów łączących  $p_1 + p_2$ .

Błędu tego unika się przez zastosowanie tzw. układu skompensowanego, eliminującego wpływ oporności przewodów łączących (oporności  $p_1$  i  $p_2$  są prawie równe, ponieważ stosujemy przewody łączące z jednakowego materiału, o jednakowych przekrojach i jednakowej długości).

Z warunku równowagi układu mostka skompensowanego wynika, że

$$r_t = r_3,$$

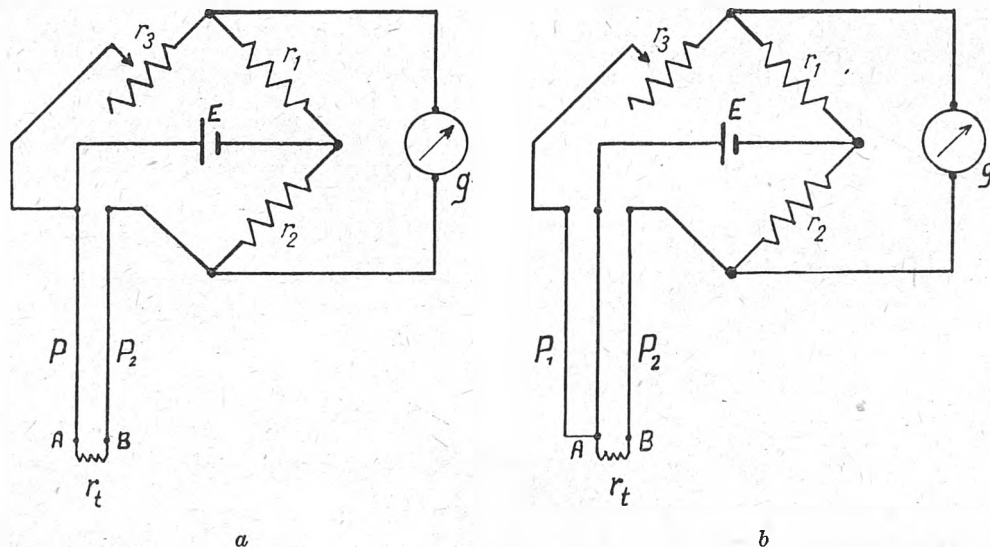
a więc wynik pomiaru jest niezależny od przewodów łączących sondę z mostkiem. W układzie tym zmierzmy rzeczywiście oporność sondy oporowej.

Oporność regulacyjną  $r_3$  w tym układzie pomiarowym można wyskalować wprost w temperaturze.

Stosowane układy pomiarowe z przyrządem ze skrzyżowanymi cewkami mogą być również nieskompensowane i skompensowane. Nieskompensowane układy stosuje się przy krótkich odległościach, a więc gdy występują małe oporności przewodów łączących. Układy skompensowane stosuje się przy dużych odległościach od miejsca, w którym mierzymy temperaturę, do przyrządu mierzącego, a więc gdy oporności przewodów łączących są duże.

### 3. Zasada termometrów termoelektrycznych.

Właściwością, na której opiera się działanie tych termometrów, jest zjawisko termoelektryczności polegające na tym, że w obwodzie otwartym bądź też zamkniętym, zło-



Rys. 1. Pomiar temperatury termometrem oporowym w układzie mostka Wheatstone'a

$r_1, r_2$  oporności stosunkowe mostka  
 $r_3$  oporność regulacyjna  
 $r_t$  oporność mierzona (sonda)  
 $g$  galwanometr

$E$  źródło prądu  
 $p_1, p_2$  przewody łączące sondę oporową z mostkiem  
 $A, B$  zaciski sondy oporowej

miar temperatury termometrem oporowym z sondą oporową platynową z dokładnością do  $0,001^{\circ}\text{C}$  wymaga pomiaru oporności tej sondy z dokładnością rzędu  $10^{-6}\Omega$ . Dokładność taką można uzyskać przy zastosowaniu kompensacyjnej metody pomiaru oporności i odpowiedniego kompensatora. Istnieją szczególnie czułe termometry opo-

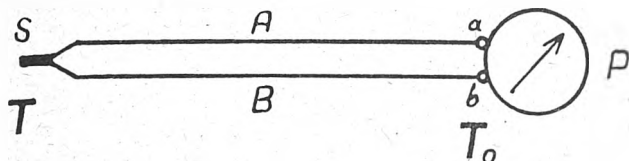
żonym z różnych przewodników, powstanie siła elektromotoryczna, jeśli miejsce złączenia dwóch różnych przewodników będzie miało temperaturę różną od temperatury pozostałych końców tych przewodników. Tę siłę elektromotoryczną nazywamy również siłą termoelektryczną ze względu na okoliczności jej powstawania.

Jeśli temperatura końców złączonych będzie wynosić np.  $T^{\circ}\text{C}$ , a temperatura pozostałych końców (tzw. końców wolnych) wynosi  $T_0^{\circ}\text{C}$ , to wartość powstałej siły termoelektrycznej  $E$  jest jednoznacznie funkcją różnicy temperatur  $T - T_0$ , czyli

$$E = f(T - T_0).$$

Wynika z tego, że każdej temperaturze  $T$  końców złączonych przy ustalonej temperaturze  $T_0$  końców wolnych będzie odpowiadać tylko jedna wartość siły termoelektrycznej  $E$ .

Obwód złożony z dwóch różnych przewodników, w którym jedna para końców przewodników jest złączona, a druga wolna, nazywamy ogniwem termoelektrycznym lub termoelementem. Termometrem termoelektrycznym jest układ pomiarowy składający się z termoelementu i przyrządu do pomiaru siły termoelektrycznej. Schemat takiego układu przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Termometr termoelektryczny

- A, B przewody z różnych metali tworzące termoelement  
 S miejsce złączenia przewodów A, B  
 a, b wolne końce przewodów A, B  
 P przyrząd do mierzenia siły elektromotorycznej (miliwoltomierz)  
 T temperatura mierzona (końców złączonych)  
 $T_0$  temperatura odniesienia (końców wolnych)

Charakterystyka termoelementów. Zależność  $E = f(T - T_0)$  jest różna dla różnych materiałów; zależność tę wyznacza się doświadczalnie przy pomocy cechowania termoelementów (tj. pomiaru  $E$  dla różnych  $T$  przy stałym  $T_0$ ). Przy cechowaniu stosuje się tzw. punkty stałe, tj. takie warunki pomiaru, w których temperatura  $T$  jest dokładnie znana. Do punktów stałych należą:

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1) punkt topnienia lodu     | $0^{\circ}\text{C}$     |
| 2) punkt wrzenia wody       | $100^{\circ}\text{C}$   |
| 3) punkt wrzenia siarki     | $444,6^{\circ}\text{C}$ |
| 4) punkt krzepnięcia srebra | $960,5^{\circ}\text{C}$ |
| 5) punkt krzepnięcia złota  | $1063^{\circ}\text{C}$  |

Pomiary wykonywa się przy ciśnieniu 1 atm. Wolne końce utrzymuje się przy pomocy termostatu zazwyczaj

- |                    |     |            |     |
|--------------------|-----|------------|-----|
| 1) chromel         | (+) | alumel     | (-) |
| 2) żelazo          | (+) | konstantan | (-) |
| 3) miedź           | (+) | konstantan | (-) |
| 4) chromel         | (+) | kopel      | (-) |
| 5) platyna-rod 10% | (+) | platyna    | (-) |

W termoelementach chromel—alumel chromel jest stopem o składzie 90% niklu i 10% chromu, alumel zawiera około 94% niklu, 2% aluminium, 3% manganu i 1% krzemu. Termoelement tego typu stosuje się do temperatur do  $1200^{\circ}\text{C}$ . Jego siła termoelektryczna wynosi około  $0,04\text{ mV}$  na stopień C.

W termoelementach żelazo—konstantan żelazo jest metalem czystym, konstantan jest stopem złożonym z ok. 60% miedzi i ok. 40% niklu. Termoelementy te są stosowane do temperatur do  $700^{\circ}\text{C}$ . Siła termoelektryczna w tym ogniwie wynosi około  $0,055\text{ mV}$  na stopień C.

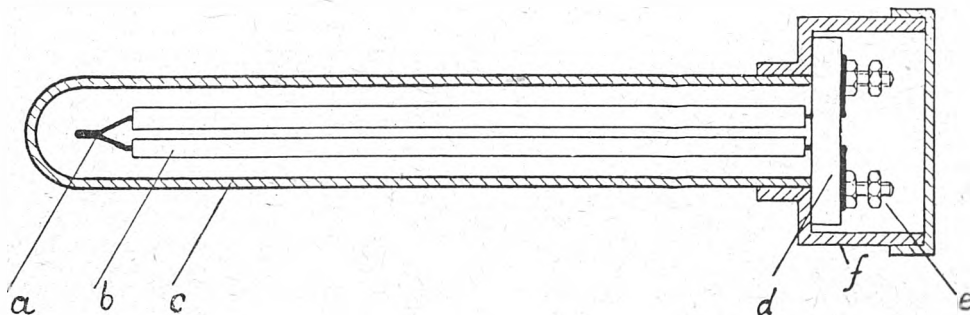
Termoelement miedź—konstantan stosuje się do temperatur do  $500^{\circ}\text{C}$ . Siła termoelektryczna w tym termoelemente wynosi około  $0,045\text{ mV}$  na stopień C.

Termoelement chromel—kopel. Chromel X jest stopem zawierającym około 64% niklu, 25% żelaza, 11% chromu; kopel zawiera 45% niklu i 55% miedzi. Termoelement ten stosuje się dla temperatur do  $500^{\circ}\text{C}$ . Siła termoelektryczna tego termoelementu wynosi około  $0,08\text{ mV}$  na stopień C.

Termoelement platyna—platyna-rod 10%. W termoelemente tym jeden metal jest czystą platyną, drugi stopem złożonym z 90% platyny i 10% rodu (stosuje się również stopy zawierające 20% rodu). Termoelement ten jest używany przy pomiarach temperatur do  $1700^{\circ}\text{C}$ . Siła termoelektryczna przypadająca na  $1^{\circ}\text{C}$  tego termoelementu zmienia się w granicach od  $0,00643$  do  $0,0116\text{ mV}$  na stopień C.

Przyrządy mierzące siłę termoelektryczną. Przyrządem stosowanym do mierzenia siły termoelektrycznej jest zazwyczaj miliwoltomierz; przy pomiarach dokładniejszych stosuje się potencjometr. Miliwoltomierz wskazuje wartość siły termoelektrycznej pomniejszonej o spadek napięcia na skutek prądu płynącego w obwodzie pomiarowym. Stosowanie miliwoltomierzy o oporności wewnętrznej około sto razy większej od oporności przyłączonego termoelementu daje wystarczającą dokładność przy technicznych pomiarach temperatury.

Obudowa termometrów termoelektrycznych. Termometry termoelektryczne przeznaczone do celów przemysłowych są wykonywane w obudowie ochronnej; zasadę takiej obudowy podaje rys. 3. Jak widać z niego, obudowa termoelementu składa się w zasadzie z następujących części:



Rys. 3. Zasada obudowy termometru termoelektrycznego

- a termoelement  
 b izolacja termoelementu  
 c osłona zewnętrzna  
 d izolacyjny pierścień do zacisków  
 e zaciski termoelementu  
 f głowica

w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ . Uzyskane wartości  $E$  w zależności od  $T - T_0$  przedstawia się wykreślnie, przy czym pośrednie punkty tego wykresu uzyskuje się przez interpolację przy pomocy równania typu

$$E = a + bT + cT^2,$$

gdzie  $E$  oznacza siłę termoelektryczną,

$T$  — temperaturę końców złączonych,

$a, b, c$  — stałe, które wyznaczamy ze znanych wartości  $T$  i  $E$ , uzyskanych przy cechowaniu.

Podstawowe termoelementy i zakresy pomiarowe. Do podstawowych termoelementów zalicza się następujące zespoły:

1) izolacja przewodów stanowiących termoelement; wykonywa się ją zazwyczaj z koralików lub rurek ceramicznych;

2) osłona zewnętrzna dobrana przede wszystkim w zależności od zakresu termometru; jako materiały na osłonę zewnętrzną stosowane są rury stalowe bez szwu do temperatur poniżej  $700^{\circ}\text{C}$ , rury ze specjalnych gatunków porcelany do  $1800^{\circ}\text{C}$ ;

3) pierścień izolacyjny, na którym umocowane są zaciski termoelementu; wykonywa się go z materiałów ceramicznych;



4) głowica osłaniająca zaciski termoelementu; wykonywa się ją z metalu.

Temperatura wolnych końców. Skalowanie termometru termoelektrycznego wykonywa się przy ustalonej temperaturze  $T_0$  wolnych końców (wynosi ona zazwyczaj  $20^\circ\text{C}$ ). Przy pomiarach temperatury należy zatem zwracać uwagę, by temperatura wolnych końców była ta, przy której termometr termoelektryczny został wycechowany. Celem uzyskania odpowiedniej temperatury dla wolnych końców stosuje się termostaty. Jeśli temperatura wolnych końców jest różna od  $T_0$ , przy której przyrząd był skalowany, i wynosi np.  $T'_0$ , wtedy wskazania przyrządu są różne od tych, które byłyby przy prawidłowych warunkach pomiaru, mamy bowiem

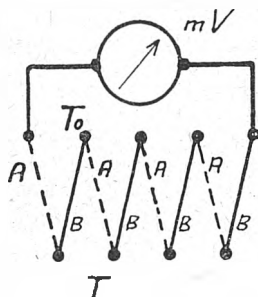
$$E = f(T - T'_0) \neq f(T - T_0).$$

W przypadku takim stosuje się odpowiednie poprawki wynikające z charakterystyki danego termoelementu.

Przewody kompensacyjne. W układzie pomiarowym, w którym miejsce pomiaru temperatury jest odległe od miejsca, gdzie znajduje się przyrząd, połączenia między przyrządem a termoelementem winny być wykonane w zasadzie z takich samych materiałów, z jakich jest zbudowany termoelement. Przewody te powinny mieć jednak możliwie małą oporność, są dlatego też wykonywane w postaci linek o dość znacznym przekroju.

Jeżeli jednak termoelement jest wykonany z metali szlachetnych, np. z platyny i platyny-rodu, wtedy ze względu na koszt stosujemy specjalne przewody, tzw. przewody kompensacyjne, które są wykonane z miedzi i stopu miedzi z niklem, przy czym miedź łączy się z przewodem platynarod, a przewodem miedź-nikiel z przewodem platynowym; charakterystyka tych przewodów jest tak dobrana, że nie powodują one powstawania dodatkowych sił termoelektrycznych w miejscach ich połączenia z termoelementem.

Stosy termoelektryczne. Do pomiarów bardzo małych różnic temperatur są stosowane stosy termoelektryczne; schemat stosu termoelektrycznego jest przedstawiony na rys. 4. W tym układzie pomiarowym siły termo-



Rys. 4. Zasada stosu termoelektrycznego

- A, B metale termoelementu  
T temperatura mierzona  
 $T_0$  temperatura wolnych końców  
mV miliwoльтomierz

elektryczne powstałe w poszczególnych termoelementach dodają się, co powoduje, że małym różnicom temperatur  $T - T_0$  mogą odpowiadać dość znaczne siły termoelektryczne.

Jako przykład można podać, że stos termoelektryczny utworzony z 1000 par ogniw termoelektrycznych z żelaza i konstantanu umożliwił wykrycie różnicy temperatur rzędu  $2 \cdot 10^{-7}^\circ\text{C}$ .

Takie układy mają podstawowe znaczenie w pomiarach laboratoryjnych np. promieniowania.

#### 4. Pirometry optyczne.

Zasada działania tych przyrządów opiera się na zależności, która istnieje między temperaturą danego ciała i energią wypromieniowaną przez to ciało.

W ogólności rozróżnia się dwa rodzaje pirometrów:

- 1) pirometry monochromatyczne, pracujące przy określonej długości fali świetlnej;
- 2) pirometry całkowitego promieniowania, wykorzystujące przy pomiarach pełny zakres promieniowania.

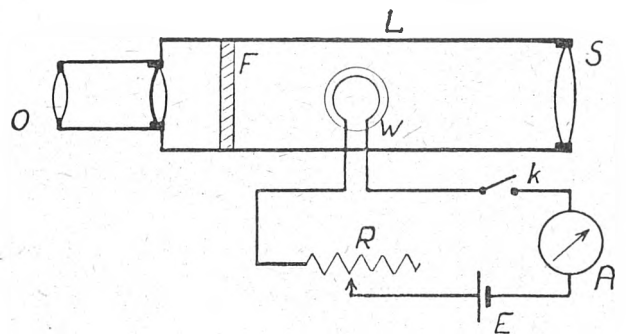
Najczęściej spotyka się pirometry monochromatyczne i dlatego też ten typ pirometru będzie pokrótce omówiony.

Zasada pirometru optycznego monochromatycznego. Przyrządy te opierają się na właściwości ciał promieniujących, według której temperatura ciała promieniującego i natężenie promieniowania tego ciała przy określonej długości fali są zależne od siebie w sposób jednoznaczny.

Przy pomocy tych przyrządów porównujemy w zasadzie natężenie promieniowania (o określonej długości fali) ciała, którego temperaturę mierzymy, z natężeniem promieniowania (o takiej samej długości fali) określonego drucika, żarzonego np. przy pomocy prądu elektrycznego, przy czym temperatura żarzonego drucika jest wyskalowana w zależności od natężenia prądu płynącego przez ten drucik.

Porównywać te dwa promieniowania można w zasadzie wtedy, kiedy zarówno ciało badane, jak i żarzący się drucik mają jednakową zdolność promieniowania, np. jeśli oba promieniowania odbywają się w warunkach ciała czarnego. Taki przypadek w przybliżeniu mamy przy pomiarze temperatur wnętrza pieców np. w piecach hutniczych; w innych przypadkach należy stosować odpowiednie poprawki.

Zasada konstrukcji pirometru optycznego monochromatycznego. Istnieją różne kon-



Rys. 5. Przykład budowy pirometru optycznego

- L luneta  
S soczewka  
O okular  
F filtr  
W drucik żarzony  
R opornik regulacyjny  
A amperomierz  
k wyłącznik  
E źródło prądu

strukcje pirometrów optycznych; na rys. 5 jest podany schemat jednej z konstrukcji. Przyrząd ten składa się z lunety L, w której jest umieszczona żarówka zawierająca drucik W; poza tym luneta zawiera soczewkę S, okular O i filtr czerwony F umieszczony między okularem O i drucikiem W. Żarówka zasilana jest ze źródła E, natężenie prądu płynącego przez drucik W regulujemy opornikiem R; prąd ten mierzymy amperomierzem A.

Przy pomiarze kierujemy soczewkę S na ciało, którego temperaturę mierzymy, a przez okular O obserwujemy drucik W żarówki i obraz ciała badanego. Jeśli nastawimy tak natężenie prądu płynącego przez drucik, że obraz jego zaniknie na tle obrazu ciała badanego, wtedy natężenie promieniowania wysyłane przez badane ciało oraz natężenie promieniowania drucika są równe, a więc wychodząc z założenia, że oba ciała mają jednakową zdolność promieniowania, wnioskujemy, że temperatura ciała badanego jest równa temperaturze drucika, którą odczytujemy na skali amperomierza.

Skalowanie pirometru i zakres pomiarowy. Pirometr ten skalujemy przez pomiar natężenia prądu płynącego przez drucik W, znajdujący się w stanie równowagi (pod względem promieniowania) z promieniowaniem ciał użytych do skalowania, których temperaturę znamy. Zakres pomiarowy pirometru sięga  $700^\circ$  do  $3500^\circ\text{C}$ .

#### 5. Zakończenie.

Omówione wyżej przyrządy do pomiaru temperatury na drodze elektrycznej umożliwiają pomiary temperatury w zakresie do  $3500^\circ\text{C}$ , a więc praktycznie wszystkie temperatury spotykane w technice.

#### LITERATURA

1. Преображенский В. П. Тёплотехническое измерение и приборы. Москва — Ленинград, 1946.
2. Ribaud G. Mesure des températures. Paris, 1948.

## IV

## Oporowe i elektrodowe urządzenia grzejne

MGR. INŻ. ZBIGNIEW LIŻEWSKI

Treść. Zestawienie podstawowych wiadomości o oporowych urządzeniach grzejnych, w szczególności o zasadach ich działania, materiałach oporowych i elementach grzejnych. Typowe urządzenia grzejne z uwzględnieniem pieców oporowych oraz urządzeń oporowych do nagrzewania cieczy i ogrzewania wnętrza. Zasada działania elektrodowych urządzeń grzejnych oraz rodzaje tych urządzeń.

## I. Wstęp

Nagrzewanie oporowe i elektrodowe opiera się na uzyskaniu zjawiska Joule'a przy przepływie prądu elektrycznego przez przewodnik.

Zamiana energii elektrycznej w ciepłą może odbywać się bądź w samym materiale poddanym obróbce cieplnej, bądź też w specjalnym przewodniku, który oddaje ciepło do ciała nagrzewanego na drodze promieniowania, uniesienia i przewodzenia. W wypadku pierwszym mamy do czynienia z nagrzewaniem bezpośrednim, w wypadku drugim — z nagrzewaniem pośrednim.

Oporowe urządzenia grzejne znalazły bardzo szerokie zastosowanie zarówno w przemyśle, jak i w gospodarstwie domowym.

Urządzenia elektrodowe stosuje się wyłącznie w przemyśle, głównie w metalurgii i w przemyśle elektrochemicznym.

## II. Nagrzewanie oporowe pośrednie

## 1. Elementy grzejne.

Zasadniczą częścią urządzenia oporowego o działaniu pośrednim, w której następuje zamiana energii elektrycznej w ciepłą, jest element grzejny. Składa się on z przewodu grzejnego i wspornika, służącego do umocowania przewodu grzejnego. Przewody grzejne są wyrabiane z materiałów metalowych i niemetalowych.

Spśród materiałów oporowych metalowych, stosowanych na elementy grzejne, można wyodrębnić trzy podstawowe grupy.

a) Chromonikieliny tj. stopy niklu i chromu (Ni-Cr); mają one przeciętny skład ok. 80% niklu i 20% chromu i dopuszczają największą temperaturę pracy przewodu grzejnego ok. 1000—1150°C.

b) Chromonikieliny z żelazem tj. stopy niklu, chromu i żelaza (Ni-Cr-Fe) o przeciętnym składzie ok. 65% niklu, 20% chromu, 15% żelaza. Pozwalają one pracować przy temperaturze przewodu grzejnego do 900—950°C.

c) Kantale tj. stopy żelazo-chromowo-aluminiowe (Fe-Cr-Al), które zawierają zwykle 60—80% Fe, 15—30% Cr, ok. 3—5% Al, na ogół z dodatkiem kobaltu, krzemu, molibdenu i in. Temperatura dopuszczalna pracy tych stopów wynosi do 1350°C. Z uwagi więc na wysoką dopuszczalną temperaturę pracy przewodu grzejnego, jak również ze względu na dużą jego oporność właściwą (do 1,45  $\Omega$  mm<sup>2</sup>/m) i mały ciężar właściwy, a co za tym idzie stosunkowo małą ilość materiału oporowego zużywanego na element grzejny, stopy te stanowią najważniejszą grupę materiałów oporowych metalowych.

Przewody grzejne metalowe wyrabia się w postaci drutów i taśm.

Do procesów obróbki cieplnej, wymagających temperatur wyższych niż 1100—1300°C, stosowane są materiały oporowe niemetalowe, o podstawie węglowej, np. „silit“ (globar), grafit, węgiel oraz kryptol.

„Silit“ (globar) jest węglikiem krzemu. Odnacza się dużą opornością właściwą, rzędu tysięcy  $\Omega$  mm<sup>2</sup>/m, dużą odpornością na wpływy chemiczne i odpornością na wysoką temperaturę (do 1600°C).

Kryptol pozwala osiągnąć temperaturę do 2000°C. Otrzymuje się go bądź ze starych elektrod węglowych i grafitowych rozkruszonych i z kolei przesianych, bądź z odpowiednio przygotowanego koksu. Ze względu na niezbyt dużą trwałość tego materiału znajduje on zastosowanie głównie do celów laboratoryjnych.

Elementy grzejne z węgla i grafitu pozwalają osiągnąć temperaturę do ok. 3000°C. Nadają się więc one do topienia nawet trudno topliwych metali i stopów.

Elementy oporowe niemetalowe bywają zwykle wyrabiane w formie prętów, rur, lasek, płytek, tygli itp.

Do umocowania przewodów grzejnych, zarówno metalowych jak i niemetalowych, służą wsporniki, wykonane

z materiałów ceramicznych lub mineralnych, izolujących w zasadzie pod względem zarówno elektrycznym, jak i cieplnym. Wyjątek stanowią masy izolacyjne, których zadaniem jest przewodzenie ciepła od wprasowanego w nie przewodu grzejnego do ciała ogrzewanego; masy takie powinny izolować tylko pod względem elektrycznym.

Z materiałów ceramicznych najczęściej są stosowane szamoty i masy magnezowe. Szamoty otrzymuje się przez wypalanie trudno topliwej gliny; pozwalają one pracować przy temperaturze 1300—1400°C. Masy magnezowe są wyrabiane z tlenku magnezu z dodatkiem gliny lub kaolinu jako spoiwa; dopuszczają temperaturę roboczą do 1500°C.

Do jeszcze wyższych temperatur pracy przewodów grzejnych stosuje się szereg innych materiałów izolacyjnych, np. chromit, magnezję, karborund itp.

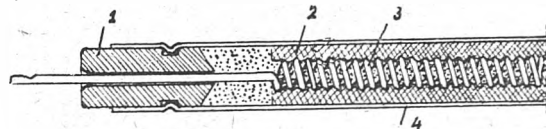
Z materiałów izolacyjnych mineralnych najczęściej używane są mika i azbest. Mika jest glinokrzemianem z dodatkiem tlenku magnezu lub potasu; w stanie naturalnym występuje w postaci płatków. Dopuszczalna temperatura jej pracy wynosi do 700°C. Płytki miki, sprasowane wraz z szlakiem jako lepiszczem, są znane pod nazwą mikanitu.

Azbest jest minerałem o strukturze krystaliczno-włóknistej. Zastosowanie w grzejnictwie znajduje jako izolator cieplny, a nie jako izolator elektryczny, ponieważ łatwo pochłania wilgoć. Temperatura jego nie powinna przekraczać 300—400°C.

## 2. Rodzaje elementów grzejnych.

Elementy grzejne metalowe można podzielić na otwarte i kryte.

Najdawniejszą formą elementów grzejnych są elementy otwarte w postaci spirali swobodnie zawieszonych na wspornikach ceramicznych. Inny sposób rozwiązania konstrukcyjnego elementów otwartych polega na nawinięciu przewodu grzejnego na kształtki ceramiczne lub ułożeniu go w otwartych rowkach kształtek ceramicznych. Umożliwia to większe skoncentrowanie uzwojenia i użytkowanie elementów o mniejszych wymiarach. Rozwiązanie takie spotykamy np. w piecach przemysłowych, wnętrzo-owych, laboratoryjnych itd. Z zalet elementów otwartych należy wymienić: dobre oddawanie ciepła na drodze konwekcji i promieniowania, prostotę budowy i łatwość wymiany uszkodzonego przewodu grzejnego. Elementów tych



Rys. 1. Element rurkowy

- 1 materiał izolacyjny
- 2 warstwa tlenku magnezu
- 3 spirala grzejna
- 4 płaszcz metalowy

nie można jednak stosować tam, gdzie zachodzi obawa ich mechanicznego uszkodzenia, albo gdzie wydzielają się przy procesie cieplnym gazy lub pary chemicznie oddziaływujące na materiał przewodu grzejnego.

Kryte elementy grzejne można podzielić na kilka rodzajów:

a) elementy płaskie — z przewodem grzejnym nawiniętym na mikę lub mikanit; nadają się one do ogrzewania płaszczyzn i używane są w naczyniach podgrzewających wodę, w żelazkach itp.;

b) elementy w perełkach — z przewodem grzejnym ułożonym wewnątrz kształtek ceramicznych w postaci perełek, tulejek itp.; używane są w piekarnikach, kuchniach krytych, żelazkach;

c) elementy wprasowane — z przewodem grzejnym otoczonym masą ceramiczną przez wprasowanie, używane głównie w płytkach (kuchenkach) elektrycznych;

d) elementy rurkowe o przewodach grzejnych izolowanych tlenkiem magnezu i umieszczonych w płaszczu z rurki metalowej; są używane najczęściej w grzejnikach do ogrzewania cieczy (np. w grzałkach rurkowych).

### 3. Grzejniki oporowe o działaniu pośrednim.

Każde oporowe urządzenie grzejne składa się z grzejnika oporowego i jego wyposażenia. Wyposażenie może obejmować transformator zasilający, tablicę rozdzielczą, aparaturę pomiarową, regulacyjną itp.

Klasyfikacja oporowych urządzeń grzejnych jest bardzo utrudniona ze względu na mnogość istotnych okoliczności, które należałoby brać pod uwagę przy przeprowadzaniu podziału i ustalaniu odpowiednich nazw. Podstawą rozróżnienia może być np. rodzaj budowy, kształt, zakres temperatur roboczych, zastosowanie, rodzaj ruchu ciał nagrzewanych czyli wsadu, rodzaj atmosfery, w której nagrzewanie się odbywa, itp.

Pod względem budowy można podzielić grzejniki oporowe na następujące grupy:

a) grzejniki komorowe, których istotną cechą jest to, że nagrzewanie wsadu odbywa się w komorze czyli przestrzeni oddzielonej od otoczenia ścianami, stanowiącymi izolację cieplną;

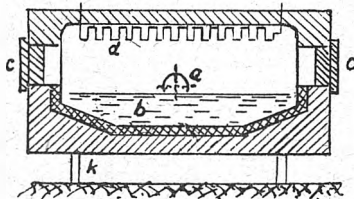
b) ogrzewacze czyli grzejniki, z których ciepło rozchodzi się swobodnie do otoczenia; do tej grupy należą np. grzejniki do ogrzewania wnętrza;

c) przyrządy grzejne czyli grzejniki służące do wykonywania określonych czynności, wymagających odpowiedniej temperatury, np. lutownice, żelazka itd.

W powyższym podziale grzejniki komorowe odgrywają najważniejszą rolę pod względem rozległości ich zastosowania przemysłowego. Można je z kolei podzielić na:

a) piece czyli grzejniki komorowe do obróbki cieplnej, obejmującej zmianę stanu skupienia wsadu (np. topienie), bądź zmianę struktury (np. hartowanie), bądź też reakcje chemiczne (procesy technologiczne, spalanie itp.);

b) suszarki czyli grzejniki komorowe do obróbki cieplnej, polegającej na usuwaniu wilgoci z ciała nagrzewanego;

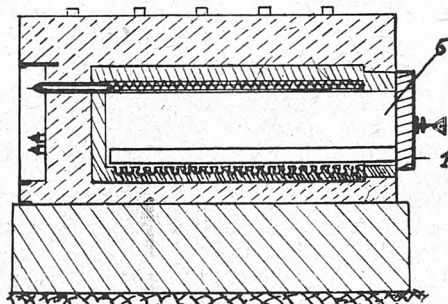
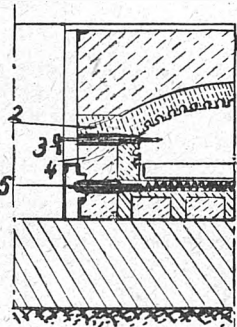


Rys. 2. Piec wannowy

a kanał spustowy c drzwi pieca  
b wsad d element grzejny  
k urządzenie wywrotowe

nego; suszarki są zazwyczaj zaopatrzone w urządzenia przewietrzające, które usuwają pary powstałe w procesie suszenia;

c) cieplarki czyli grzejniki komorowe, których zadaniem jest wytworzenie temperatury wpływającej na procesy biologiczne (np. wylegarki, kiełkownice, sterylizatory).



Rys. 4. Piec komorowy

1 drzwi  
2 obmurowanie ogniotrwale  
3 termoelement  
4 izolacja cieplna  
5 element grzejny  
6 komora

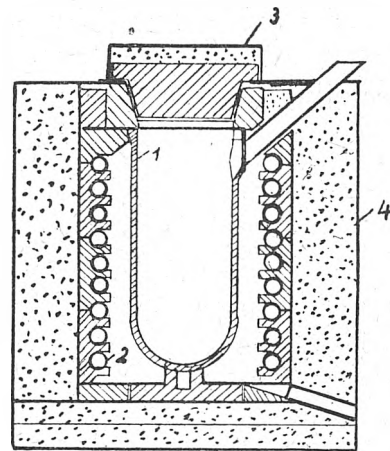
Spośród wymienionych grup oporowych urządzeń grzejnych należy wyodrębnić piece oporowe jako urządzenia o doniosłym znaczeniu w przemyśle, zwłaszcza metalurgicznym. Wynika ono zarówno z rozległego zakresu temperatur osiągniętych w piecach, jak i z różnorodności rodzajów obróbki cieplnej, które można w nich przeprowa-

dziać. Pieców oporowych istnieje wiele typów, których nazwy są najczęściej związane z ich szczególnym kształtem lub sposobem pracy. Omówimy pokrótce ważniejsze z nich.

Piec wannowy z elementami grzejnymi u stropu komory służy do topienia większych ilości aluminium, cyny, cynku, ołowiu, stopów magnezowych, stopów żelazkowych itp. Posiada on dużą powierzchnię kąpieli, ogrzewaną przez promieniowanie.

Piec tyglowy nadaje się do topienia mniejszych ilości metali. Zależnie od rodzaju topionego metalu i stosowanego zakresu temperatur tygla wykonywa się z grafitu, żeliwa, ze stali i materiałów ceramicznych. Przy niższych temperaturach tygla są na zewnątrz otoczone elementami grzejnymi, przy wyższych temperaturach same tygla stanowią elementy grzejne. W piecu tego rodzaju można stapiać metale lekkie, kolorowe oraz stałe stopowe.

Piec mufłowy ma komorę w postaci mufl, w którą wbudowane są elementy grzejne. Muflę są dostosowane



Rys. 3. Piec tyglowy

1 tygiel 3 pokrywa  
2 element grzejny 4 obmurowanie pieca

do wymiarów wsadów i wykonywane o przekroju prostokątnym, kwadratowym, okrągłym itd.

Piec komorowy jest podobny do pieca mufłowego, jednak elementy grzejne nie są wbudowane w samą ścianę komory, wewnątrz lub zewnątrz komory.

Przy wydłużonej komorze pieca stosuje się przewietrzniki do obiegu wewnętrznego powietrza, tzw. przedmuch, w celu uzyskania równomiernego nagrzewania wsadu.

Piec tunelowy jest to piec o bardzo wydłużonej komorze, dochodzącej do kilkudziesięciu metrów długości. Na końcach tej komory umieszczone są drzwi. Ogrzewany wsad przesuwany jest wzdłuż komory za pomocą wózków, taśm, łańcuchów lub innych urządzeń transportowych. Piec taki używany jest przy produkcji ciągłej.

Piec obrotowy jest to piec o pierścieniowym kształcie komory, której spód obraca się dookoła osi pionowej. Wsad umieszczony na spodzie komory przebywa w ciągu okresu nagrzewania całą długość komory wraz ze spodem

ruchomym. Piec obrotowy zajmuje małą przestrzeń w porównaniu z piecem tunelowym i odznacza się małymi stratami cieplnymi.

Piec przelotowy służy do ciągłej obróbki cieplnej taśm i drutów. Wsad przeciągany jest przez komorę za pomocą odpowiednich urządzeń mechanicznych.



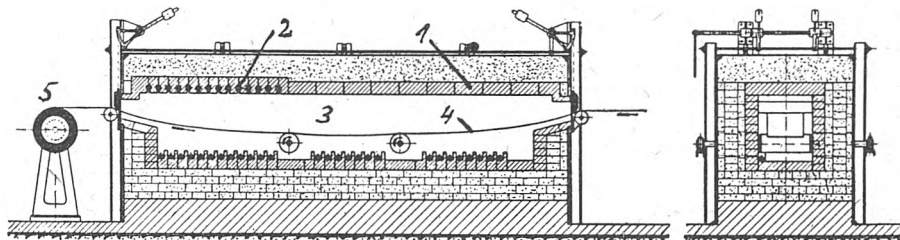
Piec szybowy służy przeważnie do wyżarzania drutów i taśm zwiniętych w kręgi oraz rozmaitych drobnych wyrobów. Budowany jest jako piec pionowy ze zdejmowaną górną pokrywą. Przeważnie zagłębiony jest w ziemi ze względu na wygodę obsługi. Wsad umieszcza się bezpo-

Zbiorniki grzejników akumulacyjnych zabezpieczone są od strat ciepłych do otoczenia przez staranną izolację cieplną.

Wanniki w zależności od konstrukcji dzielą się na (1) przelewowe, (2) ciśnieniowe, (3) opróżnieniowe.

Rys. 5. Piec przelotowy

- 1 obmurowanie ogniotrwałe
- 2 element grzejny
- 3 komora grzejna
- 4 wsad
- 5 urządzenie transportowe



średnio w komorze; stosuje się przewietrznik obiegowy powietrza dla szybszego nagrzewania materiału.

Gdy chodzi o zabezpieczenie wsadu przed utlenieniem, wówczas stosuje się w piecach atmosferę ochronną. Jako gazy ochronne używane są azot, gaz świetlny, amoniak, propan, gaz generatorowy i in.

Powyższy podział oporowych urządzeń grzejnych nie jest dostatecznie ścisły, istnieją bowiem grzejniki, które trudno zaliczyć w sposób niewątpliwy do jednej z omówionych

Pobieranie wody z wannika przelewowego odbywa się przez otwarcie dopływu zimnej wody. Wówczas gorąca woda przelewa się do rury przelewowej i może być pobierana u jej wylotu.

W wannikach ciśnieniowych pobieranie wody odbywa się nie przez przelewanie, lecz pod ciśnieniem wodociągowym.

Wanniki opróżnieniowe są to wanniki przystosowane do ulgowych taryf nocnych. Mają one nieco odmienny układ rur, pozwalający napełniać wannik wodą do grzania w nocy i pobierać gorącą wodę w dzień.

Wszystkie typy wanników mają tzw. baterię mieszającą czyli układ zaworów, umożliwiający dobranie żądanej temperatury pobieranej wody przez mieszanie wody gorącej z zimną.

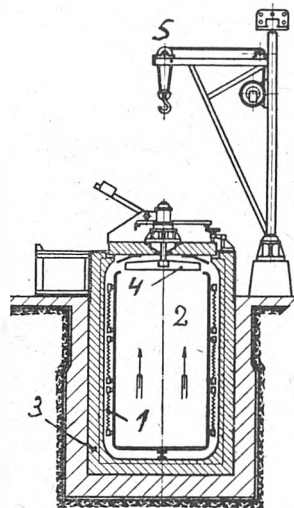
Sprawność wanników dochodzi do 90%.

#### 5. Ogrzewanie wnętrza.

Elektryczne ogrzewanie wnętrza może się odbywać za pomocą grzejników przenośnych, pieców akumulacyjnych lub instalacji grzejnych.

Grzejniki wewnętrzne przenośne (zwane też „piecykami”, co jest niesłuszne, gdyż nie są to grzejniki komorowe) można podzielić na grzejniki przewiewowe i grzejniki odbłyiskowe.

Grzejniki przewiewowe pracują przy niskiej temperaturze przewodu grzejnego, nie przekraczającej zwykle 80°C,



Rys. 6. Piec szybowy

- 1 element grzejny
- 2 komora pieca
- 3 obmurowanie pieca
- 4 przewietrznik
- 5 urządzenie transportowe

grup. Tak np. wanniki są w zasadzie grzejnikami komorowymi, jednakże z uwagi na ich przeznaczenie można byłoby je również uważać za przyrządy grzejne. Podobnie grzałki rurkowe należałoby uważać za przyrządy grzejne, chociaż w zasadzie są one raczej ogrzewaczami.

Ze względu na ściśle określony zakres zastosowań grzejników tego rodzaju można je wyodrębnić z omówionej klasyfikacji, rozróżniając: a) grzejniki do nagrzewania cieczy, b) grzejniki do ogrzewania wnętrza.

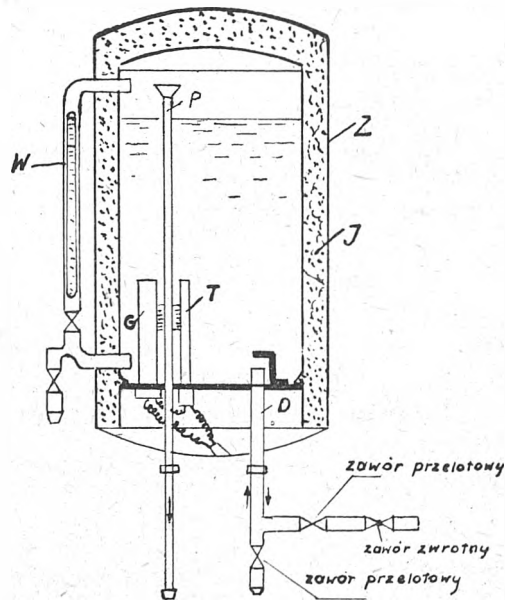
#### 4. Nagrzewanie cieczy.

Do nagrzewania cieczy, głównie wody, służą: zbiorniki z elektrycznymi grzejnikami nurkowymi, kotły akumulacyjne, wanniki.

Zbiorniki z elektrycznymi grzejnikami nurkowymi nadają się do nagrzewania płynów w dużych ilościach, na skalę przemysłową. Zbiorniki te budowane są na niskie napięcie o mocy do 500 kW. Dla większych mocy koszt urządzenia wypada zbyt wielki i lepiej opłaca się stosować kotły elektrodowe.

Do szybkiego nagrzewania niewielkich ilości wody nadają się przenośne grzałki nurkowe, budowane o mocy od 100 do 2500 W. Sprawność ich dochodzi do 98% przy całkowitym zanurzeniu części grzejnej do naczynia.

Ekonomiczne nagrzewanie i akumulowanie większych ilości gorącej wody do celów przemysłowych i domowych umożliwiają kotły akumulacyjne i wanniki elektryczne. Pojemność wanników wynosi od kilku do kilkuset litrów, a kotłów akumulacyjnych do kilkudziesięciu tysięcy litrów.



Rys. 7. Wannik przelewowy

- |                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| Z — zbiornik        | G — element grzejny       |
| W — wodowskaz       | T — regulator temperatury |
| D — rura dopływowa  | I — izolacja              |
| P — rura przelewowa |                           |

aby uniknąć spalania kurzu osiadającego na przewodzie. Ciepło rozchodzi się głównie przez unoszenie, naturalne lub wymuszone za pomocą przewietrzników. Ogrzewanie wnętrza tymi grzejnikami jest dosyć równomierne dzięki ciągłemu mieszaniu się nagrzewanego powietrza.

Grzejniki odbłyiskowe pracują przy znacznie wyższej temperaturze, dochodzącej do 900°C, toteż ciepło rozcodzi się głównie przez promieniowanie. Do kierowania promieniowania w pożądanym kierunku służą odblaszniaki (reflektory). Grzejniki odbłyiskowe, w odróżnieniu od przewiewowych, służą do ogrzewania umiejscowionego.

**Piece akumulacyjne.** Piece te mają element grzejny umieszczony w obudowie z materiału o dużych własnościach akumulowania ciepła (np. w piasku, w wodzie, żelbecie, żeliwie itp.). Ekonomia tych pieców polega na wyzyskaniu taniej taryfy nocnej energii elektrycznej. W dzień piec jest odłączony od sieci zasilającej i oddaje ciepło zakumulowane otoczeniu. Ten typ pieców jest u nas rzadziej spotykany, niż poprzednie.

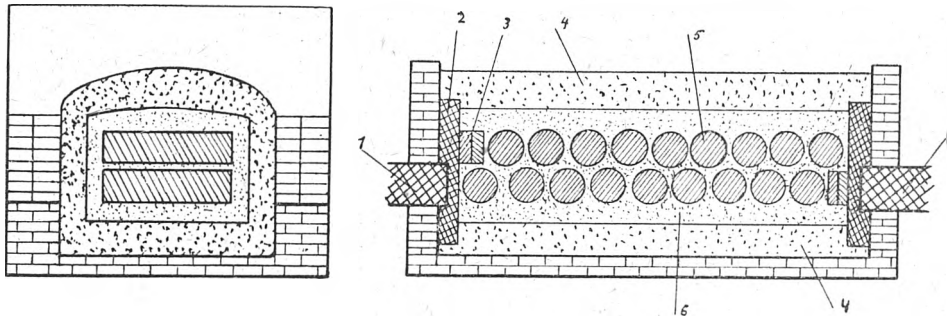
Instalacje grzejne są to przewody grzejne (np. specjalne kable grzejne) umieszczone w ścianach, pod podłogą lub w suficie pomieszczenia, w sposób zapewniający możliwie równomierny rozkład temperatury. Ciepło prze-

chodzi z przewodów grzejnych poprzez ściany na drodze przewodzenia cieplnego.

Wielkość przepuszczanego prądu sięga od 50 do 500 A przy napięciu od 2 do 10 V zależnie od średnicy i długości włączonego w obwód odcinka rury.

Regulacja mocy w piecach oporowych może odbywać się na drodze zmiany napięcia zasilającego, np. w transformatorze zasilającym, lub przez zastosowanie przełącznika trójkąta — gwiazda.

Ponad to w urządzeniach oporowych o nagrzewaniu pośrednim regulacja mocy urządzenia może odbywać się przez włączanie lub wyłączenie określonej liczby elementów grzejnych, przy czym obciążenie jednostkowe pracujących elementów pozostaje stałe.



Rys. 8. Piec do produkcji grafitu

1 — elektrody grafitowe, 2 — płyta grafitowa człowa, 3 — płyty grafitowe wypełniające, 4 — warstwa koksu węglowego z poprzedniego procesu grafityzacyjnego, 5 — elektrody węglowe do grafityzacji, 6 — świeży koksik

chodzi z przewodów grzejnych poprzez ściany na drodze przewodzenia cieplnego.

### III. Nagrzewanie oporowe bezpośrednie

W urządzeniach grzejnych oporowych o działaniu bezpośrednim ciepło jest wydzielane nie w elemencie grzejnym, a bezpośrednio w materiale poddanym nagrzewaniu. Ciało to stanowi część obwodu elektrycznego, przez który przepływa prąd.

Do urządzeń grzejnych oporowych o działaniu bezpośrednim należą: piece do produkcji karborundu i wyrobów grafitowych, zgrzewarki punktowe i stykowe, urządzenia do odmrażania rur, urządzenia do nagrzewania nitów, czopów itd.

Piece do karborundu ładuje się przez usypanie rdzenia z ziarnistego koksu, otoczonego mieszaniną krzemionki,

mocą specjalnych uchwytów. Wielkość przepuszczanego prądu sięga od 50 do 500 A przy napięciu od 2 do 10 V zależnie od średnicy i długości włączonego w obwód odcinka rury.

### IV. Regulacja mocy urządzeń oporowych

Regulacja mocy w piecach oporowych może odbywać się na drodze zmiany napięcia zasilającego, np. w transformatorze zasilającym, lub przez zastosowanie przełącznika trójkąta — gwiazda.

Ponad to w urządzeniach oporowych o nagrzewaniu pośrednim regulacja mocy urządzenia może odbywać się przez włączanie lub wyłączenie określonej liczby elementów grzejnych, przy czym obciążenie jednostkowe pracujących elementów pozostaje stałe.

### V. Elektrodowe urządzenia grzejne

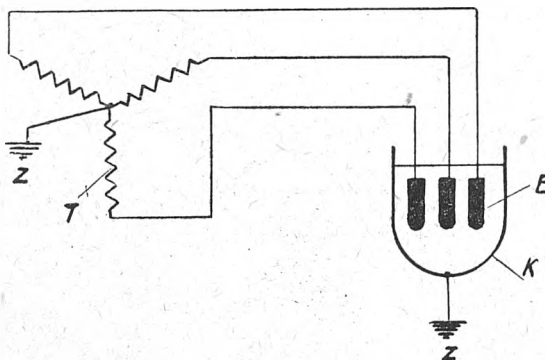
Metoda nagrzewania elektrodowego polega na wykorzystaniu przewodnictwa elektrolitycznego ośrodka płynnego, w którym zanurzone są elektrody, zasilane napięciem stałym lub zmiennym. Pod wpływem przepływu prądu przez ośrodek wytwarza się w nim ciepło Joule'a.

Elektrodowe urządzenia grzejne dzielą się na (1) kotły wodne i parowe, (2) termoelektrolizery i (3) wanny solne.

Kotły wodne i parowe służą do podgrzewania wody lub wytwarzania pary wodnej. Budowane są w postaci zbiorników pionowych lub poziomych, napełnionych wodą, w której zanurzone są elektrody. Przy użyciu wody jako środka przemiany energii elektrycznej na ciepłą trzeba liczyć się ze zmianą koncentracji jej zanieczyszczeń. Na przewodność wody ma wpływ obecność pewnych soli, doprowadzanych z wodą zasilającą. Energię doprowadza się do kotłów w postaci prądu zmiennego pod napięciem niskim lub wysokim. Przy napięciu wysokim odpada koszt transformatora. Przy dużych mocach kotłów stosuje się zasilanie 3-fazowe.

Kotły elektrodowe zaopatrzone są z reguły w urządzenia do regulowania poboru mocy. Sprawność ich jest wysoka i sięga 98—99%. Kotły te są dogodnym środkiem, ułatwiającym przemianę nadwyżek energii elektrycznej zakładów wodnych w energię cieplną.

Termoelektrolizery służą do otrzymywania tych metali, których nie można wyodrębnić elektrolitycznie z roztworów wodnych, a które można otrzymać przez elektrolizę



Rys. 9. Schemat zasilania kotła elektrodowego

T — uzwojenie górnego napięcia transformatora  
K — kotł  
E — elektrody

koksu, trocin i soli. Prąd przechodzący przez rdzeń nagrzewa go do temperatury ok. 2100°C, przy której następuje tworzenie się karborundu.

W piecach do grafitu proces przebiega bez dostępu powietrza przy temperaturze dochodzącej do 2500°C. Potrzebne do niego ciepło wytwarza prąd przepływający przez wsad, podobnie jak w piecu karborundowym. Zwykle piece te są budowane w postaci komory prostokątnej

ich roztopionych soli. Do metali takich należą glin, magnez, kadm, sól, potas i in.

Termoelektrolizę dzielimy na redukcję elektrolityczną i rafinację elektrolityczną. Redukcja elektrolityczna polega na wyzwoleniu się metalu na katodzie przez elektrochemiczny rozkład tlenku tego metalu. Rafinacja elektrolityczna opiera się na rozkładzie zanieczyszczonego metalu anody i osadzeniu się czystego metalu na katodzie. Prąd stały, przepływający przez elektrolit, jest rzędu tysięcy amperów, a napięcie zasilające ok. 5—10 V.

Zasada działania wanien solnych polega na wykorzystaniu przewodnictwa elektrycznego pewnych soli, stanowiących kąpiel, w której umieszczane są przedmioty przeznaczone do obróbki cieplnej (np. do hartowania). Prąd do wanien doprowadzony jest przy pomocy elektrod zanurzonych w kąpeli. Ponieważ przy prądzie stałym występuje zjawisko elektrolizy, zasilanie może odbywać się tylko prądem zmiennym. Napięcie zasilające wynosi ok. 10—30 V i jest doprowadzone z transformatora zasilającego. Jako sole do kąpeli stosowane są zwykle chlorki alkaliczne, np. chlorek baru, który pozwala uzyskać temperaturę kąpeli 1100—1350°C. Ponieważ sole nieroztopione nie przewodzą

prądu, rozgrzewanie kąpeli odbywa się za pomocą dodatkowych elektrod ruchomych, metalowych lub węglowych, zanurzonych w soli, bądź też za pomocą grzałek nurkowych.

Hartowanie w kąpeli ma tę zaletę, że po wyjęciu wsadu z kąpeli pokrywa się on cienką warstewką soli, która chroni go od utlenienia, a odpryskuje dopiero przy raptownym oziębieniu.

Regulacja mocy urządzeń elektrodowych odbywa się przez zmianę napięcia transformatora zasilającego lub zmianę położenia elektrod w kąpeli.

#### LITERATURA

1. Paschki V. Elektrische Industrieöfen. Berlin, 1932.
2. Schwartz T. Grzejnictwo elektryczne. Grzejniki. Warszawa, 1947 (litogr.).
3. Orszanski D. L. Elektrotiermia. Leningrad — Moskwa 1939.
4. Schwedler U. Elektrisches Glühen, Vergüten und Anlassen von Leichtmetallen. TZ für praktische Metallbearbeitung, 1936, nr 17/18.
5. Der Zweck der Durchziehöfen. Russ-Berichte, 1933, zes. 2 i 3.
6. Russ Fr. Das elektrische Schmelzen von Aluminium. Metallkunde, 1934, nr 12.

V

## Przemysłowe piece łukowe

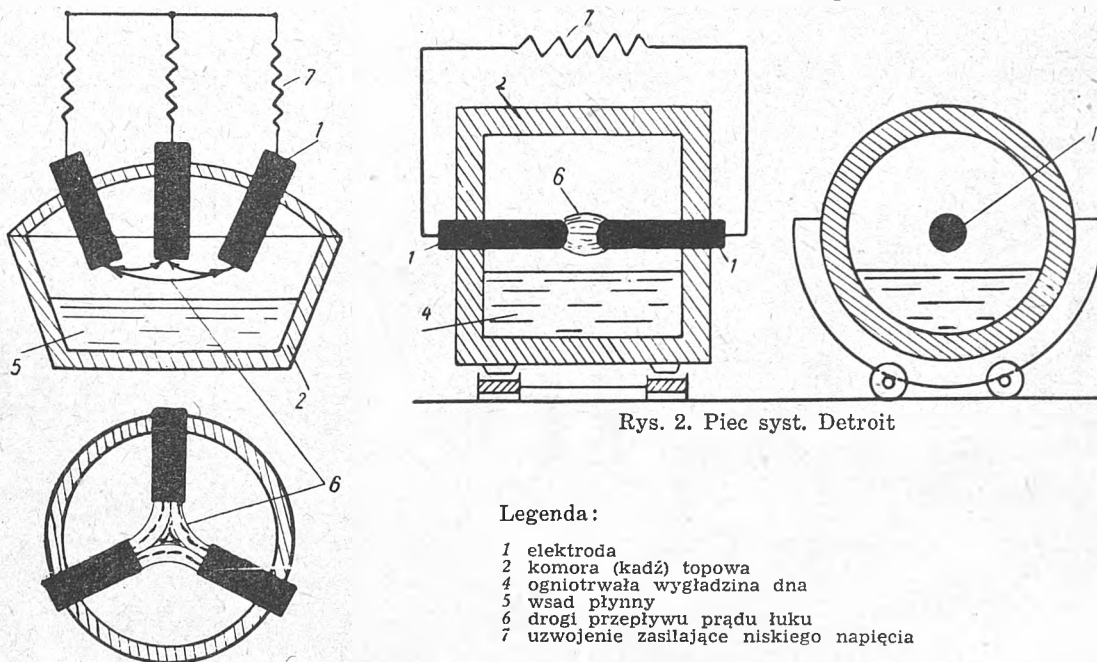
INŻ. JAN ŚWIRCZEWSKI

Treść. Charakterystyka ogólna pieców łukowych. Klasyfikacja pieców łukowych i rozwiązania konstrukcyjne. Sprzęt mechaniczny i elektryczny pieca. Regulacja ruchu elektrod. Zjawiska występujące w pracy pieca łukowego. Wyrób elektrody grafitowej. Praca z elektrodą ciągną. Zalety pieca łukowego.

### 1. Zasady fizyczne.

Zasada budowy przemysłowych pieców łukowych opiera się na wyzyskaniu do celów grzejnych zjawiska łuku elektrycznego, jako samorzutnego wyładowania elektrycznego w ośrodku gazowym (najczęściej w powietrzu) między dwoma ciałami stałymi, znajdującymi się pod działaniem określonej różnicy potencjałów. Ciałami tymi są w warunkach eksploatacyjnych bryły wykonane z metalu,

procesy elektrochemiczne zachodzące w przestrzeni między elektrodami a wsadem i w samych elektrodach. Zasadniczy wpływ na przebieg łuku elektrycznego, tj. na jego samorzutność oraz stateczność, określoną jako pewne prawdopodobieństwo niegaśnięcia łuku, ma stan jonizacji w łukowej przerwie gazowej, temperatura elektrod, ich materiał oraz natężenie pola elektrycznego i wielkość prądu łuku. Natomiast temperatura łuku nie zależy od natę-



Rys. 2. Piec syst. Detroit

#### Legenda:

- 1 elektroda
- 2 komora (kadź) topowa
- 4 ogniotrwała wykładzina dna
- 5 wsad płynny
- 6 drogi przepływu prądu łuku
- 7 uzwojenie zasilające niskiego napięcia

Rys. 1. Piec syst. Stassano

węgla albo grafitu o różnych kształtach — począwszy od walców, a skończywszy na dużych blokach i płytach. Ogólnie noszą one nazwę elektrod.

Temu samorzutnemu wyładowaniu elektrycznemu między elektrodami w ośrodku gazowym towarzyszą: znaczne wydzielanie się energii cieplnej w formie promieniowania pod wpływem wysokiej temperatury do 3000°C, silne zjawisko świetlne, charakterystyczne dla różnych stanów palenia się łuku, zjawisko dźwiękowe oraz skomplikowane

zenia prądu płynącego w obwodzie łuku. Jest to jedna z najistotniejszych właściwości łukowego urządzenia grzejnego, pozwala ona bowiem w łatwy sposób regulować samoczynnie moc urządzenia w czasie pracy bez obniżenia temperatury łuku.

Łuk elektryczny umożliwia nagrzanie ładunku, tj. wsadu, wprowadzonego w zasięg jego działania w komorze topowej pieca łukowego, do 2000°C i więcej. Znalazł on dzięki temu szerokie zastosowanie do procesów fabrykacyjnych



w przemyśle metalurgicznym, chemicznym i im pokrewnych. Wysoką temperaturę wsadu uzyskujemy w płaskim stosunkowo zagłębieniu uformowanym w masie ognioodpornej, którą jest wyłożona wewnętrzna część komory topowej pieca łukowego.

Piece łukowe oddają poważne usługi przede wszystkim tam, gdzie procesy fabrykacyjne wymagają wysokich temperatur. Może to być topienie ciał o wysokich punktach topliwości, jak metale, ich związki, ich stopy oraz takie związki chemiczne jak węgliki (karbidy) i in.

## 2. Klasyfikacja pieców.

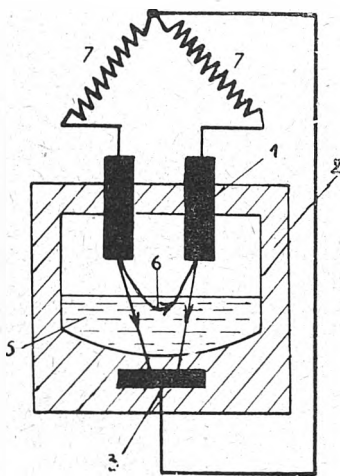
W zależności od tego, czy wsad jest częścią obwodu elektrycznego łuku czy też nie, można podzielić piece łukowe na dwie grupy: na piece o bezpośrednim i pośrednim działaniu łuku na wsad. W piecach o bezpośrednim działaniu wsad bierze udział w przewodzeniu prądu łuku, w pie-

przewodzącym jest to, że podczas pracy pieca prąd łuku może mieć jednocześnie dwie drogi przepływu — drogę pionową i drogę poziomą. Droga pionowa jest określona przez elektrodę — łuk — wsad — elektrodę umieszczoną w dnie pieca, zwaną przeciw-elektrodą. Droga pozioma jest określona przez elektrodę pierwszą — łuk — poziomo przez wsad — łuk drugiej elektrody — drugą elektrodę.

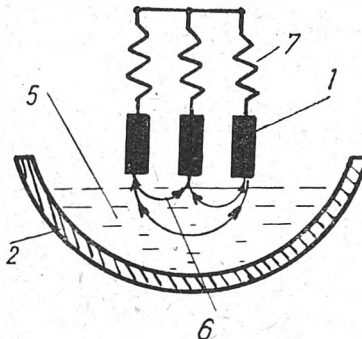
W wypadku symetrii, co zdarza się bardzo rzadko, prąd łuku może zachować te dwie drogi przepływu jednocześnie lub jedną z nich. Typowymi przykładami pieca o dwu dro-

### Legenda do rys. 3—8

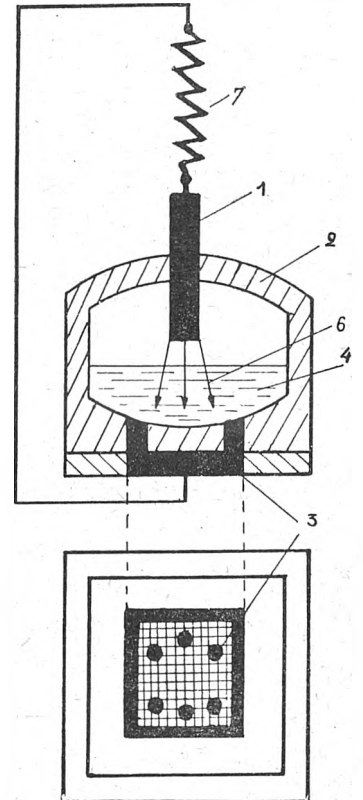
- 1 elektroda
- 2 komora (kadź) topowa
- 3 przeciw-elektroda
- 4 ogniotrwała wykładzina dna
- 5 wsad płynny
- 6 drogi przepływu prądu łuku
- 7 uzwojenie zasilające niskiego napięcia



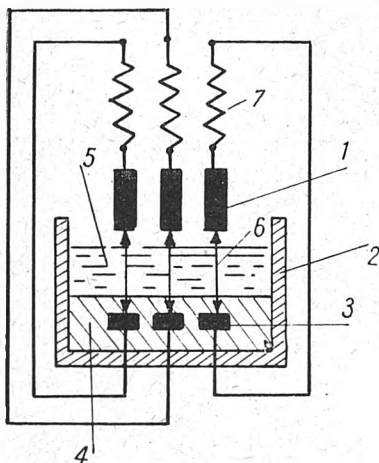
Rys. 3. Piec o dwu drogach przepływu prądu



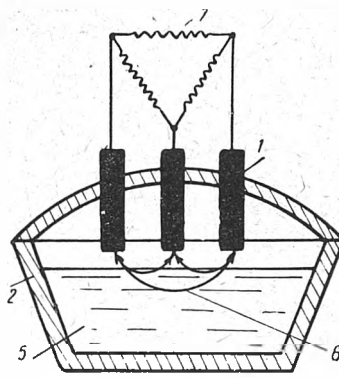
Rys. 4. Piec syst. Fiat, Pittsburgh



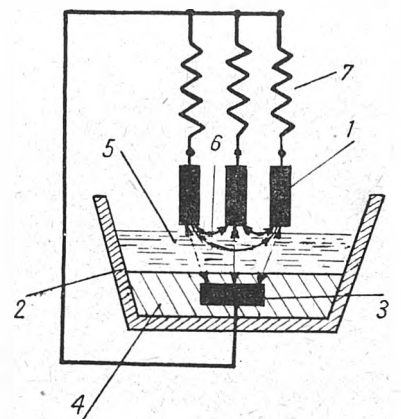
Rys. 5. Piec syst. Girod'a



Rys. 6. Piec syst. Nathusius'a



Rys. 7. Piec syst. Héroult'a



Rys. 8. Piec syst. Siemens'a

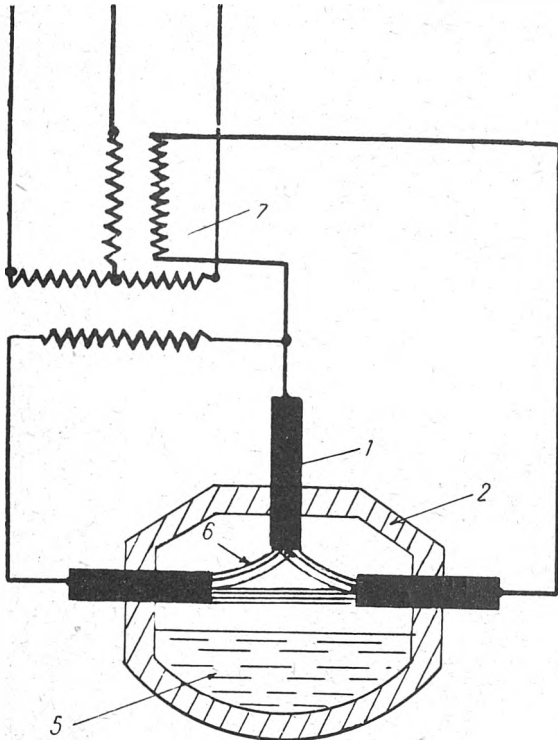
cach zaś o pośrednim działaniu wsad nie jest związany elektrycznie z obwodem elektrycznym łuku. W piecach o pośrednim działaniu prąd łuku płynie z jednej elektrody do drugiej przez atmosferę zjonizowaną między elektrodami umieszczonymi poziomo lub skośnie w bliskiej odległości od wsadu pieca. Do pieców tej kategorii zalicza się piece typu Stassano (rys. 1), Detroit (rys. 2) i inne.

W zależności od sposobu ukształtowania się drogi przepływu prądu elektrycznego między wsadem i elektrodami piece o bezpośrednim działaniu można podzielić na dwie grupy: piece z dnem przewodzącym prąd łuku oraz piece z dnem nieprzewodzącym. Zasadniczą cechą pieców z dnem

gach przepływu prądu łuku są piece systemu Greaves-Etchells, Elektro-Metals itp. (rys. 3). Do grupy pieców, które podczas asymetrii obciążeń posiadają dwie drogi przepływu dla prądu łuku, podczas zaś symetrycznego obciążenia poszczególnych faz jedną drogę przepływu prądu, należy zaliczyć piece typu Fiat, Pittsburgh (rys. 4). Wszystkie piece jednofazowe syst. Keller, Girod (rys. 5) itd. oraz piece trójfazowe syst. Nathusius (rys. 6) należy zaliczyć do jednej grupy o pionowej drodze przepływu prądu łuku. Natomiast zasadniczą cechą pieców z dnem nieprzewodzącym jest to, że piece te posiadają tylko poziomą drogę przepływu prądu łuku — przez wsad i nie

posiadają żadnych przeciwelektrod w swym dnie. Grupa ta jest reprezentowana przez piece typu Héroult (rys. 7), Siemens (rys. 8), AEG, Demag i in.

W tym ujęciu klasyfikacyjnym pieców łukowych różne sposoby rozwiązania poszczególnych części i mechanizmów



Rys. 9. Piec syst. Rennerfelda

- 1 elektroda
- 2 komora (kadź) topowa
- 5 wsad płynny
- 6 drogi przepływu prądu łuku
- 7 uzwojenie zasilające niskiego napięcia

pomocniczych mają drugorzędne znaczenie. Jednak dla otrzymania pełniejszego obrazu własności pieców łukowych

należy podać następnie ich cechy klasyfikacyjne oparte na własnościach poszczególnych części.

Z punktu widzenia układu zasilającego piece łukowe można podzielić na jedno-, dwu- i trójfazowe. Piec jedno-fazowy może być zasilany przez jedną fazę i zero (rys. 5) albo przez dwie fazy układu trójfazowego (rys. 8). Piece dwufazowe są zasilane w układzie Scotta, polegającym na przekształceniu układu trójfazowego na dwufazowy o przesunięciu fazowym wynoszącym  $90^\circ$ , jak np. piec syst. Rennerfelda (rys. 9).

Uwzględniając następnie sposób załadowywania wsadów, można podzielić piece łukowe na piece załadowywane:

- 1) przez okno albo drzwi,
- 2) przez górną część komory topowej (kadzi): a) o zdejmowanej pokrywie, b) o wysuwanej kadzi (piece portalowe).

Elektrody pieca łukowego trójfazowego są z zasady ustawiane pionowo w wierzchołkach trójkąta równobocznego, czasami zaś skośnie lub równoległe do roztopionego wsadu, albo też w jednym szeregu. Ostatni sposób ustawienia elektrod, tj. w jednym szeregu, powoduje zaburzenia w pobieraniu energii z sieci zasilającej, gdyż rozkład poboru mocy na poszczególne fazy pieca jest nierównomierny.

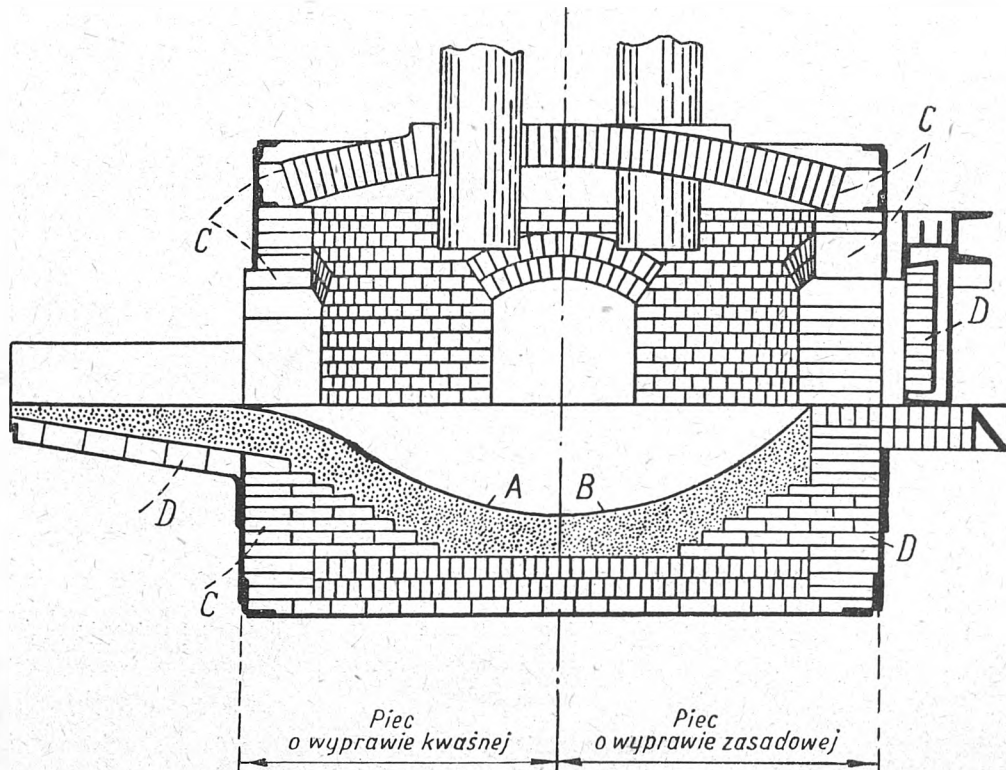
### 3. Urządzenia mechaniczne pieca łukowego.

Na całość urządzenia grzejnego składają się elementy elektryczne i mechaniczne. Dokonajmy przeglądu głównych urządzeń mechanicznych pieca łukowego.

1) Fundament o konstrukcji stalowo-betonowej — musi być przystosowany do dużych ciężarów (dziesiątki ton).

2) Komora topowa, wykonana z masywnej konstrukcji stalowej i wyłożona wewnątrz materiałem ogniotrwałym, ma w swej dolnej części kształt miski, w której gromadzi się roztopiony wsad.

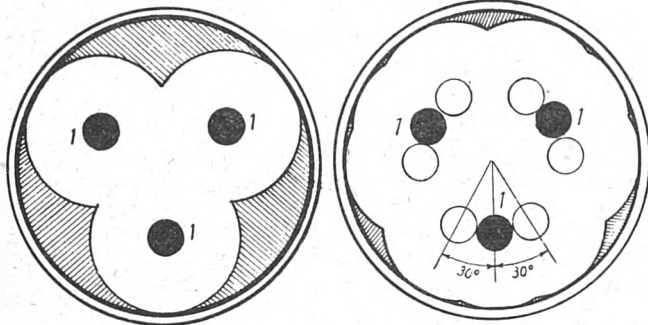
Przekrój komory topowej (zwanej także kadzią topową) jest przedstawiony na rys. 10. Wyprawa miski topowej musi być odporna na wypłukiwanie przez roztopiony wsad i przez pomocnicze związki chemiczne używane w procesach elektrohutniczych. Trwałość wyprawy zależy w znacznym stopniu od techniki jej ułożenia, ubicia, wysuszenia, gdyż wyprawa niewłaściwie wykonana, choćby nawet przy użyciu lepszych materiałów, pracuje bardzo krótko. Odpowiednio do podstawowych składników wyprawy piecowe dzieli się na zasadowe, kwaśne i obojętne.



Rys. 10. Komora topowa pieca łukowego w przekroju

- |                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| A wyprawa kwaśna      | C cegła kwaśna               |
| B wyprawa magnezytowa | D cegła z gliny ogniotrwałej |

Aby skrócić czas przerwy w pracy pieców łukowych, wynikłej wskutek wymiany obmurowania pieca na nowe, suszenie pieca odbywa się systemem przyspieszonym. Po wymurowaniu wyprawy suszy się ją przez nagrzewanie łukowe, które trwa kilkanaście godzin; proces suszenia



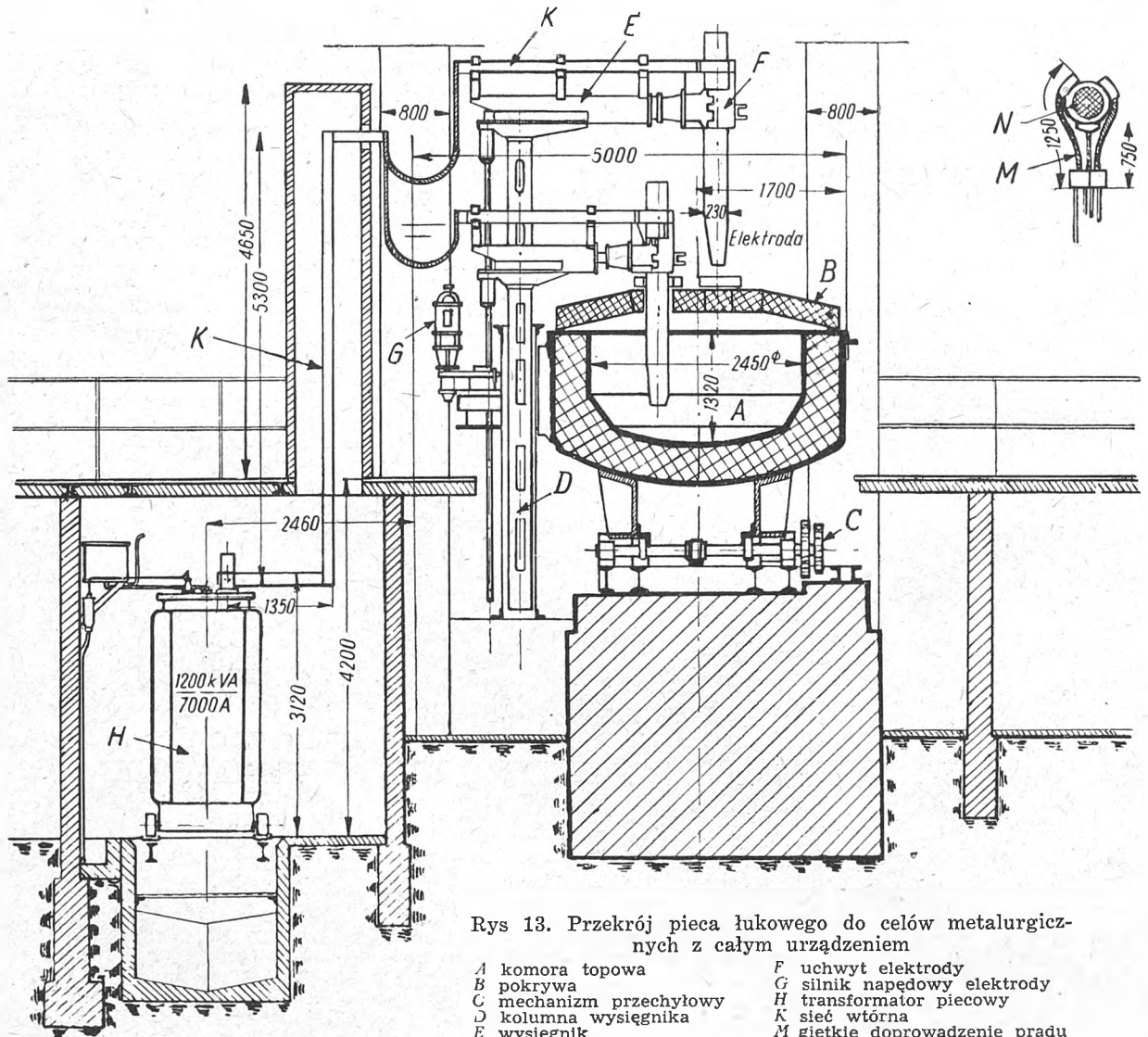
Rys. 11 i 12. Rozkład temperatur w kadzi nieruchomej i obrotowej 1 elektroda

nie przekracza 30—50 godzin. Jako grzejnik elektryczny działa sam piec łukowy, przy czym łuk elektryczny przebiega między elektrodami i pokruszonymi kawałkami elektrod z koksem, umieszczonymi w małej ilości pod elektro-

3) Mechanizm przechyłowy, który służy do wylewania przerobionego wsadu, może być wykonany jako układ tłokowy o napędzie hydraulicznym lub jako przekładniowy o napędzie mechaniczno-elektrycznym. Małe piece przechyla się w całości, w jednostkach większych przechyla się tylko kadź topowa razem z pokrywą albo bez niej. Wyłożenie pokrywy materiałem izolacyjnym powinno być wykonane bardzo starannie, gdyż jest ona szczególnie narażona na szkodliwe działanie wysokich temperatur, panujących w piecu łukowym.

4) Wodny system chłodzenia ma za zadanie utrzymanie w stanie zimnym zewnętrznych elementów pieca, narażonych na szkodliwe działanie wysokiej temperatury.

5) Mechanizm napędowy elektrod, oddzielny dla każdej elektrody. Do zasadniczych jego części należy zaliczyć kolumnę, wysięgnik i uchwyt elektrody. Kolumna może być wykonana: a) jako blachownica lub kratownica, wewnątrz której albo obok której znajduje się śruba pociągowa lub zębata nadająca wysięgnikowi ruch wzdłuż kolumny; b) w układzie teleskopowym, który umożliwia ruch wysięgnika wzdłuż kolumny przez kolejne wysuwanie rurowych elementów współosiowych. Poza tym do napędu elektrod są stosowane również urządzenia hydrauliczne. Wykonuje się je jako hermetyczne układy tłokowe. Ruch elektrody wywołuje zmiana ciśnienia cieczy wypełniającej układ tłokowy. Technika hutnicza rozporządza obecnie różnymi rodzajami uchwytów elektrodowych, których kon-



Rys. 13. Przekrój pieca łukowego do celów metalurgicznych z całym urządzeniem

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| A komora topowa         | F uchwyt elektrody            |
| B pokrywa               | G silnik napędowy elektrody   |
| C mechanizm przechyłowy | H transformator piecowy       |
| D kolumna wysięgnika    | K sieć wtórna                 |
| E wysięgnik             | M giętkie doprowadzenie prądu |

dami jako pomost oporowy. Przy tym sposobie suszenia należy tak dozować dopływ energii do łuku, aby nie spowodować pęknięcia wykładziny piecowej i jej odparzenia od warstwy cegieł ochronnych (rys. 10), pęknięcia bowiem grożą w czasie pracy pieca łukowego wyciekami wsadu.

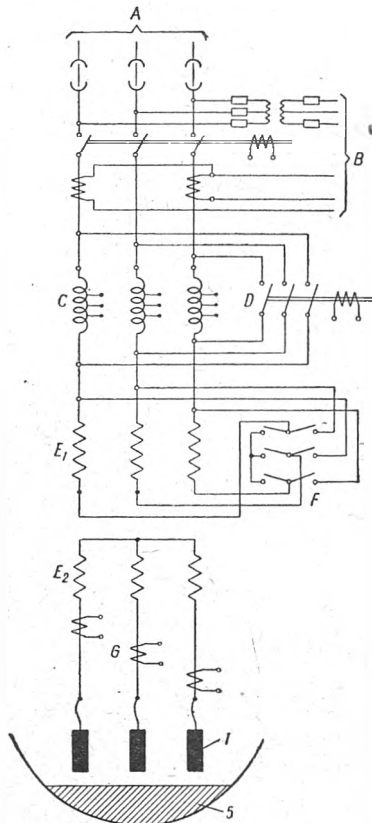
strukeja jest ściśle związana z własnościami mechanicznymi i elektrycznymi samych elektrod.

6) Mechanizm obrotowy przyczyniający się do równomiernego nagrzewania wsadu. Gdyby nie było ruchu względnego między elektrodą i wsadem, rozkład tempera-



tur we wsadzie byłyby nierównomierny, jak to przedstawia rys. 11, gdzie widać nierównomierność nagrzania wsadu. Miejsca zakreskowane wskazują zimniejsze części wsadu.

Ponieważ każdą wykonywaną okresowo ruch obrotowy dookoła osi pionowej w granicach  $\pm 30^\circ$ , tj. raz w lewo i raz



Rys. 14. Schemat elektryczny pieca łukowego do celów metalurgicznych

- 1 elektroda
- 5 wsad płynny
- A sieć zasilająca wysokiego napięcia
- B układ pomiarowy (kWh)
- C dławiki
- D wyłącznik do zwierania dławików
- E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> transformator piecowy (uzwojenia wysokiego i niskiego napięcia)
- F przełącznik Δ/Y
- G przekładniki prądowe układu samoczynnej regulacji ruchu elektrod

w prawo o  $30^\circ$ , więc rozkład temperatur we wsadzie przybiera postać, jak podano na rys. 12, na którym zakreskowane pole również zaznacza część zimniejszą wsadu. Piece z mechanizmem obrotowym wyraźnie wykazują znacznie większą równomierność nagrzewania wsadu.

7) Niezbędne wyposażenie do obsługi pieca, jak dźwig do ładowania, kosze ładownicze, zlewnice do gromadzenia przerobionego wsadu itp.

W zależności od mocy pieca i od rodzaju odbywających się w nim procesów elektrotechnicznych poszczególne elementy otrzymują różne rozwiązania konstrukcyjne. Rys. 13 przedstawia przekrój średniej wielkości urządzenia łukowego, służącego do celów metalurgicznych. Z rysunku tego widać, w jaki sposób są powiązane ze sobą urządzenia mechaniczne i elektryczne i w jakim stosunku są utrzymane wymiary poszczególnych elementów. Schemat przedstawiony na rys. 14 podaje elementy, z których się składa elektryczny obwód pieca łukowego, przeznaczonego do topienia stali.

#### 4. Szczególne zjawiska w piecu łukowym.

W piecu łukowym występuje szereg osobliwych zjawisk, wpływających na rozwiązanie konstrukcyjne poszczególnych jego elementów elektrycznych. Są to:

- 1) ujemny współczynnik zmiany oporności łuku w funkcji prądu łuku,
- 2) niesinusoidalny przebieg prądu w obwodzie łuku,
- 3) naskórkowość,

4) nierównomierny rozkład prądu wzdłuż przekroju poprzecznego w równoległe ułożonych przewodach, w których prąd przepływa w kierunku zgodnym,

5) wypieranie prądu w przewodach tworzących elementy kołowe — układy uzwojeń wtórnych — w kierunku do mniejszego promienia zwoju,

6) nierównomierność amplitud prądu w zależności od biegunowości zmian prądu łuku,

7) wypieranie prądu w kierunku dna pieca w piecach z poziomym przepływem prądu,

8) słaba, martwa i mocna faza występująca w piecach, w których elektrody są ustawione w szereg.

Wymienione zjawiska natury elektrycznej wpływają decydująco na pracę łuku elektrycznego; należy podkreślić, że wiele z nich zależy od konfiguracji przewodów. Przy obliczaniu sieci wtórnej — tzw. krótkiej sieci, tj. odcinka przewodów zawartych pomiędzy zaciskami transformatora zasilającego piec i elektrodami — należy zwracać szczególną uwagę na jej ukształtowanie, albowiem od przestrzennego układu tej sieci zależy jej oporność czynna i oporność indukcyjna. Oporności te odgrywają dominującą rolę w obwodzie łuku elektrycznego, wpływając na stateczność łuku i tłumienie ujemnych skutków zaburzeń elektrycznych.

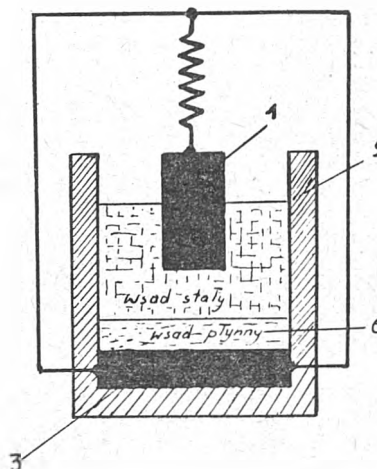
#### 5. Transformatory piecowe.

Z uwagi na przebieg obciążenia podczas pracy transformator piecowy, stosowane jako źródła zasilające pieców łukowych, można podzielić na następujące trzy zasadnicze grupy:

- 1) transformatory pieców do wytopu stali,
- 2) „ „ „ „ „ metali kolorowych,
- 3) „ „ „ „ „ rud itp.

Grupę pierwszą cechuje wybitnie zmienny charakter obciążenia. Może się ono zmieniać od gwałtownego zwarcia do zupełnego wyłączenia mocy. Liczba tych zmian w czasie topienia wsadu jest znaczna. Grupa druga ma znacznie łagodniejszy przebieg zmian mocy. Możliwość zwarcia jest bardzo mała, chyba np. w chwili złamania elektrody. Grupa trzecia posiada obciążenie prawie stałe zależne przede wszystkim od wielkości wsadu. W tym przypadku elektroda jest całkowicie otulona rudą lub innymi związkami chemicznymi poddany procesowi syntezy lub analizy, jak np. przy produkcji karbidu, korundu itp.

Piecy należące do trzeciej grupy noszą nazwę pieców oporowo-łukowych i posiadają w porównaniu z innymi piecami łukowymi znacznie lepszy  $\cos \varphi$ , bo dochodzący do



Rys. 15. Jednofazowy piec oporowo-łukowy

- 1 elektroda
- 2 komora (kadź) topowa
- 3 przeciwelektroda
- 6 drogi przepływu prądu łuku

jedności. Układ jednofazowy takiego pieca z otuloną elektrodą przedstawia rys. 15. Jak widać z rysunku, są to piece o bezpośrednim działaniu łuku z dnem przewodzącym.

Ponieważ piec łukowy do wytopu stali, najbardziej rozpowszechniony ze wszystkich typów, pracuje w bardzo ciężkich warunkach wskutek dużej liczby zwarć, transformator piecowy powinien cechować dużą przeciążalność, dużą wytrzymałość mechaniczną odpowiednio do wartości

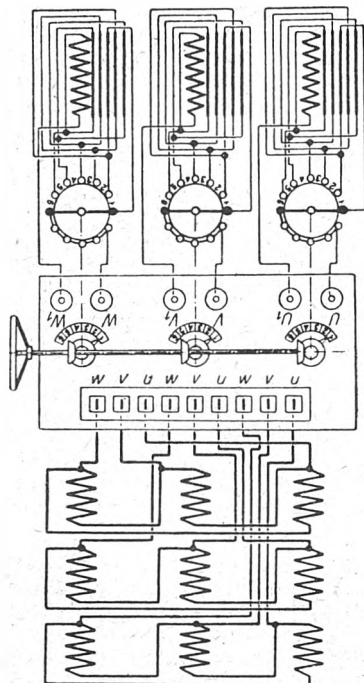
prądu zwarcia, wielostopniowość regulacji po stronie niskiego napięcia oraz dobre chłodzenie.

W związku z tym uzwojenie wtórne transformatora piecowego należy zaprojektować tak, aby:

a) występowały w nim możliwie małe straty dodatkowe w miedzi z uwagi na duże przekroje,

b) było ono jak najsilniej zamocowane na kolumnach ze względu na duże siły występujące podczas zwarcia.

Rozszerzenie zakresu regulacji napięciowej uzyskujemy przez zastosowanie przełącznika „trójkąt-gwiazda” po



Rys. 16. Układ regulacji napięcia wtórnego

stronie wysokiego napięcia. Pełny układ regulacji napięcia wtórnego za pomocą przełączeń uzwojenia transformatora po stronie wysokiego napięcia podaje rys. 16.

## 6. Regulacja pieca.

Samoczynny system regulacji ruchu elektrod ma zadanie utrzymania określonej wartości mocy pieca łukowego podczas jego pracy, która zmienia się w zależności od sposobu i różnorodności przeprowadzanych procesów elektrohutniczych.

Przełącznik regulujący na zmiany nastawionej wartości wielkości elektrycznej czuwa, aby ta wartość nie została przekroczona. Przełącznik może reagować na zmianę natężenia prądu, napięcia, mocy itd. lub dwu wielkości jednocześnie np. prądu i napięcia.

Przełączniki, które reagują na jedną wielkość elektryczną nazywamy regulatorami jednoczłonowymi w odróżnieniu od regulatorów dwuczłonowych, które reagują jednocześnie na zmianę dwóch wielkości elektrycznych. Przekazywanie stanu przekroczenia nastawionej wartości w obu kierunkach na układ napędowy elektrody może odbywać się systemem regulacji impulsowej lub systemem regulacji ciągłej. Napęd elektrody może odbywać się na drodze elektromechanicznej lub hydraulicznej.

Do zasadniczych zalet układu impulsowego prądowego należy zaliczyć dostateczną czułość regulacji, prostotę wykonania i łatwą obsługę. Obecnie postęp budowy układów regulacyjnych ruchu elektrody postępuje w kierunku ulepszenia regulatorów dwuczłonowych o systemie regulacji ciągłej. Jako przykłady regulacji ciągłej mogą służyć systemy: Secomet-Vastel, B. B. C, układy reguleksowe, ampidynowe, rotodynamiczne itp.

Ogólne wymagania, które stawia się układom regulującym ruch elektrody pieca łukowego, są następujące:

- uniwersalność stosowania,
- całkowita automatyzacja pracy niezależnie od rodzaju połączeń transformatora zasilającego piec,
- duża czułość,

d) mała bezwładność w chwili zmiany kierunku i wartości wielkości regulowanej,

e) pewność działania,

f) szeroki zakres zmienności warunków pracy,

g) niewrażliwość na działanie wpływów zewnętrznych, jak wstrząsy, temperatura, pole magnetyczne itp.

Napęd elektrody może odbywać się za pomocą silników prądu zmiennego lub stałego. Napęd prądem stałym ma tę przewagę, że pozwala na duży zakres regulacji obrotów przy znacznym momencie rozruchu. Regulacja mocy pieca łukowego odbywa się albo w obwodzie wysokiego napięcia i wtedy sprowadza się do regulacji strumienia magnetycznego transformatora piecowego, albo po stronie niskiego napięcia przez regulację oporności obwodu wtórnego. Regulacja oporności pozornej obwodu przyłączonego do wtórnego uzwojenia transformatora odbywa się pośrednio przez zmianę oporności czynnej bocznika w obwodzie przekładnika prądowego i następuje po odłączeniu obciążenia i nastawieniu odpowiedniego zaczepek pracy na transformatorze piecowym po stronie wysokiego napięcia. Pozwala ona na nastawienie określonej wartości prądu łuku. Zadaniem przekładnika jest likwidowanie odchyłek od nastawionej wartości prądu łuku. W wypadku, gdy natężenie prądu fazowego spadnie poniżej wartości nastawionej, przekładnik prądowy daje impuls do układu sterującego ruchem elektrody, która opuszcza się w kierunku wsadu pody, póki prąd fazowy łuku nie osiągnie nastawionej wartości. W tym momencie silnik napędowy i elektroda zostają unieruchomione aż do ponownego stanu naruszenia równowagi. W całym tym procesie regulacyjnym mamy do czynienia z regulacją prądu fazowego przez zmianę długości łuku.

Do zasadniczych elementów układu sterującego ruchem elektrod pieca zalicza się ponadto system blokady, którego istota polega na tym, że układ sterujący elektrodą jest zaopatrzony w przełączniki krańcowe, ograniczające ruch elektrody w kierunku zarówno do góry, jak i na dół. W przełączniki krańcowe zaopatrzone są również inne układy ruchome, jak mechanizm przechyłowy, obrotowy itp.

## 7. Elektrody.

Ogólne wymagania, które technika elektrohutnicza stawia dobrej elektrodzie, są następujące.

Elektroda powinna posiadać stosunkowo mały opór; osiągamy to przez poddanie obrabianej już elektrody procesowi grafityzacji. Poza tym elektroda powinna być odporna na działanie wysokiej temperatury; uzyskujemy to również przez stosowanie elektrod grafitowych. Następnie elektroda musi mieć mały współczynnik zmiany objętości w funkcji temperatury. Osiągamy to przez stosowanie odpowiednich mieszanin mas elektrodowych. Spalanie się elektrody powinno być powolne i bardzo dokładne przy pozostawianiu jak najmniejszej ilości popiołu. Wreszcie elektroda powinna zachować swój pierwotny kształt bez względu na warunki eksploatacyjne, a więc nie może pękać, wyginać się, a przede wszystkim nie może kruszyć się i odpadać.

Podstawowymi materiałami, które wchodzi w skład masy elektrodowej, są: antracyt, koks naftowy, koks hutniczy, koks pakowy, pak pogazowy, smoła i tym podobne lepiszcza pochodzenia węglowego. W celu zyskania pożądanego własności elektrody składniki miesza się w odpowiednich stosunkach wagowych, po czym masę elektrodową formuje się w odpowiednie kształty w prasach pod ciśnieniem 200—300 kg/cm<sup>2</sup>. Tak przygotowaną elektrodę surową — „elektrodę zieloną” — poddaje się 20—30-dniowej obróbce cieplnej bez dostępu powietrza. Po powolnym ostudzeniu elektrodę obrabia się według założonych wymiarów, wykonywa się elementy łączące, gwinty walcowe, stożkowe itp. i elektroda jest gotowa do pracy. Jest to elektroda węglowa. Elektrody, które mają być użyte do wyrobu stali szlachetnych, muszą być poddane dalszej obróbce, a mianowicie grafityzacji. Grafityzacja elektrod węglowych jest w istocie swej powtórną obróbką cieplną (lecz w wyższej temperaturze), mającą za cel dalsze ulepszenie nabytych w poprzednim procesie własności elektrycznych, mechanicznych i spaleniowych.

Tabl. I podaje własności fizyczne elektrod.

W celu zmniejszenia do minimum czasu postojów, wywołanych uszkodzeniami elektrod, została wprowadzona do przemysłu elektrohutniczego elektroda ciągła systemu Söderberga. Elektroda ta daje 20% oszczędności masy

elektrodowej wskutek braku niedopałków, które pozostają przy elektrodach prasowanych. Elektroda ciągła — w odróżnieniu od elektrody prasowanej — posiada płaszcz

kana się do skomplikowanych sposobów automatycznej regulacji ruchu elektrod. Elektroda Söderberga może być więc z powodzeniem stosowana w tych wszystkich proce-

Tablica I. Własności fizyczne elektrod

| Własności  | Jednostki           | Elektrody          |                    |            |
|--|---------------------|--------------------|--------------------|------------|
|  |                     | węglowe            | grafitowe          | Söderberga |
| Ciężar właściwy                                  | g/cm <sup>3</sup>   | 1,79—2,08          | 2,20—2,24          | 1,5        |
| Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż osi podłużnej | kg/cm <sup>2</sup>  | 70—100             | 60—75              | —          |
| Opór właściwy przy 20°C                          | Ωmm <sup>2</sup> /m | 35—81              | 8—14               | 60—70      |
| Średnie ciepło właściwe w granicach 26—1450°C    | kcal/kg             | 0,168—0,387        | 0,165—0,39         | —          |
| Ilość popiołu                                    | %                   | 5—10               | 0,5—1,5            | —          |
| Współczynnik wydłużenia                          | —                   | 4·10 <sup>-6</sup> | 3·10 <sup>-6</sup> | —          |
| Zużycie w stalowni                               | kg/MWh              | 10—30              | 7—8                | —          |
| Początek utleniania się                          | °C                  | 400                | > 600              | —          |
| Obciążenie przekroju                             | A/cm <sup>2</sup>   | 4—10               | 15—30              | 7—10       |

(pochwę) wykonany z blach ze stali miękkiej. Jest on spawany z szeregu segmentów, które wycina się z arkusza blachy. W miarę upalania się płaszcz wraz z elektrodą jest on przedłużany od góry przez naspawanie nowych elementów. Na całej długości płaszcz przyspawana się taśmę ze stali miękkiej, grubszej niż blacha płaszczowa; ta-

sach elektrohutniczych, w których małe zawartości żelaza i jego tlenków nie powodują szkodliwych zanieczyszczeń kąpieli płynnej ani też nie zniekształcają przebiegu procesów.

Decydującym czynnikiem określającym wielkość spadku napięcia na elektrodzie jest, oprócz zjawiska naskórkowości, zmienny współczynnik zmiany jej oporności w funkcji temperatury (rys. 17).

Ze względu na duże prądy i znaczną ilość połączeń zwraca się przy konstrukcji pieca baczna uwagę na opory styku, których wpływ jest szczególnie duży w obwodzie wtórnym transformatora pieca łukowego.

#### 8. Zalety pieca łukowego.

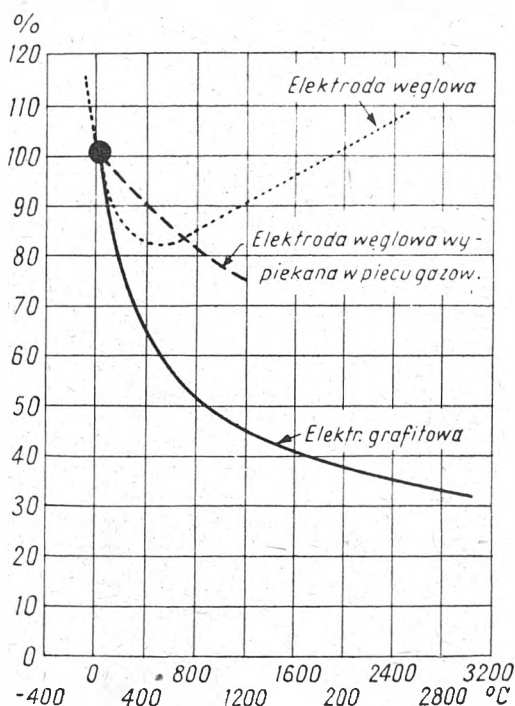
Zaletami pieca łukowego, które spowodowały znaczne jego rozpowszechnienie w przemyśle metalurgicznym i chemicznym, są:

- 1) łatwość nagrzewania wsadów do temperatury 2000°C i wyżej,
- 2) prosta obsługa zarówno strony elektrycznej, jak i mechanicznej,
- 3) szeroki zakres mocy regulacji na drodze samoczynnej i ręcznej,
- 4) prawie nieruchoma atmosfera gazowa komory topowej, która wraz z obfitą szlaką znacznie zmniejsza utlenianie wsadu,
- 5) stosunkowo nieduże zużycie energii elektrycznej na jednostkę wsadu, wynoszące w procesach metalurgicznych średnio 800—1000 kWh/t,
- 6) możliwość stosowania dużych jednostek roboczych (do 100 ton wsadu).

Na marginesie należy nadmienić, że w warunkach polskich, piec łukowy odegrał bardzo ważną rolę w wykonaniu planu 3-letniego. Na jedną z naszych fabryk chemicznych, której produkcja oparta jest na pracy pieców łukowych, przypada rocznie około 8% ogólnopolskiego zużycia energii elektrycznej.

#### LITERATURA

1. Jeziński E. Transformatory
2. Lejkin W. E. Pławka stali w elektropieczach
3. Okorokow N. W. Elektroplawiny piecy
4. Knowlton A. E. Standard Handbook for Electrical Engineers.
5. Gautheret R. Les différents modes de chauffage électrique
6. Orszanski D. E. Elektrotermja
7. Nowak K. Elektrody węglowe. Przemysł Chemiczny, 1948, nr 5, str. 300—304



Rys. 17. Zależność oporności elektrod od temperatury  
100% = oporność przy 20°C

śma ta służy jako element dźwigający elektrodę. Pochwa jest załadowywana od góry masą elektrodową, która w miarę obniżania się elektrody zamienia się na grafit pod wpływem działania ciepła pieca łukowego. Wprowadzenie płaszczu metalowego zmniejsza ugar masy elektrodowej wzdłuż powierzchni bocznych.

Praca z elektrodą ciągłą, której długość jest stała, umożliwia utrzymanie stałej niemal wartości prądu bez ucie-

## VI

### Piece indukcyjne

MGR INŻ. MISSALA TADEUSZ

Treść. Ogólne własności grzejnictwa indukcyjnego, zalety techniczne i gospodarcze. Piece rdzeniowe: zasada działania, rozwiązania konstrukcyjne, sprawność, uruchamianie, wydajność, zasilanie, regulacja mocy, zastosowania i dane eksploatacyjne. Piece bezrdzeniowe: zasada działania, zjawisko naskórkowości, współczynnik mocy, zjawisko mieszania się wsadu, piec na dwie częstotliwości, topienie odpadków, zastosowania ogólne i specjalne, bilans cieplny, budowa i regulacja mocy, urządzenia zasilające i dane eksploatacyjne.

#### 1. Uwagi ogólne.

Grzejnictwo indukcyjne opiera się na znanej zasadzie; w przewodniku umieszczonym w zmiennym polu magne-

tycznym wzbudza się siła elektromotoryczna; płynący pod jej wpływem prąd jest źródłem ciepła, tzw. ciepła Joule'a. W piecu elektrycznym indukcyjnym zmienne pole magne-



tyczne jest wytwarzane przez cewkę wbudnikową (zwaną również wzbudnikiem), zasilaną ze źródła prądu zmiennego. W polu tym umieszczony jest metal topiony tzw. wsad, w którym wytwarzają się przez indukcję prądy grzejące metal. Piece indukcyjne są więc na ogół piecami grzania bezpośredniego. Ta ich cecha decyduje o ich metalurgicznych i ekonomicznych własnościach.

Dla zdania sobie sprawy z własności metalurgicznych pieca indukcyjnego należy rozważyć mechanizm nagrzewania wsadu metalowego. Wsad nagrzewa się pod wpływem ciepła Joule'a wytwarzanego przez prądy, które powstają we wsadzie przez indukcję. Wskutek tego wsad jest najgorętszą częścią pieca, a jego temperatura rośnie stopniowo w miarę trwania nagrzewania. Nie ma więc w piecu indukcyjnym, w przeciwieństwie do pieca łukowego czy płomieniowego, różnic temperatur nieraz bardzo dużych między wsadem a źródłem ciepła. Wskutek tego metale o niskim punkcie topliwości (cynk, glin, magnez, cyna) lub metale w stanie rozdrobnionym (ścinki, wióry itp. odpadki) można przetapiać w piecu indukcyjnym bez nadmiernego utleniania, a więc bez dużych strat na ugar. Straty te wynoszą w piecu indukcyjnym zaledwie 0,5—1% wagi metali.

Piec indukcyjny nadaje się więc doskonale do otrzymywania wysokogatunkowego surowca ze złomu i najrozmaitszych odpadków, jak wióry, folie, ścinki, opiłki. Stawia go to na bardzo ważnym miejscu w racjonalnej gospodarce surowcowej kraju.

Przewagą pieca indukcyjnego nad piecem tyglowym oporowym, który również daje małe straty na ugar, polega przede wszystkim na tym, że piec indukcyjny nie zużywa spiral grzejnych. Spirale są na ogół drogie, przepalają się dość często, a więc sprowadzają częste zakłócenia w pracy pieców. Ze względu na ograniczoną temperaturę, do której mogą być rozgrzane spirale, piece oporowe nie nadają się nawet do topienia miedzi, nie mówiąc już o niklu i innych metalach.

Nadto piec indukcyjny zużywa znacznie mniej energii elektrycznej niż piec oporowy, np. dla aluminium 400—445 kWh/t wobec 855 kWh/t zużywanych w piecu oporowym wannowym.

Dalszą zaletą pieca indukcyjnego jest znacznie dłuższy czas użytkowania bez zakłóceń w ruchu niż dla innych pieców. Tak np. tygiel grafitowy pieca koksowego wytrzymuje:

|                      |     |         |
|----------------------|-----|---------|
| przy topieniu miedzi | 40  | wytopów |
| " " nowego srebra    | 45  | "       |
| " " mosiądzu         | 60  | "       |
| " " niklu            | 2—3 | "       |

Natomiast wymurowanie wewnętrzne czyli tzw. wyprawa pieca indukcyjnego, będąca jego najsłabszą częścią, wytrzymuje:

|                      |     |           |         |
|----------------------|-----|-----------|---------|
| przy topieniu miedzi | ok. | 1000      | wytopów |
| " " mosiądzu         | "   | 2500—3000 | "       |
| " " niklu            | "   | 200       | "       |

Nadto należy wskazać, że piec indukcyjny wymaga obsługi jednego człowieka, a więc małej. Jeden piecowy może obsługiwać nawet 2 piece, co daje znaczną oszczędność kosztów robocizny. Poza tym piec indukcyjny mimo stosunkowo niewielkiej nieraz pojemności posiada bardzo dużą zdolność przetopu, np. piec na 150 kg mosiądzu może w 24 h przetopić 2,5 t metalu, piec zaś 300-kilogramowy może przetopić 6—7,5 t metalu.

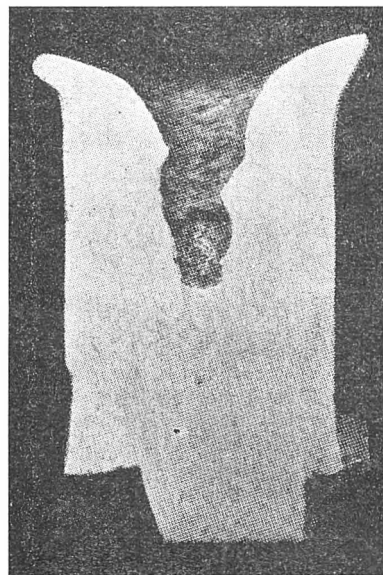
Wszystkie te czynniki gospodarcze sprawiają to, że produkcja w piecu indukcyjnym jest znacznie tańsza niż w piecu oporowym czy płomieniowym: koszt 1 t mosiądzu z pieca indukcyjnego wynosi ok. 30% kosztu 1 t mosiądzu z pieca tyglowego koksowego.

W porównaniu z piecami oporowymi gospodarność pieca indukcyjnego wygląda jak następuje: koszty amortyzacji i instalacji — te same; koszty wymiany części (wyprawa, spirale, tygiel w piecu oporowym, a wyprawa lub tygiel w piecu indukcyjnym) są dwukrotnie niższe w piecu indukcyjnym; koszty ruchu pieca — ok. 25% niższe w piecu indukcyjnym. W wyniku tego np. aluminium z pieca indukcyjnego wypada o 30% taniej niż z pieca oporowego wannowego.

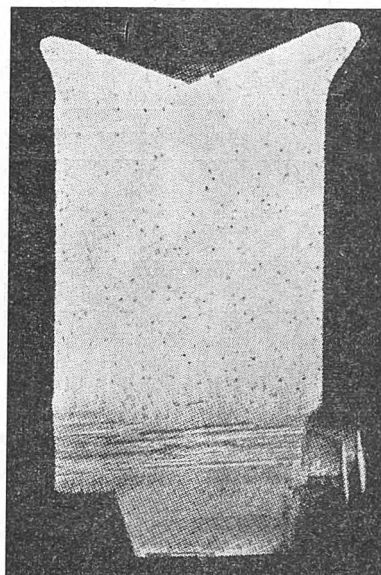
Wreszcie należy wspomnieć o istotnej, czysto metalurgicznej zaletce pieca indukcyjnego. Pod wpływem sił cieplnych i elektromagnetycznych następuje samoczynne mie-

szanie się wsadu płynnego, co powoduje większą jednorodność otrzymanego stopu i lepsze jego odgazowanie.

Rys. 1 i 2 pokazują w przekroju próbki odlewu z pieca płomieniowego i z pieca indukcyjnego rdzeniowego. Widać



Rys. 1. Próbką odlewu z pieca indukcyjnego



Rys. 2. Próbką odlewu z pieca płomieniowego

wyraźnie różnicę w zawartości gazów i jednorodności materiału.

Piece indukcyjne do topienia metali dzielimy na dwie grupy: 1) piece rdzeniowe, w których zmienny strumień magnetyczny zamyka się przez rdzeń żelazny,

2) piece bezrdzeniowe, w których zmienny strumień magnetyczny zamyka się przez wsad i powietrze.

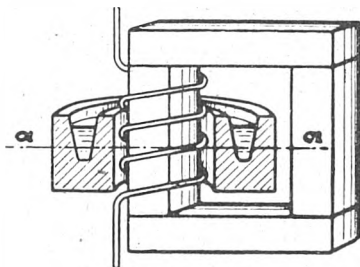
## 2. Piece rdzeniowe.

Zasada pracy. Najprostszy układ elektryczny pieca indukcyjnego i rdzeniowego przedstawia rys. 3. Jest to dziś nieużywany piec żłobowy; na nim jednakże łatwiej jest objaśnić zasadę pracy pieca.

Piec składa się z rdzenia żelaznego, uzwojenia pierwotnego (wzbudnika) i rynnny wypełnionej topionym metalem, będącej zamkniętym obwodem wtórnym jednozwojowym. Widać stąd, że piec indukcyjny rdzeniowy jest w swojej istocie transformatorem o zwartym uzwojeniu wtórnym.

Obecne rozwiązania konstrukcyjne pieców rdzeniowych. Piec żłobowy posiada dwie zasadnicze wady, dyskwalifikujące go w użyciu praktycznym:

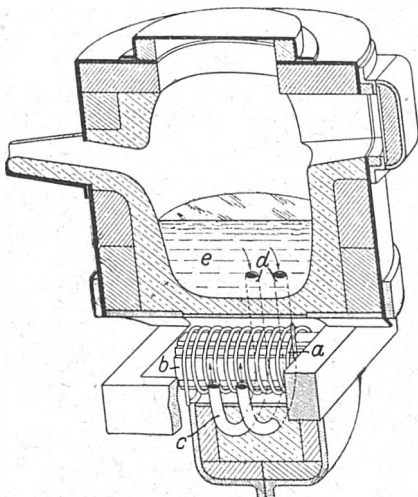
1) bardzo mały współczynnik mocy ( $\cos \varphi$ ) — rzędu 0,1 i 2) niekorzystnie dużą w stosunku do wielkości wsadu powierzchnię zetknięcia metalu topionego z powietrzem, co powoduje silne utlenianie wsadu. Ze względu na te



Rys. 3. Piec żłobowy

wady piec żłobowy został zarzucony. Obecnie piece rdzeniowe buduje się jako kanałowe (rys. 4).

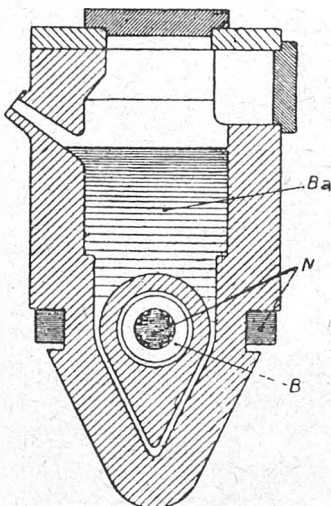
Właściwy obwód wtórny pieca rdzeniowego stanowią kanały, których opór jest właściwie całym oporem obwodu



Rys. 4. Piec kanałowy

a uzwojenie cewki wzbudnikowej  
b rdzeń żelazny  
c kanały pieca  
d wyloty kanałów  
e przestrzeń topna

wtórnego. W nich też wytwarza się całe ciepło, które na drodze konwekcji wymuszonej pod wpływem mieszania



Rys. 5. Piec kanałowy syst. „Ajax-Wyatt”

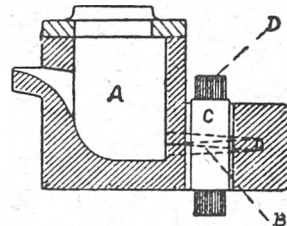
N rdzeń magnetyczny  
B uzwojenie pierwotne  
Ba metal roztopiony

elektromagnetycznego przechodzi do metalu znajdującego się w przestrzeni topowej.

W porównaniu z piecem żłobowym piec kanałowy posiada mniejszą indukcyjność i większy opór czynny, dzięki czemu wyróżnia się dość dobrym współczynnikiem mocy

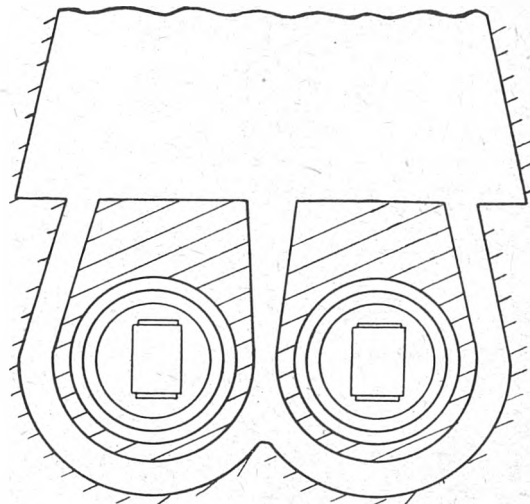
( $\cos \varphi$ ) i nie wymaga obniżania częstotliwości prądu zasilającego, co było konieczne dla pieca żłobowego.

Piece kanałowe różnią się w swojej budowie przede wszystkim ukształtowaniem kanałów. Rys. 5 podaje typowy piec syst. „Ajax-Wyatt” do topienia miedzi na wsad 250 kg. Kanał ma kształt V i ustawiony jest pio-



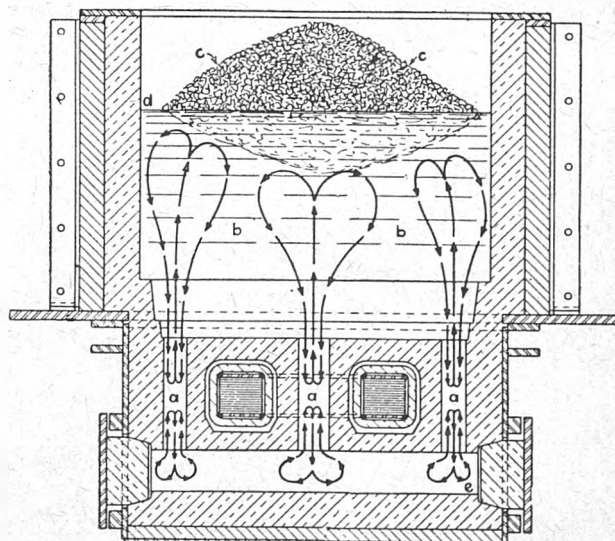
Rys. 6. Piec kanałowy Roussa

nowo. Rys. 6 podaje piec Roussa, prototyp używany dawniej do rafinowania roztopionej stali. Piec ma kanał poziomy. Dziś ten typ pieców jest mało używany. Rys. 7 przedstawia kanały pieca Roussa na wsad 600 kg miedzi. Taki kształt kanałów jest powszechnie używany. Rys. 8 przedstawia piec na aluminium na niewielki wsad, a rys. 9 podaje rozwiązanie konstrukcyjne pieca na wsad 2 t alu-



Rys. 7. Kanały pieca Roussa

minium. Piec ten cechują kanały poziome, dające się łatwo czyścić bez unieruchamiania pieca. Czyszczenie kana-

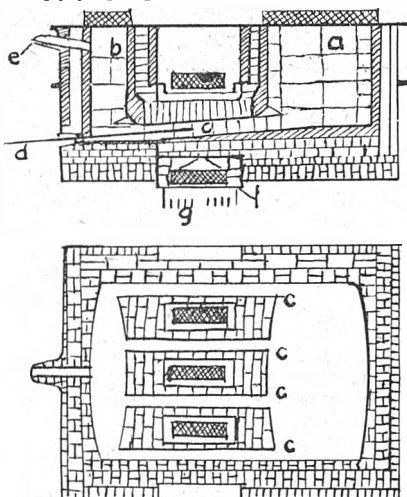


Rys. 8. Piec na aluminium na mały wsad

a kanały topne preczyszczone  
b kąpiel z wsadu topionego  
c zimny wsad

łów jest niezmiernie ważne, zwłaszcza dla pieców do metali lekkich, których tlenki osadzają się na ścianach kanału, powodując jego zarastanie.

Przy mosiądzach niebezpieczeństwo to nie istnieje, gdyż mosiądz tworzy z wyprawą żużel, pokrywający kanał i zabezpieczający go przed wymywaniem. Żużel ten nor-



Rys. 9. Piec na aluminium 2-tonowy

- a przestrzeń załadunku
- b przestrzeń z metalem do odlania
- c kanały topne
- d wyciór do czyszczenia kanału
- e oś obrotu
- f trójfazowy transformator piecowy
- g powietrze chłodzące

malnie nie powoduje zarastania kanałów w tym stopniu, jak przy metalach lekkich, chociaż przy nieodpowiedniej wyprawie zjawisko zarastania może silnie wystąpić.

Miedź, brązy i nowe srebro powodują wypłukiwanie kanałów.

Transformator piecowy z układem kanałów może być wykonany jako jedno-, dwu- lub wielofazowy.

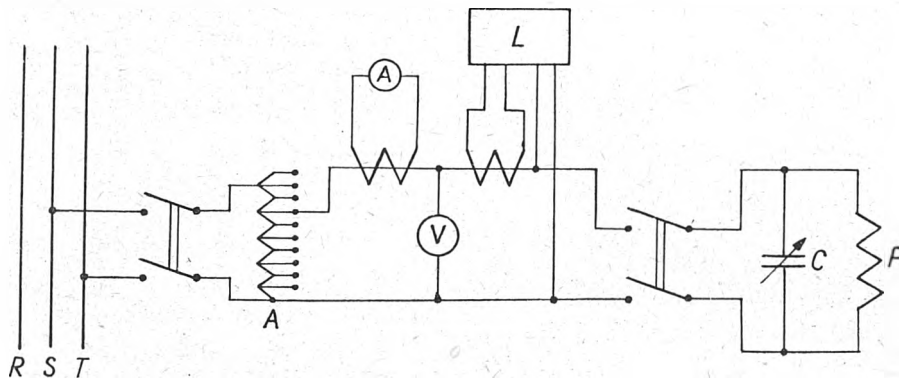
Piece na miedź, a zwłaszcza na aluminium odznaczają się niewielkim  $\cos \varphi$  (0,4—0,5). Dla jego poprawy dajemy równolegle do uzwojenia pierwotnego pieca baterię kondensatorów.

Zasilanie pieców indukcyjnych rdzeniowych. Piece indukcyjne rdzeniowe są zasilane z reguły z sieci prądu zmiennego o częstotliwości 50 okr./sek. i o napięciu 220, 380 lub 500 V. Do sieci zasilającej przyłączamy piec jednofazowo bezpośrednio lub w układach specjalnych, albo w układzie Scotta, albo wprost trójfazowo — zależnie od wykonania samego pieca.

Przy kilku jednakowych jednofazowych piecach w liczbie  $2n$  łączymy je w układ Scotta, w liczbie zaś  $3n$  przyłączamy je równomiernie na 3 fazy sieci.

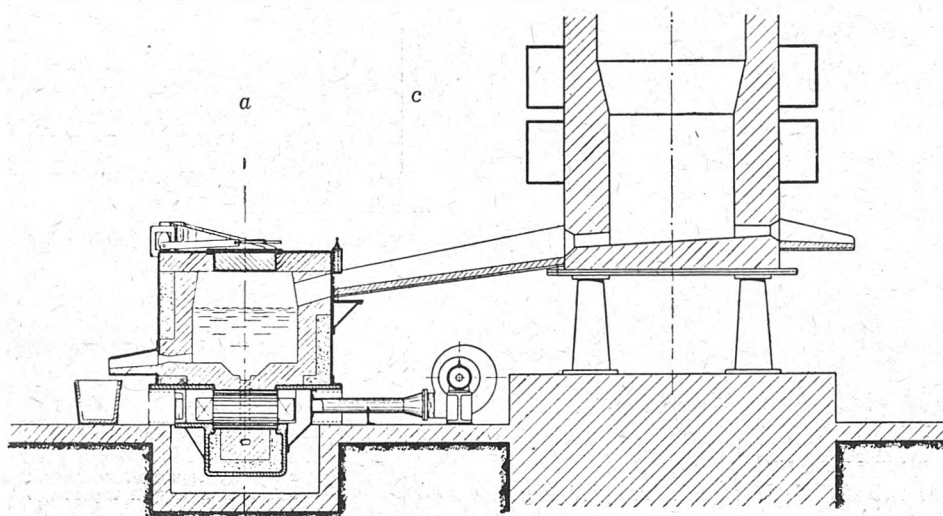
Regulacja mocy. Moc pieca indukcyjnego rdzeniowego jest proporcjonalna do napięcia zasilającego w drugiej potęgze. Stąd też najłatwiej i najskuteczniej można regulować moc pieca przez zmianę napięcia zasilającego. Zmiany napięcia dokonywa się w granicach od 17—30 V aż do 1,1 napięcia znamionowego pieca za pomocą autotransformatora regulacyjnego nastawianego bez obciążenia. Ideowy układ instalacji piecowej podaje rys. 10.

Uruchamianie pieca. Ażeby uruchomić rdzeniowy piec indukcyjny należy najpierw zalać kanały przegrzany metal dla uzyskania zamkniętego obwodu wtórnego, a następnie włączyć prąd i rozpocząć grzanie. Przy uruchamianiu pieca lub w razie przeszkody w zasilaniu należy wylać metal z kanałów, by nie dopuścić do jego skrzepnięcia, które powoduje konieczność rozbijania obmurowania pieca.



Rys. 10. Schemat ideowy instalacji pieca jednofazowego

- RST 3-fazowa sieć zasilająca o częstotliwości 50 okr./sek.
- A autotransformator regulacyjny do regulacji mocy pieca
- P piec indukcyjny 1-fazowy
- C bateria kondensatorów do poprawy współczynnika mocy
- L licznik



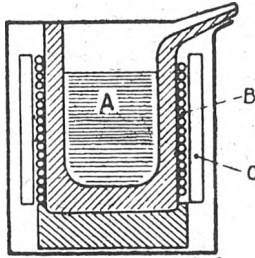
Rys. 11. Układ „duplex” do rafinowania żeliwa i stali

- a piec indukcyjny do rafinowania żeliwa
- b piec płomieniowy, w którym żeliwo roztopia się
- c rynna do przelewania roztopionego żeliwa



**Zastosowania.** Piece indukcyjne rdzeniowe znalazły następujące zastosowania: a) topienie aluminium i jego stopów, magnezu i jego stopów, miedzi, mosiądzu, brązu, nowego srebra, cynku itd. zarówno w postaci złomu, jak i odpadków; b) rafinowanie żeliwa i stali w procesie „duplex“.

W procesie „duplex“ żeliwo lub stal, otrzymane uprzednio w stanie płynnym w piecu płomieniowym np. kopulakowym, przelewa się do pieca indukcyjnego, gdzie materiały te ulegają przegrzaniu i ulepszeniu (rys. 11). W



Rys. 12. Piec indukcyjny bezrdzeniowy

wyniku następuje znaczna poprawa własności mechanicznych odlewów z surówki; przez jej przegrzanie w piecu indukcyjnym wytrzymałość mechaniczna wzrasta o ok. 20%.

**Dane eksploatacyjne.** Współczynnik mocy  $\cos \varphi$  jest rzędu

- 0,4 — 0,5 przy topieniu aluminium,
- 0,6 — 0,85 przy topieniu mosiądzu,
- ok. 0,8 przy topieniu stopów niklowych.

Wartości większe  $\cos \varphi$  dotyczą pieców o mniejszym wsadzie. Sprawność jest rzędu 0,65 — 0,80 i zależy od częstotliwości zasilania.

**Zużycie energii:**

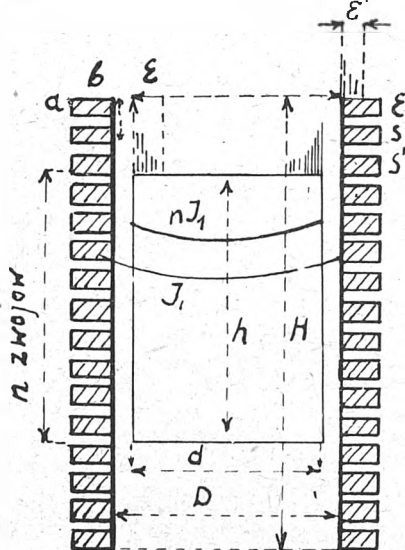
- 250 — 175 kWh/t dla mosiądzu,
- 445 — 400 „ dla aluminium,
- 50 — 70 „ dla żeliwa (rafinacja).

Liczby większe dotyczą pieców mniejszych, a więc jednostki duże pracują ekonomiczniej.

**3. Piece bezrdzeniowe.**

**Zasada działania, opis budowy i pracy**

Piec indukcyjny bezrdzeniowy jest przedstawiony na rys. 12. Składa się on z tygla wypełnionego wsadem metalowym (a), izolacji cieplnej między tygłem a uzwojeniem (b), uzwojenia pierwotnego (c) i obudowy (d). Traktując



Rys. 13. Obliczanie wpływu naskórkowości na sprawność pieca bezrdzeniowego

wsad metalowy jako zwarte uzwojenie wtórne, możemy piec bezrdzeniowy uważać za transformator powietrzny bez rdzenia żelaznego, o zwartym obwodzie wtórnym.

**Sprawność.** Dla danego pieca sprawność będzie zależała od rodzaju topionego wsadu, a ściślej od oporu czynnego materiału wsadu. Tę zależność komplikuje zjawisko naskórkowości. Rozważmy dla uproszczenia wsad walcowy (rys. 13). Wskutek wzajemnego oddziaływania prądu we wsadzie pola magnetycznego tego prądu i pola magnetycznego prądu wzbudnika występuje zjawisko nierównomiernego rozkładu prądu w walcu, a mianowicie zwiększenia gęstości prądu przy powierzchni i zmniejszenia jej w części środkowej walca. W wyniku daje to zmianę oporu czynnego wsadu. Podobne zjawisko występuje w uzwojeniu wzbudnika. Wzrost oporu wsadu i wzbudnika można ująć rachunkowo w sposób uproszczony, zakładając, że prąd rozkłada się równomiernie w pewnej warstwie ograniczonej powierzchnią zewnętrzną i jedną z równoległych do niej powierzchni walcowych, oddalonych od niej o  $\epsilon$  w głąb walca. Tę wielkość  $\epsilon$  nazywamy „głębokością przenikania prądu“. Obliczyć ją można bądź ze wzoru klasycznego Steinmetza:

$$(1) \quad \epsilon = 50,3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (\text{cm})$$

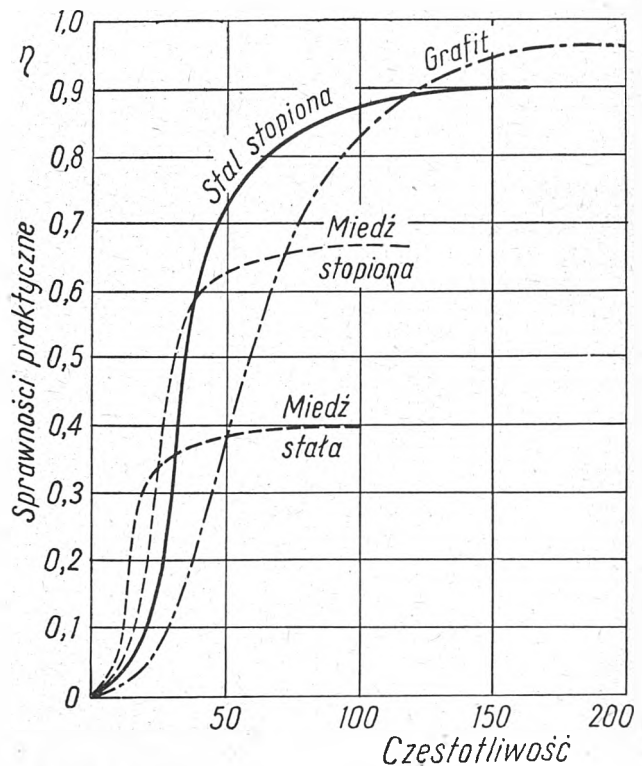
bądź ze wzoru Levasseur'a, dającego lepsze przybliżenie:

$$(2) \quad \epsilon = a \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{\sqrt[6]{\left(\frac{3}{4}\right)^6 + \nu^6 + \frac{1}{4}}}} \right)$$

$$\text{gdzie } \nu = \pi a \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

w tym  $a$  — promień walca w cm,  $\rho$  — opór właściwy materiału w  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ,  $\mu$  — przenikalność magnetyczna materiału,  $f$  — częstotliwość prądu.

Ze wzorów (1) i (2) wynika, że oporność wsadu i wzbudnika, które zależą od  $\epsilon$ , będą zależne od częstotliwości,



Rys. 14. Zależność sprawności pieca bezrdzeniowego od częstotliwości

a więc i sprawność elektryczna pieca, zależna od tych oporów, będzie zależna od częstotliwości. Rys. 14 przedstawia tę zależność. Charakterystyczne jest silne zagięcie wszystkich krzywych lub inaczej mówiąc, istnienie pewnej częstotliwości („częstotliwość zagięcia“), poniżej której sprawność pieca szybko spada. Sprawność pieca zależy w znacznym stopniu od stosunku  $\frac{d}{\epsilon}$ , tj. stosunku średnicy wsadu do głębokości przenikania. Jak wskazują pomiary,

najlepszą sprawność osiąga się przy  $3 \leq \frac{d}{s} \leq 4$ .

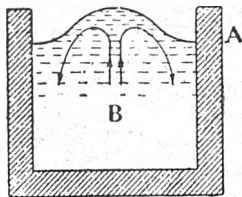
Współczynnik mocy. Współczynnik mocy pieca indukcyjnego bezrdzeniowego jest b. niewielki; jego przeciętne wartości wahają się od 0,1 do 0,2, czasem dochodzą do 0,3. Stanowi to główną wadę pieca bezrdzeniowego. Współczynnik mocy maleje ze wzrostem częstotliwości, w praktyce należy więc stosować najmniejsze częstotliwości odpowiadające dobrym sprawnościom.

Mały współczynnik mocy powoduje znaczne obciążenie zasilającego układu prądu biernego, a więc znacznie powiększa jego rozmiary. Aby tego uniknąć, stosuje się kompensację  $\cos \varphi$  przez przyłączenie równolegle do pieca kondensatorów stałych o tak dobranej pojemności, by w układzie kondensatory — cewka wzbudnikowa osiągnąć rezonans prądów, tj. by układ ten posiadał wypadkowy współczynnik mocy równy 1. Jeżeli  $L$  jest całkowitą indukcyjnością pieca,  $\omega = 2\pi f$  pulsacją prądu zmiennego, pojemność baterii  $C$  winna być

$$(3) \quad C = \frac{1}{\omega^2 L}.$$

Ponieważ  $L$  zmienia się silnie w czasie grzania wsadu, zwłaszcza przy grzaniu stali i niklu (w punkcie Curie'go tracą one własności ferromagnetyczne), więc bateria kondensatorów musi mieć regulowaną pojemność.

Mieszanie elektromagnetyczne. Podobnie jak w piecach rdzeniowych, w piecu bezrdzeniowym pod wpływem sił elektrodynamicznych następuje mieszanie



Rys. 15. Mieszanie elektromagnetyczne płynnego wsadu

płynnego wsadu, jako jeden ze skutków oddziaływania wzajemnego prądu we wsadzie i strumienia magnetycznego wzbudnika (rys. 15).

Zjawisko mieszania występuje tym silniej, im większy jest prąd we wsadzie i im prąd ten jest otrzymany przy większym strumieniu magnetycznym, a więc przy niższej częstotliwości prądu zasilającego.

Piece na dwie częstotliwości. Jeżeli metalurgia wymaga, by w piecu, który z elektrycznego punktu widzenia musi być zasilany prądem o dość wielkiej częstotliwości, następowało bardzo silne mieszanie płynnego wsadu, piec zasila się dwoma prądami: roboczym (grzejnym) o częstotliwości wielkiej i mieszającym 3-fazowym o częstotliwości 50 okr./sek. Ten system ma tę dodatkową zaletę, że z chwilą zakończenia procesu metalurgicznego, wymagającego silnego mieszania, można wyłączyć prąd niskiej częstotliwości i uspokoić znacznie wsad.

Topienie odpadków. Jednym z zastosowań, do których piece indukcyjne szczególnie nadają się, jest topienie złomków, wiórów, ścinek itp. odpadków metalowych. Ze względu na warunek dobrej sprawności ( $3 \leq \frac{d}{s} \leq 4$ ,

gdzie  $d$  oznacza wielkość kawałków metalu) dla każdego rodzaju topionych odpadków będzie istnieć właściwa częstotliwość zasilania. Ponieważ w miarę topienia wsadu kawałkowego następuje bardzo znaczna zmiana warunków elektrycznych pieca, należy przewidzieć regulację mocy dla dostosowania jej do potrzeb pieca.

Nagrzewanie pośrednie. Piec indukcyjny bezrdzeniowy może być używany do nagrzewania i topienia materiałów nieprzewodzących, umieszczonych w tyglu przewodzącym. Wówczas ciepło wytworzone w tyglu w sposób pośredni przenika do materiału grzanego. Na tym też polega słaba strona tej metody w porównaniu z pojemnościowym grzaniem dielektryków. Na jej dobro można jednakże zapisać to, że nadaje się szczególnie do nagrzewania (w sposób znacznie korzystniejszy niż w jakimkolwiek urządzeniu płomieniowym, gazowym itp.) dielektryków\*) o małej stratności dielektrycznej ( $\epsilon \operatorname{tg} \delta \leq 0,05$ ),

\*) Ciepło wytwarza się tu w tyglu stopniowo, a temperatura dielektryku wzrasta od temperatury otoczenia, przez co grzanie jest równomierniejsze.

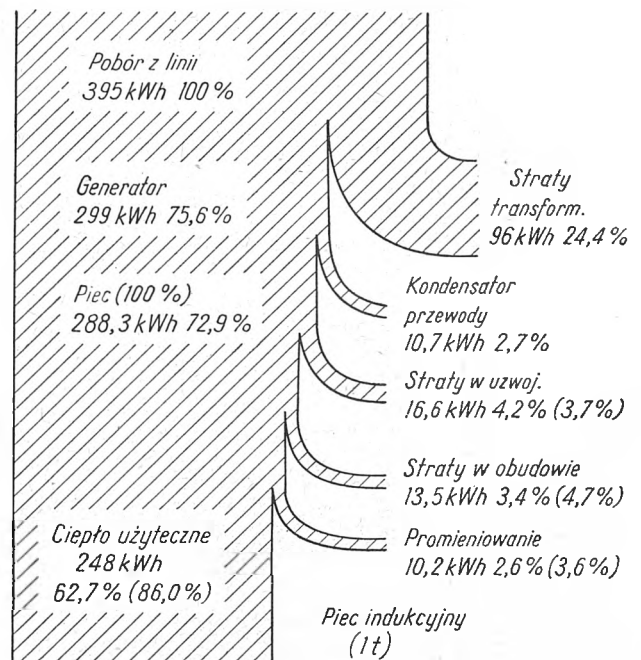
dla których grzanie metodą pojemnościową jest niedogodne.

Do grzania pośredniego używamy tygli z grafitu — dobrego przewodnika prądu elektrycznego i bardzo dobrego materiału ogniotrwałego.

Piece z tygłem ferromagnetycznym. Do topienia łatwotopliwych stopów, np. stopu drukarskiego, buduje się piece indukcyjne typu bezrdzeniowego z tygłem żelaznym. Dzięki temu urządzenie może być zasilane prądem o normalnej częstotliwości, wykazując wtedy dobrą sprawność i dużą szybkość grzania. Nadto urządzenie jest tanie. Wadą jego jest mały  $\cos \varphi$  i konieczność stosowania kondensatorów celem doprowadzenia współczynnika mocy do 1.

Temperatura pracy pieca nie może przekroczyć punktu Curie'go dla żelaza.

Bilans cieplny. Bilans cieplny pieca indukcyjnego na 1 t wsadu o mocy 300 kW, częstotliwości zasilania



Rys. 16. Bilans cieplny pieca indukcyjnego bezrdzeniowego

500 okr./sek., napięciu 2400 V i zużyciu 800 kWh/t żelaza podaje rys. 16.

Budowa. Piece indukcyjne bezrdzeniowe są budowane z zasady jako jednofazowe, co jest możliwe przy zasilaniu ich z własnych źródeł energii.

Rys. 17, 18 i 19 podają różne przykłady rozwiązania konstrukcyjnego pieców bezrdzeniowych.

Regulacja mocy. Moc oddana do wsadu jest proporcjonalna do kwadratu napięcia zasilającego, a nadto zależna od częstotliwości zasilania. Regulacja mocy użytecznej pieca odbywa się więc przez zmianę napięcia lub częstotliwości, zależnie od systemu zasilania pieca.

#### Urządzenia zasilające

Do zasilania pieców indukcyjnych bezrdzeniowych stosuje się przetwornice maszynowe, impulsatory iskrowe i rżęciowe, przemienniki rżęciowe, generatory lampowe.

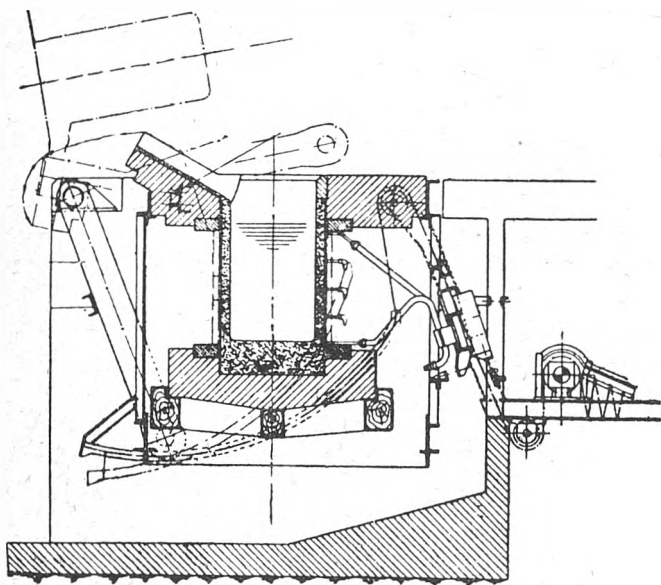
Przetwornica maszynowa wielkiej częstotliwości składa się z silnika napędowego (synchroniczny, asynchroniczny, prądu stałego), generatora 1-fazowego w. cz. i wzbudnicy, zamocowanych na wspólnym wale, a nierzadko i we wspólnej obudowie. Przetwornica taka pracuje normalnie przy stałej częstotliwości, posiada natomiast dużą łatwość regulacji napięcia, stąd moc pieca regulujemy zmianą napięcia przetwornicy.

Przetwornice buduje się na napięcia do 6 kV, częstotliwości do 10 000 okr./sek. i moce do 2500 kW. Sprawność ich jest rzędu 85% przy pełnym obciążeniu.

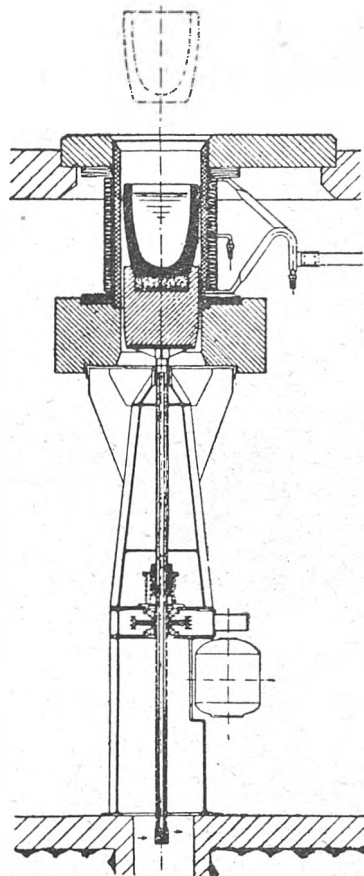
Rys. 20 podaje bardzo uproszczony schemat instalacji pieca bezrdzeniowego.

Impulsatory iskrowe i rtęciowe. Urządzenie z impulsatorem składa się z transformatora zasilającego wysokiego napięcia (do 50 kV), obwodu drgającego (cewka pieca — kondensatory) i iskiernika rtęciowego lub metalowego (tarczowego). Impulsatory pracują

wanych jako generatory jednofazowe drgań wielkiej częstotliwości, przemiennik rtęciowy jest wyposażony w ekrany wewnętrzne z otworami, okresowo polaryzowane, działające jako siatki. Nowością w tym przemienniku jest to, że do zasilania pieca uzyskuje się transformację na prądy



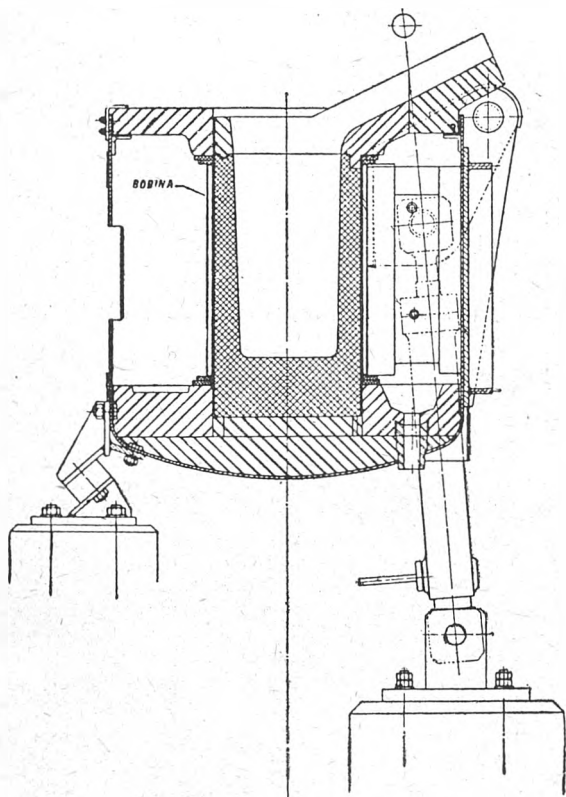
Rys. 17



Rys. 19

Rys. 17, 18 i 19. Różne przykłady rozwiązania konstrukcyjnego pieców bezrdzeniowych

zmiennej wielkiej częstotliwości, nałożone w jednym jednofazowym układzie drgań: cewka pieca, kondensatory, wszystkie 3 fazy prądu zmiennego zasilającego przemien-

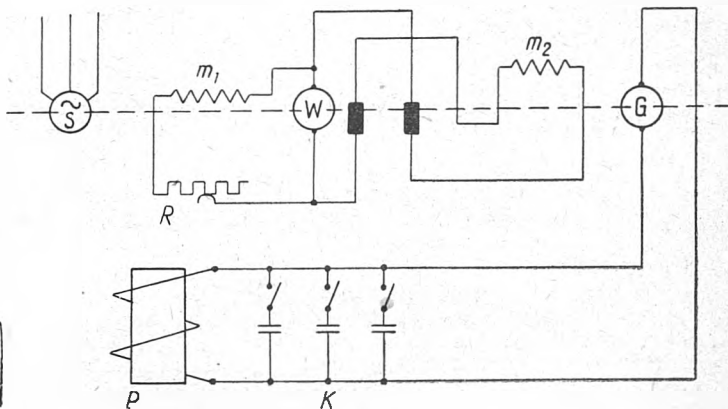


Rys. 18

w układach 1- i 3-fazowych. Nadają się do uzyskania mocy niewielkich, rzędu kilku lub co najwyżej kilkudziesięciu kilowatów, przy częstotliwościach  $10^4$ — $10^5$  okr./sek. Drgania są typu tłumionego. Impulsatory nadają się raczej do urządzeń laboratoryjnych.

Regulacja mocy w urządzeniach z impulsatorem odbywa się przez zmianę napięcia zasilającego, zmianę długości przerwy iskrowej lub zmianę szybkości wirowania tarczy metalowej.

Przemienniki rtęciowe. Są one najnowszym źródłem zasilania pieców indukcyjnych średniej częstotliwości. Ich budowa jest wyprowadzona z przemienników używanych w trakcji elektrycznej. Podobnie do triod, uży-



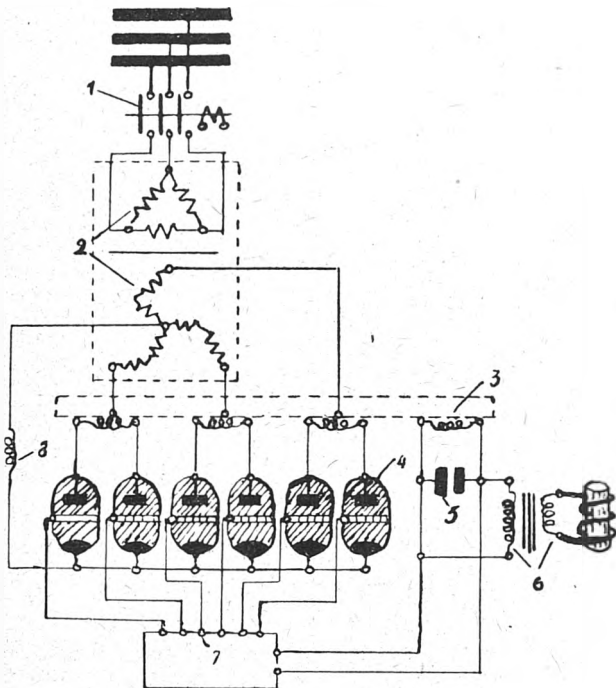
Rys. 20. Schemat instalacji pieca bezrdzeniowego

- S silnik 3-fazowy napędzający przetwornicę
- W wzбудnica
- $m_1$  uzwojenie magnesów wzбудnicy
- R opornik do regulacji napięcia przetwornicy
- G prądnicza wielkiej częstotliwości
- $m_2$  uzwojenie magnesów prądniczy
- K kondensatory regulowane do poprawy współczynnika mocy
- P piec

nik. Przemiennik odznacza się łatwością w regulowaniu otrzymywanej wielkiej częstotliwości — przez zmianę wielkości charakterystycznych wtórnego obwodu drgań. W ten sposób dla każdego wsadu możemy otrzymać największą sprawność przy bardzo dużej (zbliżonej do 1) wartości współczynnika mocy, gdyż przemiennik pracuje przy rezonansie prądów. Nie zachodzi tu więc koniecz-



ność stosowania b. dużych baterii kondensatorów do kompensacji mocy biernej pieca, jak to bywa przy przetwornicach maszynowych. Osiągane moce są rzędu 1000 kVA przy częstotliwościach do 3000 okr./sek. i napięciach rzędu 1000 V. Sprawność przemiennika przy obciążeniu powyżej 50% obciążenia znamionowego utrzymuje się w granicach



Rys. 21. Układ przemiennika rtęciowego

- 1 wyłącznik główny
- 2 transformator zasilający anodowy 3-fazowy
- 3 transformator 4-uzwojeniowy katodowy
- 4 lampy rtęciowe (przełączniki)
- 5 kondensatory
- 6 transformator wielkiej częstotliwości
- 7 szafa rozrządcza

92—94%, jest więc o kilkanaście procentów lepsza od sprawności przetwornicy maszynowej.

Układ przemiennika pokazuje rys. 21.

Generatory lampowe\*). Generatory te są wy-

konywane na częstotliwość kilkuset tysięcy herców, o mocach do kilkuset kilowatów. Służą głównie do zasilania pieców do topienia metali szlachetnych (złoto, platyna, rod itp.). Używa się ich też do topienia stali. Jako przykład instalacji takiej może służyć urządzenie piecowe Philipsa w Eidhoven (Holandia). Moc lampy (emisyjna) 250 kW, napięcie 14 kV, obniżane przez transformator do 5 kV. Grzanie włókna 15 kW. Straty w uzwojeniu pierwotnym 30 kW. Zużycie energii 1,1 kWh na 1 kg stali.

#### Zastosowanie pieców bezrdzeniowych

Piecy bezrdzeniowe znalazły zastosowanie:

- a) w metalurgii stali do topienia, odsiarczania, odosfrowania, topienia w próżni, wyrobu stali stopowych wysokogatunkowych;
- b) w metalurgii niklu do topienia niklu, wyrobu stopów Ni-Cr, Ni-Cu, Ni-Zn-Cu;
- c) w metalurgii metali szlachetnych do topienia i wyrobu stopów ze srebra, złota, platyny, irydu i innych.

#### Zużycie energii

Zużycie energii zależne od mocy i wielkości urządzenia wynosi od 550 do 800 kWh na tonę stali w piecach zasilanych przetwornicami maszynowymi; w piecu zasilanym generatorami lampowymi — 1100 kWh/t.

W sprawie zużycia energii w piecach zasilanych przemiennikami rtęciowymi brak danych.

#### LITERATURA

1. Levasseur A. L'Électrochimie et l'Électrometallurgie, t. II. Paris, 1947
2. Farbmán S. A. i Kołobniew I. F. Indukcyjny piecy dla pławki miedzi i spawów. Moskwa, 1949
3. Sabaniej P. F. Raszczot watnogo soprotiwlenja kanała indukcyjnojj piecy z żelaznym sjerdiecznikom. Promysl. Energiet., 1948, nr 10
4. Sch wedler U. Rozwój i stan obecny pieców indukcyjnych niskiej częstotliwości do stopów miedzi, cynku i żelaza. Elektrowärme, 1940, nr 8
5. La fusion des déchets d'aluminium dans le four à l'induction à basse fréquence. Electricité, 1948, nr 140
6. Hennicke & Schneider. Die Entwicklung eines neuen Hochleistung-Niederfrequenz-Induktionsofens zum Schmelzen von Aluminiumlegierungen. Metallwirtschaft, 1944, nr 9/13
7. Schneider P. Das Erschmelzen von Aluminium-Gusslegierungen in neuartigen Niederfrequenz-Induktionsöfen. Aluminium, 1943
8. „Russberichte“, roczniki 1933, 1934, 1935, 1936, 1940
9. Russ. Elektrischer Ofen zum Schmelzen von Metallen und Legierungen. ETZ, 1921, nr 51
10. Beinporad L. Sviluppo del forno ad induzione senza nucleo. L'Elettrotecnica, 1948, 10 i 11
11. Łozinski M. G. Powierzchnostnaja zakałka i indukcyjny nagrzew stali

## VII

# Indukcyjne nagrzewanie powierzchniowe prądami wielkiej częstotliwości

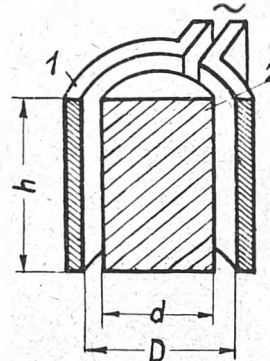
RYSZARD SICIŃSKI

Treść. Ogólne zasady metody nagrzewania indukcyjnego prądami wielkiej częstotliwości. Opis urządzeń zasilających i ich zastosowanie. Opis urządzeń grzejnych, rozwiązania konstrukcyjne. Przykłady zastosowań metody oraz jej zalety w stosunku do innych metod.

### 1. Uwagi ogólne.

Nagrzewanie powierzchniowe prądami wielkiej częstotliwości jest jedną z metod szeroko stosowanych do obróbki cieplnej. Metoda ta jest oparta na wyzyskaniu zjawiska naskórkowości. Prąd zmienny płynący w przewodniku nie rozkłada się równomiernie w całym jego przekroju, gdyż elementy przewodnika leżące bliżej jego powierzchni są skojarzone z mniejszym strumieniem magnetycznym, a zatem mają mniejszą oporność pozorną, wobec czego gęstość prądu w warstwie powierzchniowej jest większa niż w warstwach położonych bliżej osi przewodnika. Te głębsze warstwy będziemy w dalszym opisie nazywać rdzeniem. Taki rozkład prądu w przewodniku powoduje zmniejszenie jego indukcyjności i wzrost jego oporności rzeczywistej. Zjawisko naskórkowości jest więc źródłem dodatkowych strat i pod takim kątem widzenia jest rozpatrywane w większości dziedzin elektrotechniki, natomiast grzejnictwo elektryczne korzysta z tego zjawiska jako ze źródła mocy użytkowej.

Jeżeli wzbudnik 1 przedstawiony na rys. 1 włączymy na napięcie zmienne, to prąd płynący w jego zwojach wytworzy zmienne pole magnetyczne, które z kolei wzbudzi prądy



Rys. 1. Przekrój urządzenia grzejnego do indukcyjnego nagrzewania powierzchniowego  
1 wzbudnik  
2 wsad

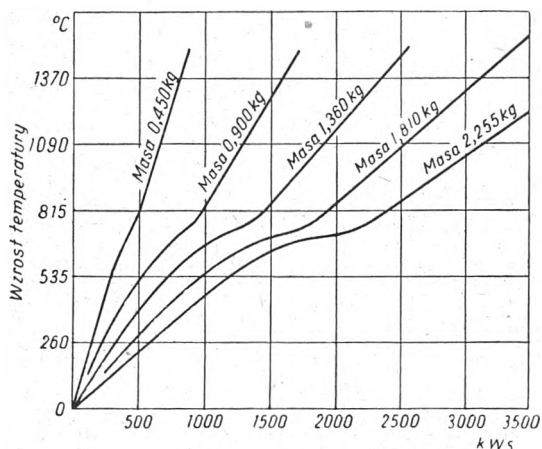
\*) Budowa generatorów lampowych omówiona jest w artykule mgr inż. T. Skrzypka pod tyt. „Grzejnictwo pojemnościowe“, zamieszczonym w niniejszym zeszycie. (Przyp. red.)

wirowe we wsadzie 2. Wskutek zjawiska naskórkowości prąd indukowany we wsadzie rozłoży się w jego przekroju tak, jak podano wyżej, to znaczy gęstość prądu, największa w warstwie powierzchniowej, będzie malała w kierunku rdzenia wsadu. Oprócz zjawiska naskórkowości, które ma decydujący wpływ na rozkład prądu, występuje jednocześnie drugie zjawisko tego samego rodzaju, a mianowicie zjawisko zbliżenia. Polega ono na tym, że linie prądu we wzbudniku i wsadzie usiłują zająć takie położenie, aby strumień rozproszenia był najmniejszy, skutkiem czego następuje dalszy wzrost gęstości prądu w warstwach powierzchniowych wzbudnika i wsadu. Dla uproszczenia rozważań zakłada się, że prąd indukowany we wsadzie płynie wyłącznie w jego warstwie powierzchniowej o grubości  $\varepsilon$  i jest w niej rozłożony równomiernie. Grubość tej warstwy można obliczyć z przybliżonego wzoru:

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_2}{\mu \cdot f}} \quad (1)$$

gdzie  $\varepsilon$  — głębokość przenikania prądu,  
 $\rho_2$  — oporność właściwa wsadu,  
 $\mu$  — przenikalność magnetyczna wsadu.

Prądy indukowane we wsadzie wywiązują w nim ciepło Joule'a; ponieważ w warstwie powierzchniowej  $\varepsilon$  gęstość prądu jest największa, warstwa ta będzie grzana w naj-



Rys. 2. Nagrzewanie indukcyjne stali węglowej

większym stopniu; dalsze warstwy wsadu w kierunku rdzenia są grzane przeważnie przez przewodnictwo cieplne; ponieważ czasy grzania przy omawianej metodzie są bardzo krótkie, rdzeń wsadu w tym czasie osiąga temperaturę dużo niższą niż warstwa powierzchniowa.

W odniesieniu do ciał ferromagnetycznych prądy wirowe nie są jedynym źródłem ciepła; drugim źródłem jest zjawisko histerezy magnetycznej. Energia cieplna wywiązana

ści magnetycznej  $\mu$  maleje gwałtownie i staje się równa jedności. Wynikiem tego są przebiegi krzywych nagrzewania na rys. 2.

Wywiązywanie się ciepła bezpośrednio we wsadzie jest istotną cechą odróżniającą metodę nagrzewania powierzchniowego prądami wielkiej częstotliwości od innych metod nagrzewania materiałów przewodzących.

Drugą istotną cechą tej metody jest możliwość ześrodkowania energii cieplnej w określonej części wsadu, jak to wskazuje rys. 3, przedstawiający warstwę nagrzaną stałego walca 1, umieszczonego w jednozwojowym wzbudniku 2;  $\delta_1$  pokazuje kształt warstwy nagrzanej nieruchomego walca,  $\delta_2$  — kształt warstwy nagrzanej obracającego się walca.

Moc wydzielona we wsadzie wyraża się wzorem

$$P_2 = \frac{2\pi^2 d \cdot I^2}{h} \sqrt{\rho_2 \mu f} \quad (2)$$

gdzie  $d$  — średnica wsadu,  
 $h$  — wysokość wsadu równa wysokości wzbudnika,  
 $f$  — częstotliwość,  
 $I$  — prąd indukowany we wsadzie.

Sprawność wzbudnika (stosunek mocy wydzielonej we wsadzie do mocy przekazanej z generatora do wzbudnika) wyraża się następującym przybliżonym wzorem:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{D}{d} \sqrt{\frac{\rho_1}{\mu \rho_2}}} \quad (3)$$

gdzie  $D$  — średnica wewnętrzna wzbudnika,  
 $\rho_1$  — oporność właściwa wzbudnika,  
 $\eta$  — sprawność.

Z podanych wzorów można wyciągnąć następujące wnioski:

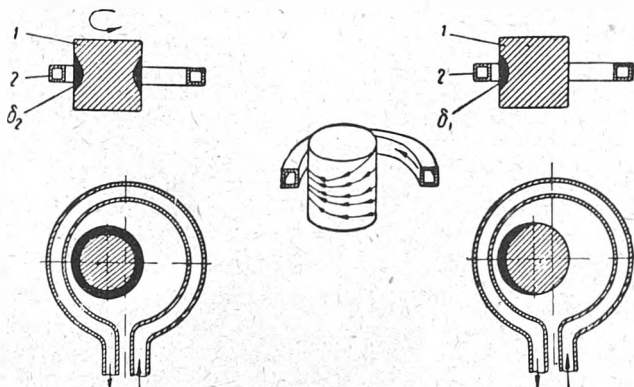
a) Wzór (1) wskazuje, że grubość warstwy powierzchniowej  $\varepsilon$  maleje ze wzrostem częstotliwości; stąd wniosek, że dla wsadów o małym przekroju oraz we wszystkich innych wypadkach, w których pożądana jest mała grubość warstwy nagrzanej, należy dobrać częstotliwości większe.

b) Wzór (2) wskazuje, że jeżeli nawet założyć, iż prąd generatora jest stały, to jednak wskutek wzrostu  $\rho_2$  wraz ze wzrostem temperatury wsadu rośnie moc  $P_2$ . Dla materiałów magnetycznych moc ta osiąga maximum przy temperaturze Curie, a następnie maleje wskutek zmiany współczynnika przenikalności magnetycznej  $\mu$ . Stąd wynika konieczność regulacji mocy.

c) Wzór (3) wskazuje, że sprawność wzbudnika maleje ze zmniejszeniem się przenikalności magnetycznej, wzrasta ze wzrostem oporności właściwej wsadu w stosunku do oporności wzbudnika i wzrasta ze zmniejszeniem szczytowej  $\frac{D-d}{2}$ . Dla materiałów magnetycznych sprawność, tak samo jak moc, maleje poczynając od punktu Curie wskutek zmniejszenia przenikalności magnetycznej.

Należy zaznaczyć, że wszystkie podane wyżej wzory zostały wyprowadzone dla wsadów o kształcie walca, wobec tego wyniki z nich otrzymane dla wsadów o skomplikowanym kształcie będą odbiegały od wartości, otrzymywanych na drodze doświadczalnej, pozwalają jednak zorientować się, jakiego rzędu wartości mogą osiągać wielkości  $\varepsilon$ ,  $P_2$  i  $\eta$ .

Jak wynika z wyżej podanego opisu zjawisk, omawiana metoda stawia jedno wymaganie w stosunku do wsadu, a mianowicie: musi on być przewodnikiem; stąd wniosek o możliwości stosowania tej metody do grzania metali niemagnetycznych, jak np. aluminium, mosiądz itp., oraz do grzania niemetalu, jak np. węgiel lub szkło, które w wyższych temperaturach staje się przewodnikiem. Wskutek wywiązywania się ciepła bezpośrednio we wsadzie przy doprowadzeniu dostatecznej mocy jednostkowej, która sięga kilku kW na  $\text{cm}^2$  powierzchni wsadu, czas grzania jest krótki — kilka dziesiątych sekundy do kilkunastu sekund zależnie od sposobu zastosowania metody i od wielkości wsadu. Z tego samego powodu przy omawianej metodzie unika się strat na konwekcję i promieniowanie, które występują przy zastosowaniu innych metod; mimo tego sprawność metody w wielu wypadkach nie jest duża, np. dla materiałów niemagnetycznych wynosi ok. 50%.

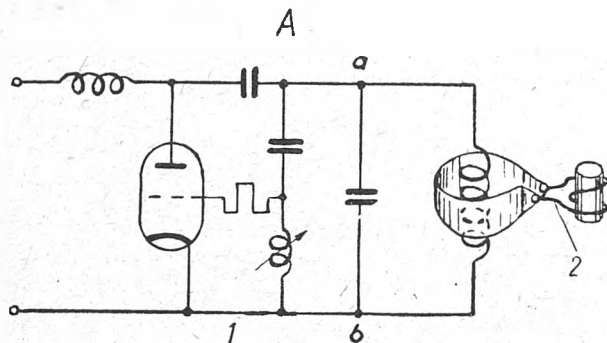


Rys. 3. Nagrzewanie obracającego się walca stalowego

na tej drodze jest jednak dużo mniejsza niż energia cieplna wytworzona przez prądy wirowe; następnie zjawisko histerezy magnetycznej ma znaczenie tylko do chwili, gdy temperatura wsadu osiągnie punkt Curie, gdyż w temperaturach wyższych ciało ferromagnetyczne zachowuje się jak paramagnetyczne, wartość współczynnika przenikalno-

## 2. Ogólny schemat elektryczny urządzenia.

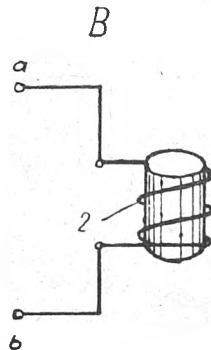
Zasadniczymi częściami urządzenia do nagrzewania powierzchniowego prądami wielkiej częstotliwości (rys 4) są źródła prądu 1 oraz wzбудnik 2; mogą one być połączone jak na rys. 4a za pośrednictwem transformatora,



którego wtórny zwoj jest wykonany z arkusza blachy miedzianej, lub w sposób podany na rys. 4b, to znaczy bezpośrednio. Wzбудnik w tym ostatnim wypadku jest jednocześnie indukcyjnością obwodu drgań generatora. Pierwszy sposób połączenia jest stosowany dla wzбудników jedno- lub kilkuzwojowych, drugi dla wielozwojowych.

wzбудnika powoduje wzrost napięcia na jego zaciskach, wskutek czego mogą nastąpić wyładowania, np. przy spalaniu śladów tłuszczu na wsadzie.

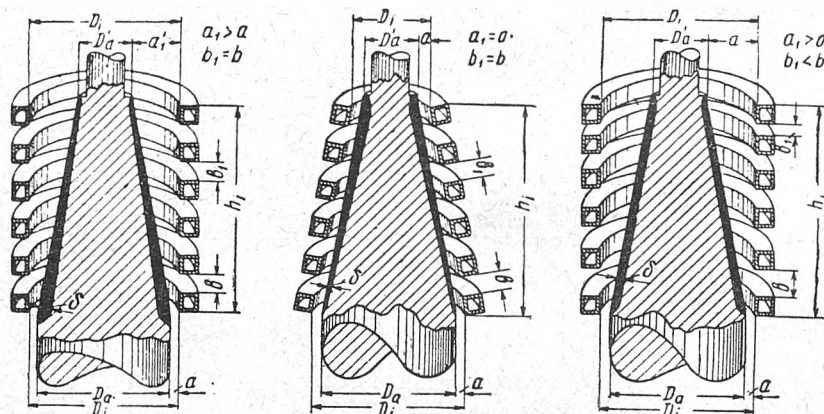
Niebezpieczeństwo wyładowań wzrasta, gdy napięcie między wsadem i wzбудnikiem lub między zwojami wzbud-



Rys. 4. Ogólny schemat elektryczny urządzenia do nagrzewania powierzchniowego

nika osiąga wartości mierzone już w kilowoltach. Ze wzrostem częstotliwości rośnie sprawność wzбудnika, ale jednocześnie rośnie niebezpieczeństwo wyładowań. Zmniejszenie indukcyjności wzбудnika otrzymuje się przez zmniejszenie liczby zwojów, lub przez zmniejszenie szczeliny między wsadem i wzбудnikiem. Ten ostatni sposób

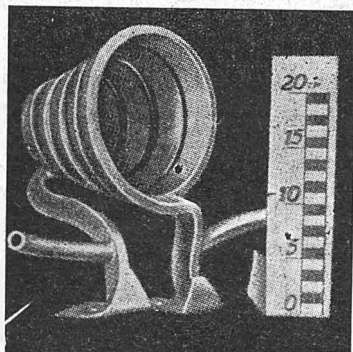
Rys 5. Kształt warstwy nagrzanej ciała stożkowego w zależności od kształtu wzбудnika



Urządzenie posiada poza tym wyposażenie dodatkowe: kondensatory, liczniki, samoczynne regulatory czasu oraz wyposażenie do doprowadzenia wsadu, do ulokowania go w określonym miejscu i usuwania po obróbce.

## 3. Wzбудnik.

Wzбудnik jest obok źródła zasilającego główną częścią urządzenia grzejnego. Ponieważ wzбудnik przewodzi prądy wielkiej częstotliwości, występują w nim tak samo jak we wsadzie zjawiska naskórkowości i zbliżenia; stąd gęstości prądów w warstwie powierzchniowej, którą stanowi



Rys. 6. Widok zewnętrzny wielozwojowego wzбудnika stożkowego

warstwa najbardziej zbliżona do wsadu, są b. duże. Pod względem kształtu i tworzywa wzбудnik jest cewką jedno- lub wielozwojową, wykonaną z miedzi elektrolitycznej. Przy opracowaniu wzbudnika należy się starać o całkowite usunięcie zbędnej indukcyjności, która zmniejsza współczynnik mocy i sprawność. Wzrost indukcyjności

zmniejsza zakres stosowania wzbudnika oraz zaostża wymagania co do dokładności umieszczania wsadu we wzbudniku, a więc powoduje podrożenie dodatkowych urządzeń mechanicznych.

Kształt wzbudnika musi być starannie opracowany, zależnie od wymagań i warunków obróbki, do której jest przewidziany. Od kształtu wzbudnika zależy rozkład prądu we wsadzie, a zatem wielkość, kształt i położenie nagrzewanej warstwy wsadu.

Rys. 5, 6 i 7 podają kształt warstwy nagrzewanej, zależnie od kształtu wzbudnika oraz widok zewnętrzny wzbudnika stożkowego.

Ponieważ prąd wielkiej częstotliwości płynie w warstwie powierzchniowej, więc przy niewielkich nieregularnościach kształtu wsadu można stosować wzbudnik o kształcie kołowym. Jeżeli jednak kształt wsadu jest bardzo nieregularny, to należy wzbudnikowi nadać kształty odpowiadające kształtowi wsadu. Rys. 8 podaje rozkład linii prądów wirowych i wydzielanie ciepła w zębach koła zębatego. Rys. 9 podaje konstrukcję wzbudników do nagrzewania cylindrycznych kół zębatach: *a* — wzbudnik gładki cylindryczny, *b* — wzbudnik profilowy, odtwarzający formę koła zębatego.

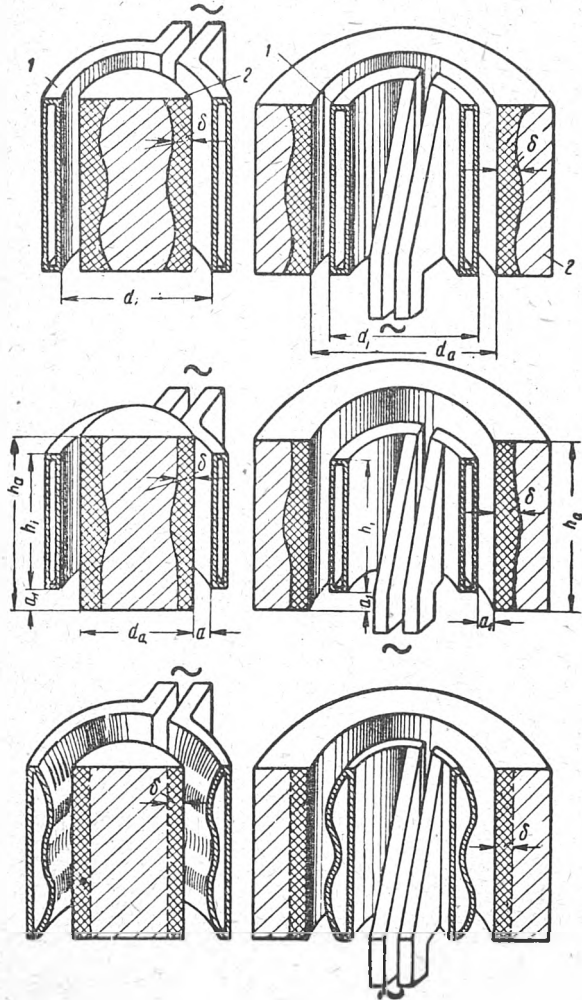
Ponieważ ze wzrostem temperatury rośnie opór  $\rho_1$  wzbudnika, co powoduje zmniejszenie sprawności, więc z tego powodu jak i ze względów mechanicznych wzbudnik musi być chłodzony. W celu chłodzenia wzbudniki są wykonywane z rur, a wzbudniki wykonywane z masywnych prętów profilowych są zaopatrzone w specjalne rury chłodzące umieszczone w odpowiednich wgłębieniach. Odległość takiej rury chłodzącej od wewnętrznej powierzchni wzbudnika rośnie ze wzrostem czasu nagrzewania i dla czasów od 0,5—5 sek. zawiera się w granicach 10,5—33 mm.

O doborze wzbudnika — jedno- czy wielozwojowego — decyduje zwykle posiadany generator i rodzaj obróbki, która jest do wykonania. Natomiast kształt wsadu i obszar



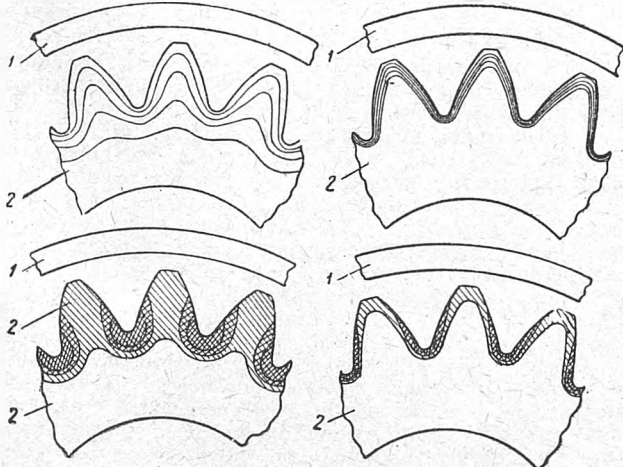
grzania rozstrzygają o najwłaściwszej konstrukcji wzbudnika.

Jako izolację cieplną i elektryczną pomiędzy wzbudnikiem i wsadem stosuje się często szkło ze względu na dodatkową korzyść, jaką jest możliwość utrzymania stałej odległości wsadu i wzbudnika.



Rys. 7. Wpływ kształtu i wysokości wzbudnika na ukształtowanie warstwy nagrzanej stalowych wsadów — walców i pierścieni

Rys. 10 podaje technologię wykonania (w kolejności operacji) jednozwojowego wzbudnika masywnego.



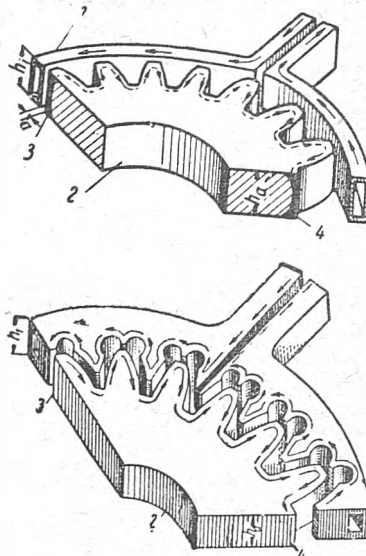
Rys. 8. Rozkład linii prądów wirowych i wydzielanie ciepła w zębach koła zębatego

#### 4. Generatory.

Jako źródło zasilania przy omawianej metodzie są stosowane trzy rodzaje generatorów: 1) generatory iskrowe,

2) generatory maszynowe wirujące, 3) generatory lampowe.

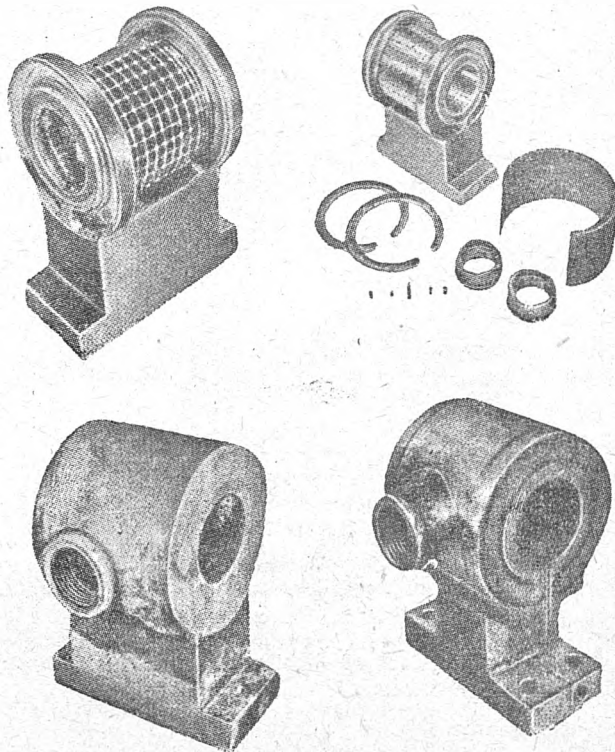
Generatory iskrowe pracują w pasmie częstotliwości 20—500 kHz. Zaletą ich jest prosta i mocna budowa oraz łatwe przystosowanie do rozmaitych prac. Moc tych gene-



Rys. 9. Konstrukcje wzbudników do nagrzewania kół zębatach

ratorów jest ograniczona do 50 kW. Generatory iskrowe wymagają dozoru, sprawność ich dochodzi do 50%.

Zakres częstotliwości generatorów maszynowych wirujących nie wykracza poza 12 kHz; niska stosunkowo częstotliwość ogranicza ich zastosowanie do wsadów o dość



Rys. 10. Technologia wykonania (w kolejności operacji) jednozwojowego masywnego wzbudnika

dużej objętości, przy których przenikanie hartowania poniżej 2 mm lub 3 mm nie jest wymagane. Dla polepszenia współczynnika mocy stosuje się baterie kondensatorów. Moc tych generatorów dochodzi do 1000—1500 kW, a sprawność do 70%.

Generatory lampowe pracują zwykle w pasmie częstotliwości 200—500 kHz oraz rzadziej w pasmie 1—5 MHz. Moce tych generatorów wynoszą od kilku watów

do kilkuset kilowatów. Generatory lampowe nie wymagają kosztownego dozoru, ale są droższe ze względu na wysokie ceny lamp.

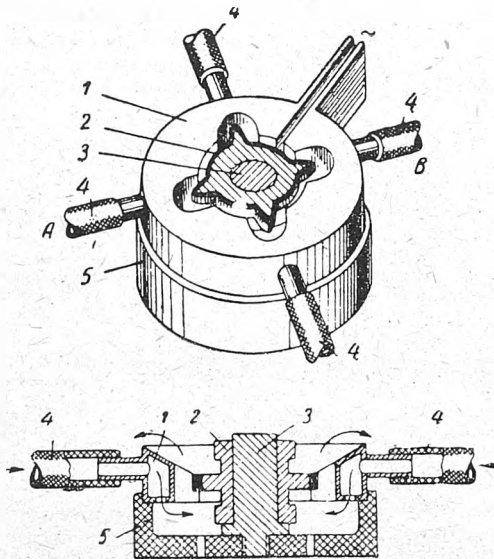
Głębokość przenikania prądów wirowych maleje ze wzrostem częstotliwości, wobec czego częstotliwości poniżej 0,1 MHz są stosowane do procesów, w których chodzi o głębokie przenikanie prądów wirowych, a więc i ciepła; natomiast częstotliwości od 1—5 MHz nadają się dobrze do bardzo małych wsadów i przy bardzo małej głębokości nagrzewania.

Do nagrzewania powierzchniowego prądami wielkiej częstotliwości coraz powszechniej stosuje się generatory lampowe, pozostałe dwa typy stosuje się raczej do pieców indukcyjnych.

Prędkość nagrzewania i głębokości warstwy nagrzewanej są zależne od mocy wyjściowej generatora oraz od częstotliwości prądu. Przy określonej mocy rozporządzałnej można utrzymać prędkość nagrzewania praktycznie tę samą w szerokim zakresie częstotliwości. Zwykle jednak istnieje najodpowiedniejsza częstotliwość, podobnie jak i najodpowiedniejszy generator dla danego zakresu obróbki. Rozwiązuje się ten problem raczej przez używanie urządzenia pokrywającego możliwie szeroki zakres, niż przez opracowywanie generatorów specjalnie do każdego rodzaju pracy.

Podstawą do określenia mocy wyjściowej generatora, potrzebnej dla danego zakresu obróbki, jest wzór określający ilość ciepła, która musi być wytworzona w danej masie, aby jej temperatura wzrosła o pewną liczbę stopni, czyli:

$\text{moc} = \text{masa} \times \text{ciepło właściwe} \times \text{przyrost temperatury}$ .  
Moc doprowadzona na 1 cm<sup>2</sup> obrabianej powierzchni wsadu zawiera się zwykle w granicach 0,5—2 kW/cm<sup>2</sup>. Obciąż-



Rys. 11. Urządzenie do hartowania powierzchniowego gwiazdek łańcucha Galla  
U dołu przekrój przez AB

zenie na 1 cm<sup>2</sup> powierzchni wsadu (powierzchniowe) różnie wraz ze wzrostem głębokości przenikania.

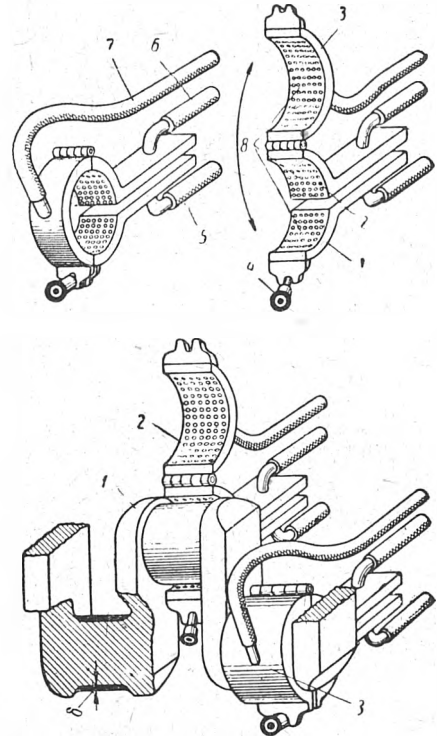
Dla zwiększenia wydajności 1 generator obsługuje kilka stanowisk; wtedy jedno stanowisko jest zasilane prądem, a inne w tym czasie są w stadium ładowania, chłodzenia lub usuwania wsadu.

## 5. Zastosowania.

### a) Hartowanie powierzchniowe wyrobów stalowych

Hartowanie powierzchniowe, do którego omawiana metoda znalazła największe zastosowanie, polega na utwardzeniu cienkiej warstwy przedmiotu hartowanego (wsadu), znajdującej się najbliższej wzbudnika. Grubość tej warstwy ustala się zależnie od kształtu, wymiarów i przewidywanych warunków pracy przedmiotu hartowanego (wsadu). Grubość ta waha się od części milimetra do dziesiątków milimetrów i jest zależna od głębokości nagrzewania wsadu do temperatury hartowania, a więc od głębokości przenikania indukowanych w nim prądów wirowych

wywiązujących ciepło Joule'a oraz od szybkości chłodzenia wsadu, które następuje po okresie nagrzewania. Głębokość nagrzewania jest funkcją częstotliwości prądu, dostarczonej do wsadu mocy i czasu nagrzewania. Przy stałej częstotliwości głębokość nagrzewania reguluje się za pomocą



Rys. 12. Konstrukcja otwieranego wzbudnika do nagrzewania czopów wałów korbowych

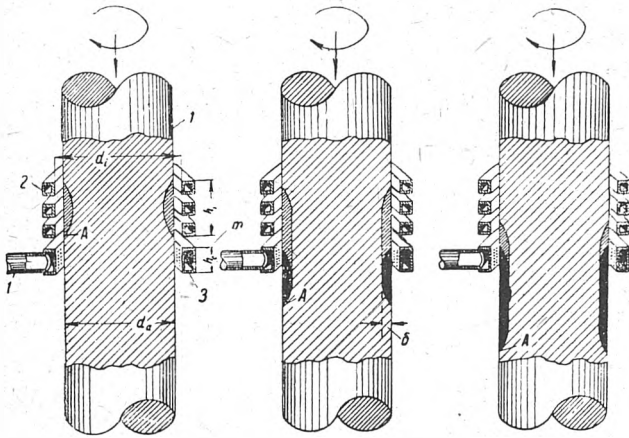
zmian wartości mocy dostarczonej do wsadu i zmiany czasu nagrzewania, tzn. czasu, w ciągu którego wsad jest poddany działaniu pola magnetycznego wytworzonego przez prąd płynący we wzbudniku.

Przy małych mocach czas potrzebny do nagrzania warstwy hartowanej do temperatury hartowania jest długi, wobec tego ilość energii cieplnej przenikającej na drodze przewodnictwa w głąb wsadu jest znaczna, nagrzanie wsadu jest bardziej równomierne, a wynikiem tego jest wzrost grubości warstwy metalu osiągającej temperaturę hartowania. Ze wzrostem mocy dostarczanej do wsadu czas nagrzewania warstwy utwardzonej do temperatury hartowania maleje, wobec czego i grubość tej warstwy także maleje. Czas nagrzewania przedmiotów hartowanych omawianą metodą waha się od części sekundy do 10—20 sek. zależnie od kształtu i wielkości przedmiotu oraz od żądanej głębokości hartowania.

Proces hartowania obejmuje, jak wiadomo, nagrzanie, a następnie chłodzenie hartowanego przedmiotu. Prędkość chłodzenia, jak już wspomniano, wpływa na grubość warstwy utwardzanej, mianowicie: im prędkość ta jest większa, tym mniej ciepła przeniknie z warstwy, która osiągnęła temperaturę hartowania, do rdzenia wsadu i tym niższa będzie jego temperatura, a więc mniejsza grubość warstwy utwardzonej. Dla osiągnięcia dużej prędkości chłodzenia czynnik chłodzący winien być dostarczony w dostatecznej ilości natychmiast po ukończeniu okresu nagrzewania. Zagadnienie to można rozwiązać zaopatrując wzbudnik w otwory, przez które czynnik chłodzący jest wtryskiwany pod ciśnieniem, przy czym ilość czynnika chłodzącego i czas chłodzenia są regulowane samoczynnie, lub — przy hartowaniu przedmiotów małych jak np. igły dziewiarskie — w ten sposób, że dla nagrzania nie są one umieszczone na stałe we wzbudniku, lecz spadają swobodnie do wanny z czynnikiem chłodzącym, nad którą umieszczony jest wzbudnik; przedmiot taki przechodząc przez wzbudnik nagrzewa się, a następnie chłodzi się w wannie.

Hartowanie powierzchniowe prądami wielkiej częstotliwości może być wykonywane trzema zasadniczymi sposobami.

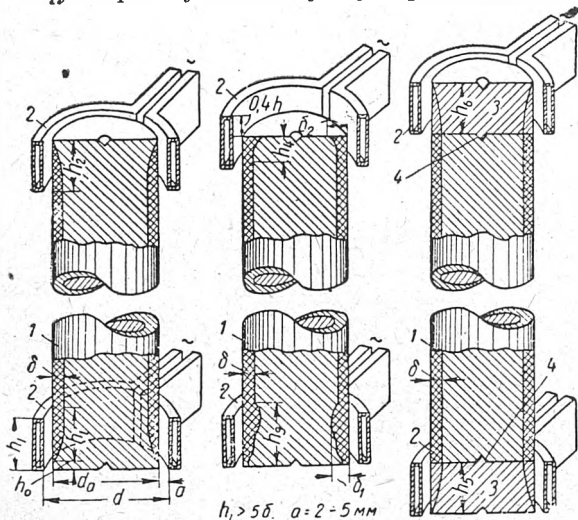
1. Jednoczesne nagrzewanie. Przy tym sposobie cała powierzchnia przedmiotu hartowanego jest poddana nagrzewaniu, a następnie chłodzeniu. System ten jest przedstawiony na rys. 11, podającym urządzenie do hartowania powierzchniowego gwiazdek łańcucha Galla, oraz na rys. 12, przedstawiającym konstrukcję otwieranego wzbudnika do nagrzewania czopów wałów korbowych.



Rys. 13. Schemat metody ciągłego kolejnego nagrzewania i hartowania

Tym sposobem można osiągnąć dużą wydajność, która zależy będzie tylko od stopnia automatyzacji warsztatu hartowniczego, ale potrzebna jest tutaj duża moc generatora zasilającego.

2. Kolejne hartowanie. Polega ono na nagrzewaniu tylko pewnej określonej części powierzchni przed-



Rys. 14. Wpływ różnych metod technologicznych na kształt warstwy nagrzanej na końcach stalowego bolca w procesie ciągłego kolejnego nagrzewania

miotu hartowanego, która jest natychmiast po nagraniu chłodzona, po czym następuje hartowanie dalszych części. W ten sposób można na przykład obrabiać koła zębate o dużych modułach, hartując kolejno poszczególne zęby. Wydajność w tym wypadku jest mniejsza, ale potrzebna moc generatora zasilającego urządzenie jest także mniejsza.

3. Ciągłe hartowanie kolejne polega na tym, że przedmiot znacznie dłuższy od wysokości wzbudnika przesuwa się względem niego w sposób ciągły tak, że nagrzewaniu podlegają kolejno niewielkie części powierzchni hartowanej. Sposób ten jest przedstawiony na rys. 13 oraz na rys. 14, który podaje zmianę kształtu warstwy nagrzanej przy dolnym i górnym końcu stalowego bolca w procesie ciągłego kolejnego nagrzewania przez wzbudnik o wysokości  $h$  i różnych technologicznych metodach na końcu i początku grzania.

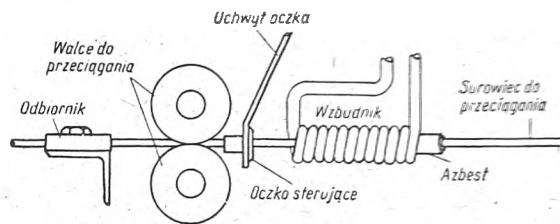
Metoda ta nadaje się dla dużych przedmiotów zarówno o kształcie walca, jak i o kształtach bardziej złożonych.

Chociaż wydajność urządzenia, jak i sprawność są przy tej metodzie mniejsze niż przy sposobie jednoczesnego nagrzewania, stosuje się ją jednak do obróbki przedmiotów o dużej powierzchni, przy czym potrzebna moc generatora jest mała. Z doświadczeń przy hartowaniu wynika, że napięcie doprowadzone do wzbudnika nie powinno przekraczać 1000—1500 V.

Największymi zaletami metody hartowania powierzchniowego prądami wielkiej częstotliwości, poza już podanymi poprzednio, jest równomierność nagrzania warstwy hartowanej, zmniejszenie przegrzania powierzchni zewnętrznej, występujące przy innych metodach, oraz skrócenie czasu hartowania.

b) Przeciąganie małych profilów ze stali szybko tnącej z nagrzewaniem prądami wielkiej częstotliwości

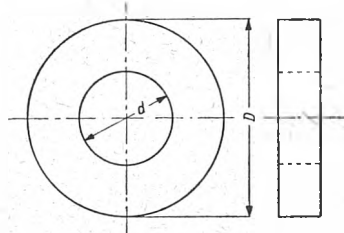
Jest to jedno z ciekawszych zastosowań metody grzania indukcyjnego prądami wielkiej częstotliwości. Przy zastosowaniu innych metod otrzymywano duży procent braków;



Rys. 15. Schemat urządzenia do przeciągania stali szybko tnącej z zastosowaniem nagrzewania indukcyjnego

przyczyną tego były np. pęknięcia, nierównomierność przekroju itp. Po zastosowaniu metody grzania indukcyjnego wyniki były bardzo dobre.

Schemat odpowiedniego urządzenia podany jest na rys. 15. Proces odbywa się w następujący sposób: odpowiednio przygotowany do przeciągania pręt przesuwa się przez wzbudnik z szybkością około 3 m/min. W czasie przechodzenia przez wzbudnik pręt nagrzewa się do temperatury 800—850° C; następnie wchodzi do oczka sterującego, skąd jest kierowany pod walce, a stąd już do odbiornika.



Rys. 16. Kształt pierścienia sprawdzianowego

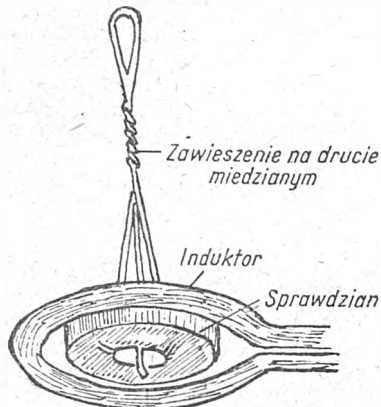
Zastosowanie wzbudnika dało równomierne nagrzanie wzdłuż pręta i w całym jego przekroju; to ostatnie wskazuje, że nie mamy w tym wypadku do czynienia z nagrzewaniem powierzchniowym, ale z nagrzewaniem skośnym.

c) Odnowienie zużytych pierścieni sprawdzianowych za pomocą ściskania termicznego

Istotnym wymiarem pierścienia sprawdzianowego (rys. 16), decydującym o jego użyteczności, jest średnica wewnętrzna  $d$ ; średnica ta w miarę używania sprawdzianu wzrasta, wskutek czego sprawdzian traci wartość. Wobec tego, że pierścienie te są drogie, poddaje się je naprawie. Dawniej zmniejszenie średnicy otworu pierścienia odbywało się za pomocą chromowania, obecnie jednak naprawa odbywa się za pomocą obróbki cieplnej prądami wielkiej częstotliwości. Jak widać z rys. 17, pierścieniom umieszczonym wewnątrz wzbudnika i poddaje działaniu prądów wielkiej częstotliwości. Po upływie kilku sekund zewnętrzna strona pierścienia osiąga temperaturę 700—750° C; w tym momencie pierścień szybko studzi się w oliwie. W czasie nagrzewania następuje odpuszczenie zewnętrznej cylindrycznej warstwy pierścienia i zmiana jej struktury, natomiast część wewnętrzna, robocza zachowuje początkową strukturę i twardość. Zmianie struktury zewnętrznej części pierścienia towarzyszy zmniejszenie jego zewnętrznego



obwodu, wywołujące naprężenia ściskające w jego wewnętrznej części, co powoduje zmniejszenie średnicy wewnętrznej tak, że sprawdzian może być dalej używany. W czasie obróbki na bocznych ścianach pierścienia występują cylindryczne ciemne strefy, których współśrodkowość dowodzi, że ściśnięcie nastąpiło równomiernie i kształt



Rys. 17. Sposób umieszczenia pierścienia sprawdzianowego we wzbudniku

otworu pozostał kołowy. Do omawianego procesu nie należy używać cewek o dużym rozproszeniu, gdyż powodują one nie tylko zmniejszenie sprawności, ale także obniżenie twardości części roboczej sprawdzianu.

Poza przytoczonymi przykładami omawiana metoda znalazła szereg innych ciekawych zastosowań, jak napawanie płytek z twardego stopu na narzędzia, powierzchniowe hartowanie gwintowników, hartowanie powierzchniowe na-

zędzi z szybkołnącej stali, lutowanie, spawanie, topienie wsadów osłoniętych całkowicie np. bańką szklaną w próżni lub dowolnej atmosferze.

#### 6. Zalety.

Omawiana metoda ma następujące zalety poza wymienionymi w tekście:

- 1) Wskutek nagrzewania tylko niewielkiej warstwy powierzchniowej nie występują deformacje wsadu, unika się dodatkowej obróbki jak np. prostowanie po hartowaniu innymi metodami.
- 2) Wskutek niewielkiego ogrzewania warstw środkowych przedmiot ogrzewany do hartowania zachowuje swoje pierwotne własności.
- 3) Nie występuje odwęglenie warstwy powierzchniowej ani zendra.
- 4) Łatwość dozowania energii i możliwość automatyzacji procesu.
- 5) Skrócenie czasu obróbki z godzin przy innych metodach do sekund.
- 6) W przeciwieństwie do pieców do obróbki termicznej generator wielkiej częstotliwości jest zawsze gotów do pracy; uruchamianie go trwa krótką chwilę.
- 7) Higieniczne warunki pracy, nie ma dymu, pyłu. Bezpieczeństwo pracy wskutek możliwości uziemienia wsadu.

#### LITERATURA

1. Łozinski M. G. Powierzchnostnaja zakalka i indukcyjny nagryw stali
2. Curtis W. S. Applications industrielles du chauffage H. F.
3. Peronne M. G. Le durcissement superficiel de l'acier au moyen du chauffage par induction à haute fréquence. Revue Générale de l'Electricité, 1947, nr. 10
4. Debruyne H. P. Le chauffage à haute fréquence. Bull. S. B. E., 1948, nr 1

### VIII

## Grzejnictwo pojemnościowe

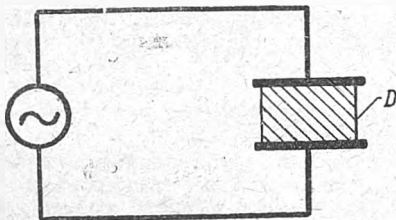
MGR INŻ. TADEUSZ SKRZYPEK

Treść. Zasady ogólne. Opis urządzeń grzejnych do nagrzewania pojemnościowego i ich głównych elementów. Zastosowania praktyczne ze szczególnym uwzględnieniem obróbki drzewa, tłoczyw, artykułów spożywczych. Omówienie zalet i wad nagrzewania pojemnościowego. Wnioski.

#### 1. Zasady ogólne.

Nagrzewanie pojemnościowe jest jedną z najnowszych metod elektrotermii. W skali przemysłowej stosuje się ją już od piętnastu lat; ogromny jej rozwój przyniosła druga wojna światowa.

Zjawisko powstawania ciepła w dielektrykach umieszczonych w zmiennym polu elektrycznym znane było już od dawna, lecz z początku rozpatrywano je z punktu widzenia jego szkodliwości i traktowano jako niepożądaną stratę energii w izolacji. Wyzyskanie tego zjawiska do pożytecz-



Rys. 1. Zasada nagrzewania dielektrycznego — kondensator z dielektrykiem stałym poddany działaniu prądu w. cz.

nych celów nagrzewania materiałów, na ogół trudno obrabialnych termicznie, dało poważne korzyści technologiczne.

Ogólnie biorąc, wydzielanie się ciepła spowodowane jest zaburzeniami w układzie cząsteczek materii wskutek działania sił zmiennego pola elektrycznego.

Ciało składa się z elementarnych cząsteczek posiadających ładunek elektryczny. Pod wpływem sił pola zewnętrznego cząstki naładowane dodatnio odchylają się w kierunku elektrody ujemnej i — odwrotnie — ujemne w kierunku elektrody dodatniej aż do momentu, w którym siły wewnętrzne i zewnętrzne zrównoważą się. Przemie-

szczenie cząsteczek naładowanych jest równoznaczne z przepływem prądu.

Gdy do okładzin kondensatora doprowadzimy napięcie szybkozmienne (rys. 1), zmieniać się będzie kierunek sił pola, a więc i kierunek prądu wewnątrz dielektryku. Ruch cząsteczek przybierze formę drgań o częstotliwości i kształcie napięcia przyłożonego, czego wynikiem będzie wydzielanie się ciepła w dielektryku.

Oprócz prądu przesunięcia, opisanego powyżej, źródłem ciepła, lecz w znacznie mniejszym stopniu, jest także prąd skrośny, spowodowany obecnością w dielektryku pewnej liczby elektronów wolnych i jonów spolaryzowanych. Prąd ten spowodowany jest niedoskonałością dielektryku i wielkość jego rośnie wraz z pogorszeniem się właściwości dielektrycznych ciała.

Moc wydzieloną w postaci ciepła w 1 cm<sup>3</sup> dielektryku określa wzór:

$$P_1 = 5,55 \cdot 10^{-7} \cdot g^2 \cdot f \cdot p_1 \quad (\text{W/cm}^3),$$

gdzie  $p_1$  — moc przypadająca na jeden okres i równa  $\varepsilon \cdot \text{tg } \delta$ ,

$f$  — częstotliwość w okr./sek.,

$g$  — średni gradient potencjału (natężenie pola) w dielektryku w V/cm.

Ze wzoru wynika, że moc odpowiadająca ciepłu wydzielonemu w dielektryku rośnie ze wzrostem czynników prawej strony równania, a więc dla uzyskania jak największej mocy należałoby powiększać ich wartość. Po rozważeniu jednak zagadnienia dochodzimy do wniosku, że istnieją granice wzrostu wartości tych czynników.

Napięcie jest czynnikiem najbardziej wpływającym na moc wydzieloną, gdyż występuje w drugiej potęgze. Na ogół jednak nie przekracza ono wartości 15 kV (mierzonej na okładzinach kondensatora) ze względu na prze-

piecia i cechy wytrzymałościowe obrabianego materiału (np. wytrzymałość na przebicie).

Moc czynna rośnie wraz z częstotliwością tylko do pewnej granicy, która zależy od właściwości materiału. Po jej przekroczeniu następuje zjawisko zmniejszania się współczynnika strat  $\text{tg } \delta$ , jak również stałej dielektrycznej  $\epsilon$ , spowodowane nienadążaniem ruchu cząsteczek za zmianami pola zewnętrznego. Ponadto górna granica częstotliwości uzależniona jest od wymaganej równomierności nagrzewania dielektryku. Przy nagrzewaniu dużych wsadów zastosowanie zbyt wysokiej częstotliwości powoduje nierównomierne nagrzanie ciała, co szczególnie uwydatnia się w takich procesach, jak klejenie dykty, wyrób płyt pilśniowych itp.

Ogólnie biorąc zakres częstotliwości używanych do celów grzejnictwa pojemnościowego zawiera się w granicach 1–50 MHz, przy czym górna granica uwarunkowana jest także pojemnością wewnętrzną lamp oscylacyjnych.

## 2. Ogólny opis urządzeń grzejących wielkiej częstotliwości.

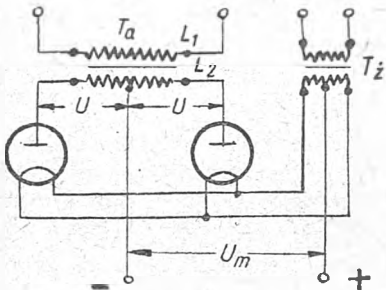
Do celów grzejnictwa pojemnościowego używane są wyłącznie generatory lampowe, które pozwalają uzyskać wysokie częstotliwości, nieosiągalne innymi metodami.

Generatory wielkiej częstotliwości typu przemysłowego powinny być proste i niezawodne w działaniu, zwarte w budowie, tanie i bezpieczne w eksploatacji; wszędzie, gdzie to jest możliwe, powinny zapewniać automatyzację procesu obróbki.

Urządzenie grzejne w. cz. można podzielić na następujące zasadnicze części:

- układ zasilający, składający się z transformatorów anodowego i żarzeniowego oraz lamp prostowniczych,
- obwód drgający i lampa nadawcza,
- obwód roboczy grzejny,
- obwody pomocnicze.

Układ zasilający. Zasilanie lamp oscylacyjnych może odbywać się zarówno prądem stałym, jak i zmiennym,



Rys. 2. Schemat prostownika jednofazowego do zasilania urządzeń mniejszej mocy

ale w tym drugim wypadku sprawność lamp oscylacyjnych spada o 25 do 40% zależnie od schematu i dlatego w praktyce stosuje się prostowanie.

Na rys. 2 przedstawiony jest schemat prostownika jednofazowego z dwupołkowym prostowaniem. Składa się on z transformatora anodowego  $T_a$ , zasilanego napięciem sieciowym 220 V, którego wtórne uzwojenie  $L_2$ , podwyższające napięcie do granic żądanych (przeważnie kilka tysięcy woltów), połączone jest na anody lamp prostowniczych. Środek jego stanowi minus napięcia wyprostowanego  $U_m$ . Środek wtórnego uzwojenia transformatora żarzeniowego  $T_z$  jest plusem układu zasilającego.

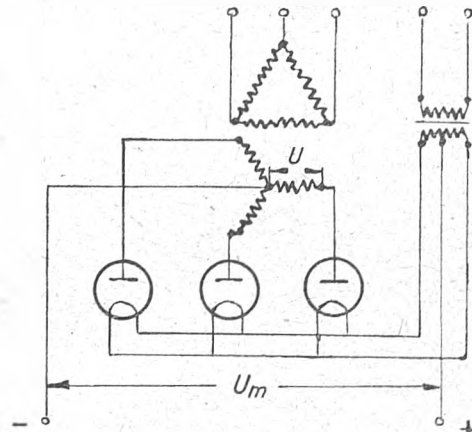
Na rys. 3 przedstawiony jest układ prostownika trójfazowego, używanego do zasilania urządzeń większej mocy. Punkt zerowy gwiazdy wtórnego uzwojenia transformatora stanowi minus układu zasilającego.

Jako lamp prostowniczych używa się diod gazowanych, tj. lamp dwuelektrodowych wypełnionych parą rtęci.

W większych urządzeniach, ze względu na niemożliwość utrzymania stałego napięcia wyprostowanego przy wahanach napięcia sieci, ten sposób zasilania okazał się niewystarczający. W najnowszych rozwiązaniach zastosowano prostowniki ze stabilizacją napięcia, które — choć są droższe i bardziej skomplikowane w budowie — zapewniają stałość warunków pracy generatora konieczną przy

potokowej zautomatyzowanej obróbce elektrotermicznej materiałów.

Obwód drgający i lampa nadawcza. Istnieje wiele typów układów generatorów do celów nagrzewania

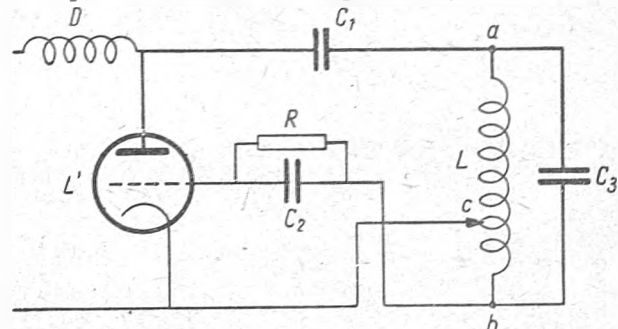


Rys. 3. Schemat prostownika trójfazowego do zasilania urządzeń dużej mocy

pojemnościowego, lecz największe rozpowszechnienie znalazł generator samowzbudny w układzie Hartley'a.

Układ ten, zwany także trójpunktowym, gdyż obwód drgań przyłączony jest do lampy w trzech punktach  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , przedstawiony jest na rys. 4.

Układ taki składa się z lampy triody nadawczej  $L'$ , obwodu drgań o indukcyjności  $L$  i pojemności  $C_3$ . Kondensator  $C_1$  ma za zadanie nie dopuścić napięcia wyprostowanego



Rys. 4. Schemat generatora samowzbudnego w układzie Hartley'a

wanego do obwodu drgań, dławik  $D$  uniemożliwia przedostanie się prądów w. cz. do układu zasilającego.

Zasadniczym warunkiem powstania drgań w obwodzie jest przesunięcie fazy między napięciem zmiennym na siatce i anodzie o  $180^\circ$  oraz dostateczna wielkość sprzężenia zwrotnego, które reguluje się przez zmianę położenia punktu  $c$  cewki obwodu drgań. Przesunięcie fazy uzyskuje się przez połączenie początku i końca cewki  $a$  i  $b$  z anodą i siatką, a punktu  $c$  z katodą lampy.

Straty na oporze omowym obwodu pokrywa energia źródła zasilającego, która w odpowiednich momentach, dzięki istniejącemu sprzężeniu zwrotnemu, doładowuje kondensator  $C_3$  obwodu drgań i umożliwia drgania niegasnące.

Wadą tego układu jest trudne ustalenie częstotliwości, zaletą — prostota budowy, łatwość w obsłudze i regulacji.

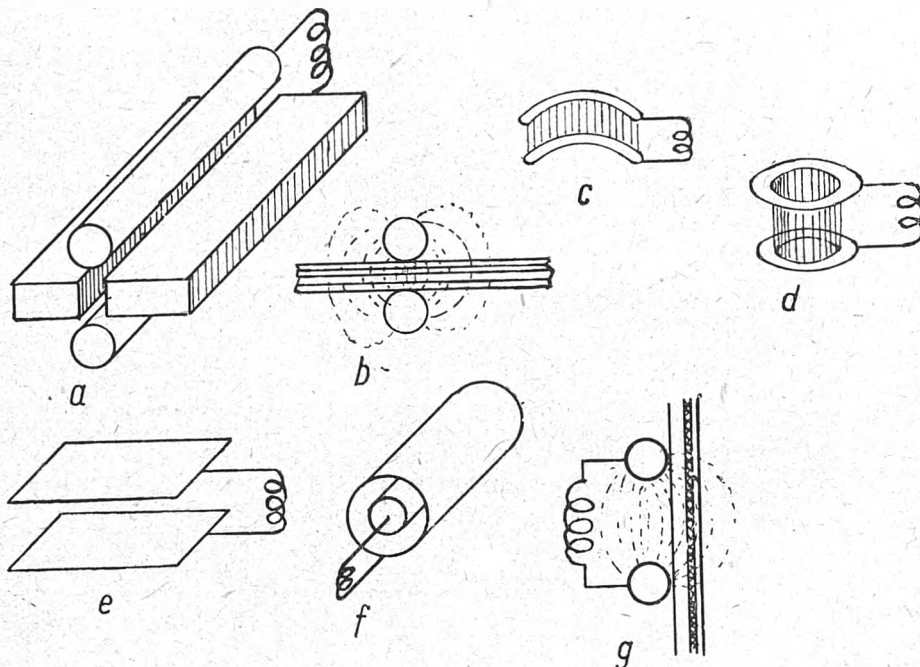
Celem zwiększenia mocy wyjściowej generatora niejednokrotnie buduje się układy o dwu lampach lub większej liczbie lamp pracujących równolegle. Najlepsze jednak wyniki zarówno z punktu widzenia sprawności, jak i pewności działania, stateczności pracy, łatwości obsługi, dają generatory, w których lampy pracują w układzie przeciwnym (push-pull).

Lampy nadawcze do celów grzejnictwa w. cz. są zwykłymi triodami nadawczymi. Moc ich zawiera się w granicach od paru set watów do kilkudziesięciu kilowatów.

Ostatnio w Związku Radzieckim produkuje się lampy nadawcze do 500 kW typu rozbiernego. Lampa taka

w razie uszkodzenia (np. przepalenia włókna katody) może być rozebrana, a uszkodzona część zastąpiona inną bez odsyłania lampy do fabryki. Czas pracy takiej lampy jest praktycznie nieograniczony, gdy dla lamp typu poprzedniego wynosi 1500—2000 godzin.

Obwód roboczy grzejny. Zasadniczym i bardzo ważnym elementem, od którego w dużej mierze zależy zarówno sprawność urządzenia, jak i wyniki obróbki, jest obwód grzejny. Do nagrzewania pojemnościowego obwód ten składać się może z cewki, sprzężonej indukcyjnie z anodowym obwodem drgań, oraz z okładzin kondensatora,



Rys. 5. Różne rodzaje elektrod kondensatora grzejnego generatora w. cz.

między którymi umieszcza się ciało obrabiane. W pewnych wypadkach okładziny kondensatora grzejnego są zarazem płytami prasy. Bywa to wtedy, kiedy ciało obrabiane termicznie jednocześnie poddaje się ciśnieniu, które przyspiesza, bądź umożliwia pewne wysokotemperaturowe procesy technologiczne (np. klejenie, prasowanie tłoczyw).

Kształt okładzin kondensatora bywa różny: mogą one być umieszczone względem siebie współosiowo, współśrodkowo, np. w formie łuków, kół równoległych, wycinków paraboli itp. Ogólnie biorąc, kształt elektrod, ich wielkość i położenie względem siebie uzależnione są od kształtu materiału obrabianego i od tego, jaki rozkład pola chcemy otrzymać w materiale obrabianym. Odpowiedni dobór kształtu i wzajemnego położenia elektrod w wybitnym stopniu wpływa na sprawność całego urządzenia i jakość procesu obróbki.

Na rys. 5a-g pokazane są elektrody grzejne różnego przeznaczenia i kształtu.

Rys. 5a przedstawia dwie elektrody w kształcie walców o osiach równoległych. Ustawienie ich w sposób podany na rysunku w stosunku do materiału obrabianego pozwala na silne nagrzanie warstw, przylegających do elektrod; dla warstw zewnętrznych nagrzanie to stopniowo maleje.

Na rys. 5b przedstawione są elektrody do obróbki ciągłej. Przesuwająca się taśma z materiału obrabianego nagrzewana jest między elektrodami walcowymi. W wypadku ruchu jednostajnego taśmy nagrzanie na całej jej długości jest jednakowe.

Rys. 5f przedstawia elektrody współosiowe do nagrzewania dielektryków płynnych.

Zasadniczym warunkiem, od którego zależy sprawność energetyczna urządzenia, jest oddawanie możliwie największej, dla danego procesu technologicznego, stałej mocy do wsadu podczas całego przebiegu obróbki. Bywa to wtedy, gdy obwód anodowy jest w rezonansie z obwodem grzejnym.

Ponieważ własności obrabianego dielektryku, a przede wszystkim stała dielektryczna  $\epsilon$  i kąt stratności  $\delta$  zmieniają się wraz ze wzrostem jego temperatury i wilgotności, zmienia się oporność pozorną obwodu grzejnego i — co za tym idzie — obwód grzejny rozstraja się od rezonansu

z obwodem anodowym. W wyniku tego przekazywanie energii do wsadu maleje, sprawność energetyczna układu gwałtownie spada.

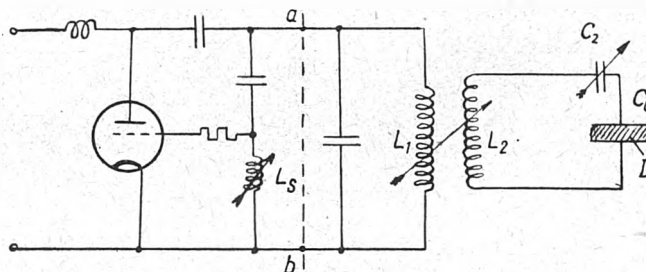
Jeżeli sprzężenie między obwodem grzejnym a anodowym jest pojemnościowe, dostrajanie do rezonansu w zmienionych warunkach odbywa się przez zmianę pojemności kondensatora sprzęgającego; jeżeli sprzężenie jest indukcyjne — przez zmianę indukcyjności cewki sprzęgającej obwody.

W urządzeniach fabrycznych, nastawionych na pracę potokową, regulacja do rezonansu jest samoczynna tak, że

moc oddawana do wsadu jest stała bez względu na zmiany zachodzące w obrabianym materiale.

Na rys. 6 przedstawiony jest schemat prostego generatora, który przez zmianę części obwodu grzejnego może być przystosowany do różnych rodzajów obróbki termicznej — zarówno pojemnościowej, jak i indukcyjnej.

Generator w powyższym układzie przeznaczony jest do obróbki elektrotermicznej drewna. Regulacja wielkości napięcia doprowadzonego do okładzin kondensatora grzejnego  $C_G$  odbywa się przy pomocy zmiany sprzężenia obwodu grzejnego  $L_2$  z cewką obwodu anodowego  $L_1$  i stro-



Rys. 6. Schemat typowego prostego generatora do celów obróbki elektrotermicznej

jenie do rezonansu przy pomocy kondensatora  $C_2$ . Cewka o zmiennej indukcyjności  $L_S$  reguluje wielkość sprzężenia zwrotnego.

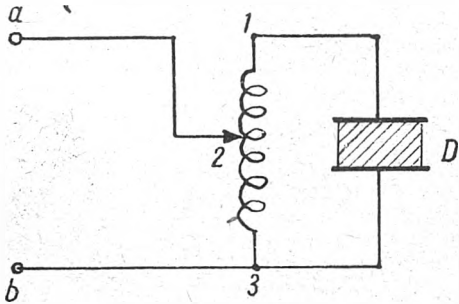
Do obróbki tłoczyw i innych materiałów dielektrycznych obwód grzejny należy wykonać według układu przedstawionego na rys. 7. Cewka obwodu anodowego jest tu zarazem cewką obwodu grzejnego, sprzężenie obu obwodów jest autotransformatorowe. Dostrojenie do rezonansu odbywa się przez zmianę liczby zwojów cewki wspólnej dla obu obwodów.

Przyłączając do generatora z rys. 6 w punktach  $a$  i  $b$  obwody grzejne, przedstawione na rys. 8 i 9, otrzymamy urządzenia, przeznaczone do elektrotermicznej obróbki metali metodą indukcyjną, np. do hartowania powierzchni-



wego (rys. 8) i do nagrzewania skrośnego lub topienia (rys 9).

Obwody pomocnicze i kontrolne. Urządzenia do nagrzewania pojemnościowego, szczególnie pracujące



Rys. 7. Obwód grzejny generatora w. cz. przeznaczony do obróbki mas plastycznych (nagrzewanie pojemnościowe)

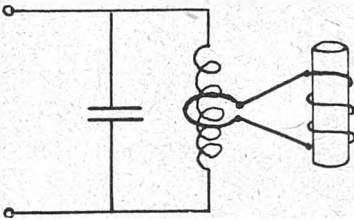
w produkcji potokowej, zaopatrzone są w liczne obwody regulacyjne i kontrolne.

Należą do nich:

1) obwody pomocnicze: a) chłodzenia lamp i b) bezpieczeństwa;

2) obwody automatycznej kontroli i regulacji: a) częstotliwości, b) temperatury i c) mocy.

Pod wpływem bombardowania elektronów anody lamp oscylacyjnych w czasie pracy nagrzewają się do tego stop-

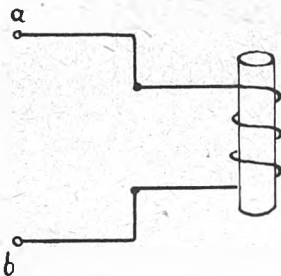


Rys. 8. Obwód grzejny generatora w. cz. przeznaczony do hartowania powierzchniowego (nagrzanie indukcyjne)

nia, że może grozić to zniszczeniem lampy. Szczególnie w lampach większej mocy wydzielanie się ciepła jest tak intensywne, że zachodzi konieczność ich chłodzenia.

Istnieją dwa sposoby chłodzenia anod lampowych: w urządzeniach mniejszej mocy — powietrzny, przy dużych mocach — wodny.

Pierwszy z nich, wygodniejszy w użyciu i nie wymagający kosztownej instalacji, stosowany jest w urządzeniach



Rys. 9. Obwód grzejny generatora w. cz. przeznaczony do topienia metali (nagrzewanie indukcyjne)

przenośnych. Wentylator o przeciętnej wydajności 20—30 m<sup>3</sup>/min. tłoczy powietrze na radiatory anod lampowych i chłodzi je.

Urządzenie do chłodzenia wodnego składa się z pompy o odpowiedniej wydajności, węzownicy umieszczonej na chłodzonej lampie i odpowiednio od niej izolowanej, zbiornika i termometru rejestrującego temperaturę wody.

W wypadku wzrostu temperatury wody lub spadku jej ciśnienia samoczynny układ przerywa dopływ prądu zasilającego urządzenie grzejne.

Oprócz tego układu istnieją inne urządzenia bezpieczeństwa, jak wyłączniki nadmiarowe, wyłączniki bezpieczeństwa przerywające obwód prądu w każdym wy-

padku, gdy personel w czasie sprawdzania otworzy drzwiczki, automaty dysponujące, które w odpowiedniej chwili włączają wodę, prąd lub napięcie na poszczególne części urządzenia.

Obwody kontrolne i regulacyjne. Dla zapewnienia urządzeniu pewności działania i najwyższej sprawności, a procesowi obróbki najlepszej jakości, nowoczesne generatory wyposażone są w samoczynne obwody kontrolne i regulacyjne; są to przeważnie urządzenia dość skomplikowane. Ograniczamy się tu do krótkiego opisu najważniejszych z nich, nie wchodząc w szczegóły ich budowy.

Przede wszystkim są to obwody do ustateczniania częstotliwości, której zmiana podczas procesu obróbki może powodować bardzo silne zakłócenia w odbiorze radiowym. Istnieje cały szereg systemów ustateczniania, najczęściej jednak osiąga się je przy użyciu kwarcu, będącego źródłem stałej częstotliwości.

Obwody samoczynnej regulacji temperatury możliwe są do zrealizowania jedynie w tych procesach elektrotermicznych, w których można dokładnie określić przebieg cyklu termicznego; w takim przypadku po osiągnięciu żądanej temperatury przerywa się działanie pola szybkozmiennego na ciało nagrzewane, które następnie poddawane jest dalszym operacjom cyklu obróbki.

Regulację mocy osiąga się przy pomocy specjalnego urządzenia, które samoczynnie i w sposób ciągły zmienia dopasowanie oporności obwodu anodowego i grzejnego do rezonansu, niezależnie od zmian fizycznych zachodzących w materiale. Może ono być zbudowane na zasadzie mostka. Impulsy spowodowane zmianą równowagi mostka sterują odpowiednim układem przekaźników, które z kolei powodują przesunięcie (wzdłuż zwojów cewki) ruchomego styku, połączonego z okładziną kondensatora grzejnego. W wyniku tego zmienia się współczynnik sprzężenia między wsadem a obwodem anodowym.

Na rys. 10 przedstawiony jest zewnętrzny wygląd generatora do nagrzewania pojemnościowego na 750 W. W górnej części pod pokrywą osłoną z siatki metalowej znajduje się kondensator grzejny.

Rys. 11 przedstawia widok wewnętrzny generatora na 750 W. W dolnej części urządzenia widzimy z lewej strony przekaźniki i samoczynne układy regulacyjne omawiane poprzednio, z prawej — kondensator energetyczny i część zasilającą, tj. transformator i lampę prostowniczą. W górnej części znajdują się dwie lampy oscylacyjne oraz inne części urządzenia. Generatory te mają wymiary 100 × 55 × 60 cm<sup>3</sup>.

### 3. Zastosowania przemysłowe.

Metoda nagrzewania pojemnościowego nadaje się prawie do każdej produkcji, wymagającej ogrzewania dielektryków i półprzewodników. Mimo swego krótkiego okresu rozwojowego metoda ta znalazła zastosowanie w szeregu procesów przemysłowych, wpływając zarówno na zmniejszenie kosztów produkcji, jak i wybitne zmniejszenie czasu obróbki.

Grzejnictwo pojemnościowe, jako nagrzewanie wewnątrz-molekularne, nie posiada wad ogrzewania pośredniego, gwarantując równomierny rozkład ciepła w materiale.

Zastosowania przemysłowe tej metody można podzielić na następujące zasadnicze grupy:

- 1) do procesów mających na celu odwodnienie obrabianego materiału,
- 2) do procesów, w których nagrzewanie wywołuje w materiale obrabianym zmiany chemiczne i fizyczne, a więc zmianę struktury materiału,
- 3) do procesów, w których wzrost temperatury przerywa niepożądane procesy biologiczne,
- 4) zastosowania różne.

Do pierwszej z tych grup zaliczyć można suszenie drewna, materiałów włókienniczych, artykułów spożywczych jak owoce, makaron, mąka, jarzyny, artykułów farmaceutycznych jak pastylki sulfamidów, aminokwasów; odwadnianie penicyliny, palenie kawy, kakao itp.

Stwierdzono, że dla wszystkich materiałów przemysłowych teoretyczne zużycie energii na odparowanie 1 kg wody wynosi 0,9 kWh, rzeczywiste zaś 2,3 kWh.

W tabl. I podane są przybliżone teoretyczne wartości niezbędnego jednostkowego zużycia energii przy suszeniu dla niektórych artykułów przemysłowych.

Tablica I

| Nazwa materiału | Wilgotność bezwzględna (%) |         | Jednostka gotowego wyrobu | Teoretyczne niezbędne zużycie energii w kWh |                        |
|-----------------|----------------------------|---------|---------------------------|---|------------------------|
|                 | początkowa                 | końcowa |                           | na jednostkę wyrobu                         | na kg wody odparowanej |
| Dąb             | 50                         | 12      | m <sup>3</sup>            | 224   | 1,02                   |
| Sosna           | 50                         | 12      | „                         | 194   | 1,04                   |
| Porcelana       | 55                         | 5       | tona                      | 428   | 0,90                   |
| Skóra           | 85                         | 18      | „                         | 475   | 0,86                   |
| Przędza         | 65                         | 8       | „                         | 415   | 0,79                   |
| Tektura         | 67                         | 8,7     | „                         | 487   | 0,91                   |
| Makaron         | 45                         | 15      | „                         | 218   | 0,84                   |

Druga grupa obejmuje takie procesy, jak nagrzewanie tłoczyw, np. bakielitów, formaldehydów, jak wyrób płyt pilśniowych drzewnych, wulkanizacja kauczuku itp.

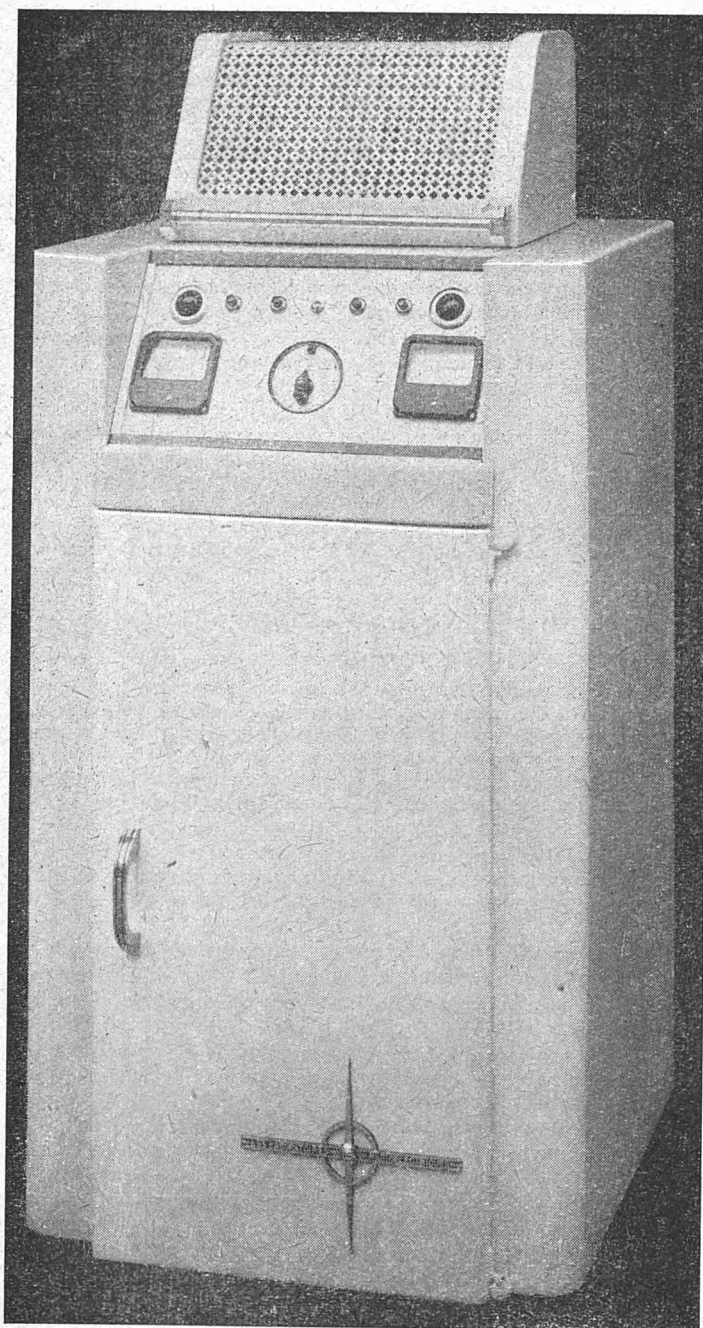
Procesy trzeciej grupy mają zastosowanie przede wszystkim w przemyśle spożywczym. Należy do nich pasteryzacja mleka, pokarmów, sterylizacja piwa, konserw, mąki, zabicie pleśni na ziarnie, nasionach itp.

Zastosowania różne obejmują procesy, mające na celu podniesienie plastycznych właściwości materiału, jak topienie szkła, spawanie i inne.

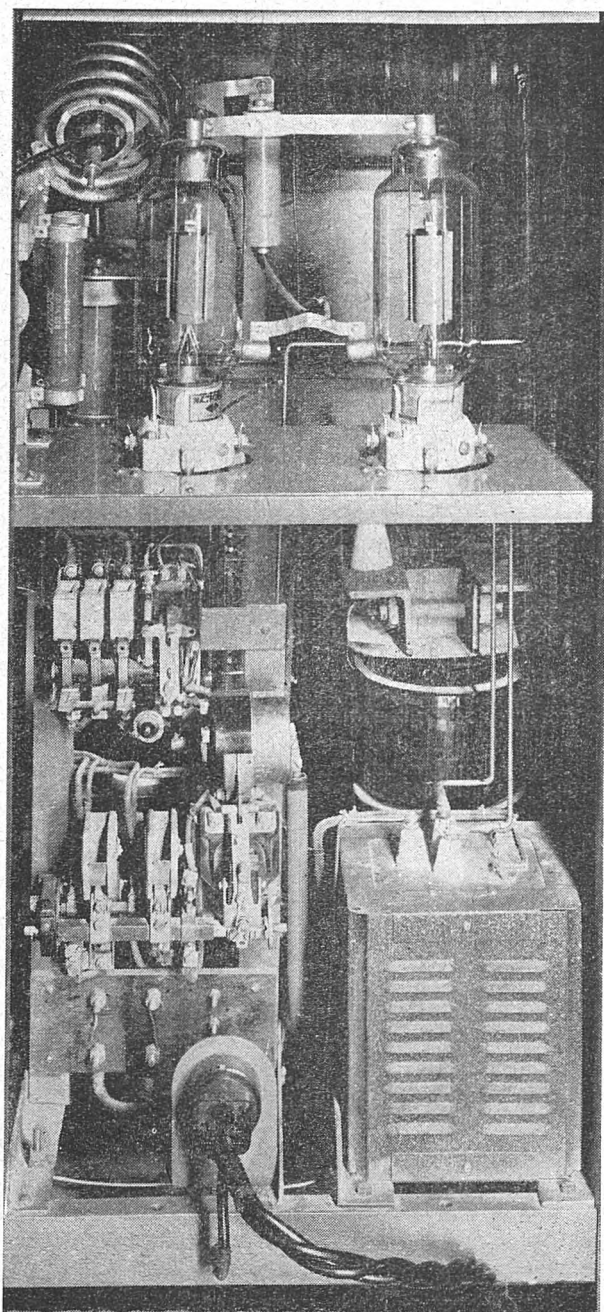
Spomiędzy wyżej omówionych zastosowań szerokie rozpowszechnienie w skali przemysłowej w wielu krajach znalazły przede wszystkim takie procesy klasyczne, jak suszenie drewna, nagrzewanie tłoczyw, suszenie środków spożywczych, gdzie wyniki metody w dużym stopniu wpłynęły na usprawnienie produkcji i poprawiły jakość wyrobu.

Obróbka drewna. Obróbka drewna sprowadza się do dwóch zasadniczych zastosowań: do suszenia i do klejenia.

We wszystkich procesach suszenia metodą pojemnościową można zauważyć, że najwyższa temperatura przy-



Rys. 10. Widok zewnętrzny generatora wielkiej częstotliwości o mocy 750 W i wymiarach 100 × 60 × 55



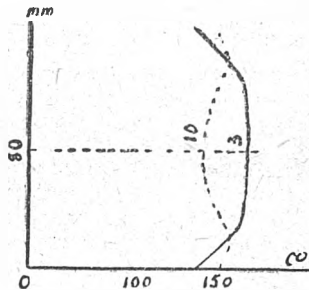
Rys. 11. Widok wewnętrzny generatora z rys. 10 (Les Laboratoires Radio-électriques S A., 1948)



pada na środek (wnętrze) suszonego drewna, co tłumaczy się stratą ciepła przy elektrodach (rys. 12, linia ciągła).

Różnice te mogą być tak wielkie, że podczas silnego i długiego nagrzewania włókna wewnętrzne ulegną zwęgleniu. Podczas powolnego nagrzewania rozkład temperatur wewnątrz obrabianego materiału przebiega według krzywej przerywanej na rys. 12.

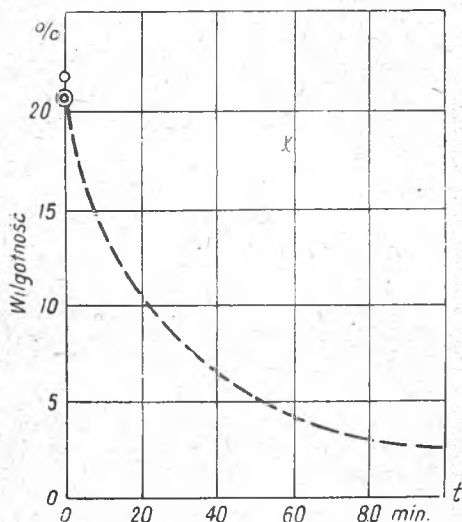
Zastosowanie metody pojemnościowej do suszenia drewna w skali fabrycznej daje duże oszczędności.



Rys. 12. Rozkład temperatur w drewnie, nagrzewanym metodą w. cz.

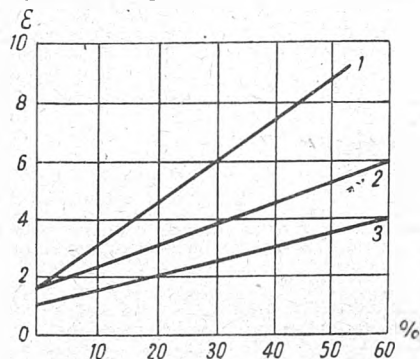
Według doświadczeń radzieckich na wysuszenie 1 m<sup>3</sup> drewna brzoźowego w suszarni parowej zużyto 2 850 000 kcal za sumę 262 rubli. Takież suszenie metodą pojemnościową przy zużyciu 240 kWh kosztuje tylko 18 rubli.

Największe jednak korzyści daje skrócenie czasu obróbki, który jest przy nagrzewaniu pojemnościowym kilkadziesiąt razy mniejszy niż przy starych metodach. Po-



Rys. 13. Zmiana wilgotności drewna brzoźowego w funkcji czasu

nadto ważną zaletą suszenia metodą w. cz. jest spadek braków: przy suszeniu parowym przez 40 dni do wilgotno-



Rys. 14. Zależność stałej dielektrycznej  $\epsilon$  od wilgotności dla różnego rodzaju drewna

ści 22% ilość braków wynosi 57—98%, przy zastosowaniu nowej metody braki spadają do kilku procentów.

Rys. 13 przedstawia zmianę (w %) wilgotności klocków brzoźowych w funkcji czasu, suszonych metodą nagrzewania pojemnościowego. Suszenie drewna świeżego o znacznie większym procencie wilgotności trwa nieco dłużej niż suszenie drewna odleżałego, ale materiał co do jakości jest jednakowy w obu przypadkach.

Rys. 14 przedstawia zmianę (w %) stałej dielektrycznej  $\epsilon$  w funkcji wilgotności dla następujących rodzajów drewna: 1 — klon, 2 — mahoń, 3 — sosna.

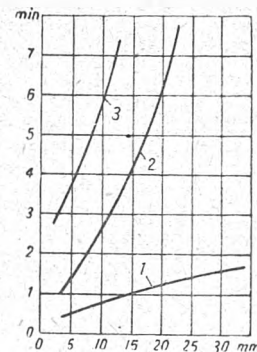
W dielektryku jednorodnym podgrzewanym metodą pojemnościową ciepło rozprzestrzenia się w sposób jednostajny, w dielektrykach uwarstwionych wydziela się tam, gdzie stała dielektryczna jest najmniejsza. Zjawisko to wyzyskano przy klejeniu dykty: największe wydzielanie ciepła następuje w kleju, który posiada mniejszą stałą dielektryczną niż drewno.

Klejenie drewna o grubości 25 mm przy pomocy prasy, której płyty podgrzewane są parą do temperatury 150° C, trwa 4 godziny. Ten sam proces metodą pojemnościową trwa 5 minut.

Najlepsze wyniki w tym procesie osiąga się przy częstotliwości 30 MHz dla prostopadłego ustawienia powierzchni sklejanych w stosunku do elektrod i 12 MHz dla ułożenia równoległego.

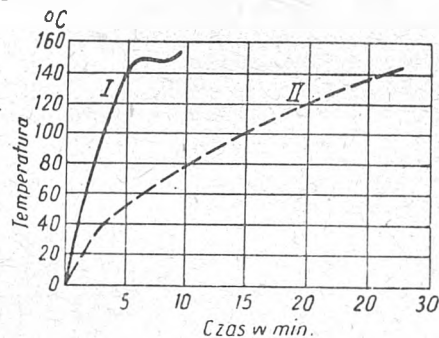
Nagrzewanie tłoczyw. Wprowadzenie pojemnościowej metody nagrzewania tłoczyw przed prasowaniem w wysokim stopniu wpłynęło zarówno na polepszenie jakości otrzymywanych wyrobów, jak i na potaniecie procesu produkcji przy jednoczesnym wybitnym skróceniu czasu jego trwania.

Przy metodzie stykowej przebieg nagrzewania masy w formie jest nierównomierny, wskutek czego następuje



Rys. 15. Zależność czasu prasowania od grubości przedmiotu prasowanego

stwardnienie części zewnętrznych masy wówczas, gdy wewnątrz nie osiągnęło jeszcze temperatury, przy której ciało staje się plastyczne. Pociąga to za sobą konieczność stoso-



Rys. 16. Porównanie czasu nagrzewania dla różnych metod elektrotermicznych

wania dużych ciśnień oraz stali wysokiej jakości na formy do prasowania.

Przy stosowaniu podgrzewania wstępnego w. cz. przebieg procesu jest następujący.

Tabletki lekko sprasowanego proszku podgrzane przy pomocy prądów w. cz. w całej objętości do temperatury 120—140° C wkłada się w formę, w której następuje tłoczenie. Ponieważ cała masa jest już plastyczna, ciśnienie stosowane do nadania jej żadanego kształtu nie musi być



duże. Dla tłoczyw na bazie fenolowej, krezotowej lub karboamidowej najlepsze wyniki daje zastosowanie częstotliwości rzędu 20 MHz przy gradiencie potencjału 0,5—1,5 kV/cm. Czas nagrzewania zależy od mocy generatora i rozdzaju proszku i zawiera się w granicach 15—60 sek.

Czas prasowania przy zastosowaniu tej metody zmniejsza się przeszło dziesięciokrotnie; zysk na czasie rośnie wraz ze wzrostem grubości ścianek wyrobu.

Na rys. 15 przedstawiona jest zależność czasu prasowania od grubości przedmiotu prasowanego przy różnych sposobach tłoczenia. Krzywa 1 podaje tę zależność przy użyciu metody pojemnościowej, 2 — przy podgrzewaniu termostatu, 3 — bez podgrzewania.

Na rys. 16 pokazana jest różnica między nagrzewaniem pojemnościowym (I) i nagrzewaniem w piecu elektrycznym (II) w przypadku żywicy fenolo-formolowej. Efekt cieplny, uzyskany metodą pojemnościową w ciągu 5 minut, nie da się uzyskać w piecu elektrycznym nawet po upływie 30 minut.

Wykresy na rys. 15 i 16 w sposób wyraźny wykazują wyższość nagrzewania pojemnościowego nad innymi metodami termicznymi.

Suszenie środków spożywczych. Spośród różnych zastosowań metody pojemnościowej omówić warto wyniki uzyskane przy suszeniu jarzyn. Jarzyny takie, jak buraki, marchew, kapusta, cebula lub kartofle, pocięte w płatki, poddaje się prasowaniu pod ciśnieniem 40 kg/cm<sup>2</sup>, z którego wychodzą w formie bloków o wymiarach 15 × 7,5 × 0,1 cm; bloki te umieszcza się między okładzinami kondensatora, zainstalowanego w przestrzeni o zmniejszonym ciśnieniu (rzędu 70—75 cm słupa rtęci), i w ciągu 5 min. podgrzewa się je prądami o częstotliwości 30 MHz do temperatury 50—60° C. Energia w. cz. rzędu 10 Wh wystarcza do zupełnego odwodnienia 500 g prasowanych jarzyn.

Odmrażanie środków spożywczych. Odmrażanie środków spożywczych jest jednym z ciekawszych zastosowań w. cz. Tak np. 12 kg zamrożonych truskawek doprowadzono do temperatury normalnej w ciągu paru minut, gdy ten sam wynik otrzymuje się po upływie 5 godzin ogrzewania gorącą wodą albo 3—7 dni w przypadku pozostawienia truskawek w temperaturze otoczenia.

Mrożone jajka w ilości 2 kg były odmrażane w ciągu 3 minut. Do pracy tej użyty był generator o mocy 2 kW, pracujący na częstotliwości 13 MHz.

#### 4. Zalety i wady grzejnictwa pojemnościowego.

Po zapoznaniu się z zastosowaniami technicznymi metody grzejnictwa pojemnościowego należy omówić jej zalety i wady.

Do bezsprzecznych jej zalet należy:

- równomierność nagrzewania materiałów jednorodnych,
- znaczne skrócenie czasu obróbki z jednoczesną możliwością kontroli wzrostu temperatury,
- możliwość bezstykowego przenoszenia mocy do wsadu, co oznacza, że między okładzinami kondensatora grzejnego a ciałem obrabianym może być warstwa powietrza,

d) możliwość lokalizowania ciepła przez odpowiednie ukształtowanie elektrod,

e) możliwość automatyzacji cyklu wytwórczego i przedstawienia go na pracę potokową.

Do wad tej metody zaliczyć należy:

a) wysoki koszt urządzenia, procentowo większy dla instalacji małej mocy,

b) ograniczenie wymiarów elektrod, a więc wymiarów obrabianego materiału, spowodowane koniecznością utrzymania równomierności nagrzania materiału,

c) niską sprawność, zawartą w granicach 30—50%, gdy np. sprawność grzejników oporowych wynosi blisko 100%.

Rozważenie celowości stosowania grzejnictwa pojemnościowego z punktu widzenia energetycznego jest bardzo ważne, lecz często pomijane, gdyż użytkownik sugeruje się bezspornymi zaletami tej metody, wymienionymi wyżej.

Należy stwierdzić, że metoda pojemnościowa jest w eksploatacji kosztowniejsza od każdej innej, a użycie jej jest uzasadnione z punktu widzenia gospodarczego jedynie tam, gdzie zawodzą inne sposoby nagrzewania, lub gdzie wyniki otrzymane przy jej użyciu znacznie przewyższają efekty otrzymane przy użyciu zwykłych metod nagrzewania.

Zasadniczym powodem wysokich kosztów eksploatacyjnych tej metody jest mała sprawność urządzenia.

Całkowitą sprawność urządzenia wyraża wzór:

$$\eta_{og} = \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_k,$$

- gdzie  $\eta_{og}$  — sprawność ogólna urządzenia,  
 $\eta_g$  — sprawność generatora z uwzględnieniem obwodu żarzenia i obwodów regulacyjnych, przeciętnie równa 0,55 ÷ 0,7,  
 $\eta_p$  — sprawność transformatora i prostownika = 0,92,  
 $\eta_k$  — sprawność obwodu roboczego grzejnego z uwzględnieniem strat elektrycznych i cieplnych = 0,6 ÷ 0,85;

wtedy

$$\eta_{og} = (0,55 \div 0,7) \cdot 0,92 \cdot (0,6 \div 0,85) = 0,3 \div 0,55.$$

Wynika stąd, że moc użyteczna tj. ta, która przechodzi do wsadu i zamienia się w ciepło, wynosi 30 do 55% mocy pobranej przez urządzenie z sieci.

Biorąc powyższe pod uwagę, należy podkreślić, że zagadnienie celowości stosowania pojemnościowej metody nagrzewania może być rozwiązane przez fachowca dla każdego procesu produkcyjnego jedynie po uwzględnieniu czynników zarówno natury technologicznej i energetycznej, jak i eksploatacyjnej.

#### LITERATURA

- Henry-Bezy. Le chauffage haute fréquence, 1948.
- Curtis W. S. Applications du chauffage H. F., 1948
- Donskoj A. W., Kuljaszow S. M., Frumkin A. A. Energetičeskije pokazateli vysokocastotnych ustanowok dla dielektriczeskogo nagriewa. Promysl. Energi., 1949, nr 4
- Kalitiwianski W. I. i Diegietiew W. Wysokocastotnyj nagriew plasticzskich mas. Elektriczewo, 1948, nr 4
- Debruyne H. P. Le chauffage à haute fréquence. Bull. S. B. É., 1941
- Burlando F. Possibilita di miglioramento nell'economia nazionale con i metodi di riscaldamento a radio frequenza. L'Ingegnere, 1947, nr 11/12

### IX

## Suszenie podczerwienią

MGR INŻ. MARIAN MAZUR

Treść. Podane są podstawowe wiadomości o źródłach promieniowania podczerwonego w zastosowaniu do suszenia podczerwienią i o zjawiskach, występujących w materiałach przy suszeniu tą metodą. Pokróćce omówione są również zasady budowy promienników podczerwieni i urządzeń suszących z podaniem ich zalet i głównych zastosowań.

#### 1. Wstęp.

Suszenie podczerwienią jest rodzajem obróbki cieplnej, polegającej na zastosowaniu promieniowania podczerwonego do usuwania wody lub innej cieczy z materiału przeznaczanego do wysuszenia.

Usuwanie cieczy przy suszeniu odbywa się przez nagrzewanie materiału suszonego, co sprzyja zwiększeniu parowania cieczy.

W procesie suszenia podczerwienią mamy do czynienia ze źródłem promieniowania podczerwonego oraz z materiałem suszonym, na który pada promieniowanie z tego źródła. Odpowiednio do tego w procesie suszenia podczerwienią występują dwa rodzaje przemian energii:

1) w źródle promieniowania energia cieplna zamienia się w energię promienistą, rozchodzącą się we wszystkich kierunkach,

2) w materiale suszonym padająca nań energia promienista zamienia się w energię cieplną, powodującą suszenie materiału.

Wynika z tego, że przebieg suszenia jest zależny od właściwości źródła promieniowania i od właściwości suszonego materiału w stosunku do danego promieniowania.

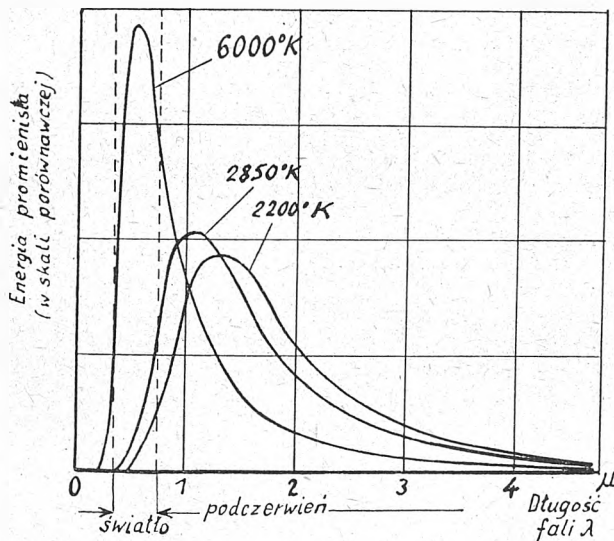
## 2. Źródła promieniowania.

Każde ciało wypromieniowuje energię promienistą o natężeniu zależnym od temperatury tego ciała, a mianowicie od jej wartości podniesionej do czwartej potęgi. Znaczący to, że jeśli np. pewne ciało ma 2 razy wyższą temperaturę niż inne ciało, przy czym oba ciała są wykonane z tego samego materiału i mają jednakowy kształt, to ciało o wyższej temperaturze wypromieniuje w danym czasie  $2^4$  czyli 16 razy więcej energii niż ciało o niższej temperaturze. Jak z tego widać, źródłami znacznych ilości energii promienistej mogą być tylko ciała o wysokiej temperaturze. Do suszenia podczerwienią stosuje się źródła promieniowania o temperaturze ok.  $2200^{\circ}\text{K}$  czyli  $1930^{\circ}\text{C}$ .

Promieniowanie, będące funkcją temperatury ciała promieniującego, nie jest jednorodne, lecz składa się z rozmaitych rodzajów promieniowania, różniących się długością fali promieniowania. Na zakres długości fali od  $0,4$  do  $0,76\ \mu$  przypada promieniowanie widzialne czyli światło; promieniowanie o fali poniżej  $0,4\ \mu$  nazywamy promieniowaniem nadfioletowym, a promieniowanie o fali powyżej  $0,76\ \mu$  — podczerwonym.

W promieniowaniu, będącym funkcją temperatury ciała, występują na ogół wszystkie te rodzaje promieniowania. Nazwa „źródło promieniowania podczerwonego“ nie oznacza, że źródło to wydaje tylko promieniowanie podczerwone, lecz że przeważająca część energii promieniowania tego źródła przypada na zakres podczerwieni. W urządzeniach do suszenia podczerwienią największe natężenie energii promienistej przypada na fale zawarte w granicach ok.  $1-2\ \mu$ .

Rys. 1 podaje przykładowo rozkład energii promienistej w zależności od długości fali promieniowania. Widać z niego, że energia promienista ma znacznie większe war-



Rys. 1. Rozkład energii promienistej w zależności od długości fali promieniowania

tości przy wyższych temperaturach. Ponadto wzrostowi temperatury towarzyszy przesunięcie się energii szczytowej w stronę krótszych fal.

Ponieważ do procesów suszenia potrzebna jest energia promienista o długościach fali rzędu  $1-2\ \mu$ , czyli w tzw. bliskiej podczerwieni, nie można budować źródeł promieniowania o zbyt wysokiej temperaturze, gdyż promieniowanie ich wkraczałoby w zakres zbyt krótkich fal.

Źródła promieniowania podczerwonego budowane w postaci specjalnych przyrządów noszą nazwę promienników podczerwieni. O sposobie pracy promienników rozstrzyga przede wszystkim ich temperatura, bez względu na to, w jaki sposób temperatura jest osią-

gana. Mogą więc być promienniki elektryczne — w postaci lamp podobnych do żarówek, jak również promienniki gazowe — w postaci płyt metalowych rozżarzanych za pomocą płonącego gazu świetlnego. Produkcja promienników elektrycznych jest na ogół ustalona; promienniki gazowe znajdują się jeszcze w okresie doświadczalnym. Obecnie można powiedzieć, że promienniki gazowe są znacznie mniej dogodne w użyciu niż promienniki elektryczne i nie tak wszechstronne jak tamte, natomiast są one oszczędniejsze w zużyciu energii. Stąd też pochodzi zainteresowanie się tymi promiennikami. W dalszym ciągu będzie mowa wyłącznie o promiennikach elektrycznych.

W zasadzie promiennikiem podczerwieni jest również każda żarówka, gdyż wytwarzana w niej energia promienista przypada w większym stopniu na zakres podczerwieni niż na zakres promieniowania widzialnego. Jednak jest to energia o falach krótszych niż potrzeba, dlatego też do celów suszenia nie używa się żarówek, lecz buduje się promienniki podczerwieni jako lampy specjalne o temperaturze żarzącego się włókna, wynoszącej ok.  $2200^{\circ}\text{K}$  (temperatura włókna w żarówkach wynosi ok.  $2800^{\circ}\text{K}$ ).

## 3. Zjawiska w materiałach suszonych podczerwienią.

Energia promienista, padając na pewne ciało, może być: a) odbita od powierzchni tego ciała, b) przepuszczona poprzez to ciało, c) pochłonięta przez nie.

W szczególnych przypadkach jedno z tych zjawisk może przeważać nad pozostałymi. Tak np. promieniowanie, padające na powierzchnię zwierciadlaną, ulega prawie w całości odbiciu. Ciało przezroczyste przepuszcza energię promienistą prawie w całości. Ciało, które energię promienistą pochłania w całości, nazywamy ciałem idealnie czarnym. W większości przypadków trzeba się liczyć z występowaniem wszystkich tych trzech zjawisk naraz.

W przypadku odbijania i przepuszczania energia zachowuje nadal swój charakter energii promienistej, natomiast w przypadku pochłaniania energia promienista ulega zamianie na energię cieplną, przyczyniającą się do podniesienia temperatury danego ciała, czyli do jego nagrzania.

A zatem o skuteczności suszenia podczerwienią rozstrzyga zdolność ciała suszonego do pochłaniania energii promienistej. Oczywiście, między pochłanianiem i przepuszczeniem zachodzi pewna zależność, im więcej bowiem energii promienistej pochłania dane ciało, tym mniejsza część energii zostanie przepuszczona, i na odwrót.

Zdolność rozmaitych ciał do pochłaniania energii promienistej nie jest bynajmniej jednakowa dla wszystkich długości fali promieniowania. Zdolność materiału suszonego do pochłaniania energii promienistej i rozkład długości fali promieniowania wydawanego przez promiennik powinny być do siebie odpowiednio dostosowane. Zagadnienie to objaśnia rys. 2.

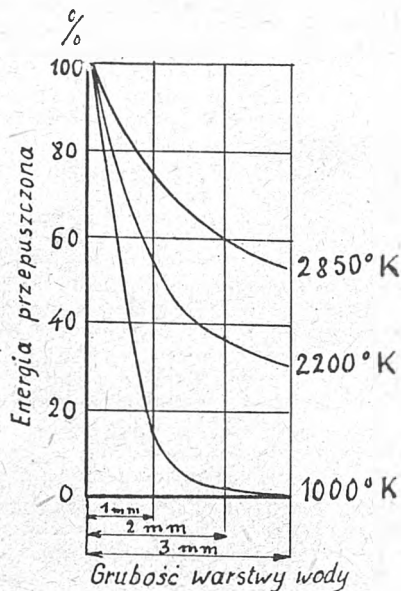
Z rysunku tego widać, że energia promienista ze źródła promieniowania o temperaturze  $1000^{\circ}\text{K}$  (np. grzejnika oporowego) ulega prawie całkowitemu pochłonięciu już w pierwszym milimetrze warstwy wody, gdy tymczasem energia promienista ze źródła o temperaturze  $2850^{\circ}\text{K}$  (np. żarówki) jest pochłaniana w małym stopniu i przy przejściu przez warstwę 3-milimetrową ulega pochłonięciu niespełna 50% tej energii. Najbardziej równomierne pochłanianie, a więc i nagrzewanie warstwy wody zapewnia źródło o temperaturze  $2200^{\circ}\text{K}$ , czyli promiennik podczerwieni.

Jasne jest więc, że źródła promieniowania o zbyt wysokiej temperaturze (np. żarówki) nie nadają się do procesów suszenia warstw wilgoci, gdyż energia promienista tych źródeł w małym stopniu nagrzewa warstwę wody przeznaczonej do wyparowania, a zużywa się głównie na niepotrzebne nagrzewanie podłoża. Z drugiej strony energia promienista ze źródeł o zbyt niskiej temperaturze (np. grzejników oporowych) ulega pochłonięciu już w zewnętrznej warstwie, nie przenikając do głębi.

Zbyt powierzchniowe suszenie wskutek zbyt niskiej temperatury jest szczególnie niepożądane przy suszeniu przedmiotów lakierowanych, gdyż przedwczesne wyschnięcie lakieru na powierzchni utrudnia schnięcie warstw głębszych.

Nagrzewanie podczerwienią jest szczególnie przydatne do suszenia przedmiotów w niezbyt głębokich warstwach przy powierzchni, np. przedmiotów lakierowanych, mało-

wanych, wilgotnych itp., bądź też przedmiotów o bardzo małych rozmiarach, a więc np. ciał w stanie sproszkowanym. Przenikanie energii promienistej w postaci energii cieplnej do płytkich warstw pod powierzchnią materiału jest niewątpliwą zaletą suszenia promiennikowego, którą



Rys. 2. Przenikanie energii promienistej w warstwie wody

góruje ono nad suszeniem przewiewowym (np. w suszarkach z przewiewem nagrzanego powietrza). Natomiast należy pamiętać o tym, że nagrzewanie podczerwienią nie nadaje się do suszenia skrośnego dużych przedmiotów (np. mokrych belek drewnianych), nie należy przeto stawiać tej metodzie wymagań, do których spełnienia nie jest ona odpowiednia.

#### 4. Budowa promiennika.

Elementem promieniującym energię jest spiralne włókno wolframowe, umieszczone w zamkniętej bańce szklanej. Zadaniem bańki szklanej jest niedostępienie dopływu tlenu z powietrza do włókna, inaczej bowiem włókno przy temperaturze 2200° K uległoby niezwłocznie zniszczeniu wskutek utlenienia (z tego samego względu również i w żarówkach włókno znajduje się w zamkniętej bańce szklanej). Bańki promienników są wypełnione azotem. Wykonywa się je ze szkła o dużej przepuszczalności dla promieni podczerwonych.

Energia promienista wytwarzana przez promiennik jest tylko wtedy energią użyteczną, gdy pada na przedmiot suszony, dlatego też każdy promiennik musi być zaopatrzony w reflektor, którego zadaniem jest odbicie promieniowania wysyłanego w niepożądanym kierunku i skierowanie go na suszone przedmioty. Do tego celu są stosowane zarówno reflektory umieszczane zewnątrz promiennika, jak i wewnątrz jego bańki. Reflektory zewnętrzne przyjęły się głównie w Ameryce; w Europie powszechnie stosuje się reflektory wewnętrzne.

Reflektory wewnętrzne mają następujące zalety:

a) zwierciadło wewnętrzne nie jest narażone na uszkodzenia mechaniczne (np. porysowanie), na zabrudzenie (np. kurzem), ani też na szkodliwe wpływy chemiczne i dzięki temu zachowuje trwale zdolność odbijania promieniowania;

b) mniejsza część energii ulega pochłanianiu przez szkło bańki promiennika, gdyż każdy promień — zarówno odbity od reflektora, jak i skierowany bezpośrednio na suszony materiał — przechodzi tylko raz przez szkło bańki; natomiast przy reflektorze zewnętrznym promienie skierowane na reflektor muszą przejść przez szkło bańki, a po odbiciu od reflektora część ich przechodzi poprzez obie ściany bańki, zanim padnie na suszony przedmiot, a zatem ta część promieniowania przechodzi przez szkło bańki trzykrotnie, z czym związane jest zwiększenie strat energii promienistej, wywołane pochłanianiem jej przez szkło;

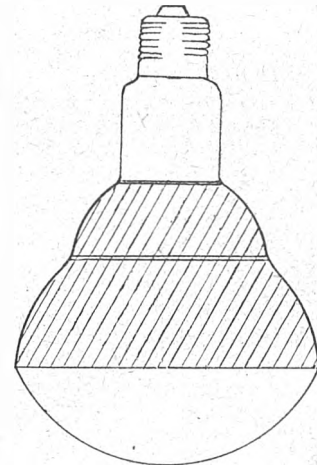
c) przy reflektorze wewnętrznym odpada dodatkowy

przedmiot, jakim jest reflektor zewnętrzny, wraz z koniecznością jego zamocowywania, konserwacji itd.

Natomiast na korzyść reflektorów zewnętrznych należy wymienić możliwość ich dowolnego ustawiania względem promiennika. Poza tym przy stłuczeniu się promiennika nie niszczy się reflektor, gdy tymczasem reflektor wewnętrzny ulega zniszczeniu wraz z promiennikiem.

Kształt promiennika o reflektorze wewnętrznym jest przedstawiony na rys. 3.

Reflektor wewnętrzny stanowi część bańki szklanej, pokrytą warstwą metalu o dużej zdolności odbijania promieniowania. Jako metal odbijający promieniowanie stosuje się aluminium. Również srebro i złoto znajdują za-

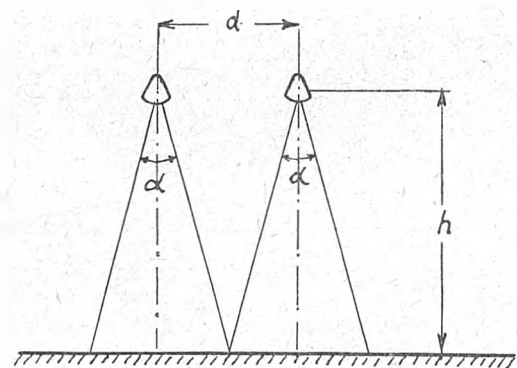


Rys. 3. Promiennik podczerwieni

stosowanie do tego celu (głównie na reflektory zewnętrzne, gdzie potrzebna jest szczególnie duża zdolność odbijania). Kształt reflektora zbliżony jest w przekroju do paraboli. Czołowa część bańki, przeznaczona do przepuszczania promieni w kierunku suszonych przedmiotów, bywa lekko matowana w celu zwiększenia równomierności promieniowania.

Zastosowanie reflektorów ogranicza rozsył promieniowania do małego kąta przestrzennego, przy znacznym zwiększeniu natężenia promieniowania. Skierowane w ten sposób promieniowanie zawiera się w stożku o kącie rozwarcia ok. 30°.

Najbardziej rozpowszechnione są promienniki o mocy 250 W, na napięciu 220 V. W promiennikach tych natężenie napromienienia na płaszczyźnie odległej o 10 cm od czołowej powierzchni bańki wynosi 500—600 mW/cm<sup>2</sup>



Rys. 4. Rozmieszczenie promienników

w punkcie położonym na osi promiennika i w punktach położonych w odległości do 2,5 cm w kierunku poprzecznym do osi. Na płaszczyźnie odległej o 30 cm, w punktach położonych w odległości do 5 cm w kierunku poprzecznym do osi, napromienienie wynosi 120—140 mW/cm<sup>2</sup>. Dla porównania można przytoczyć, że napromienienie słoneczne w najkorzystniejszych warunkach jest rzędu 100 mW/cm<sup>2</sup>.

#### 5. Urządzenia do suszenia podczerwienią.

Ze względu na mały kąt rozsyłu promieniowania do suszenia większych powierzchni zachodzi potrzeba umie-



szczenia wielu promienników obok siebie. Najkorzystniejsze okazało się rozmieszczenie promienników w ten sposób, że tworzą one siatkę złożoną z trójkątów równobocznych. Odległość między sąsiednimi promiennikami określamy, biorąc pod uwagę kąt rozwarcia stożka rozsyłu promieniowania oraz odległość promienników od płaszczyzny suszonej.

Na podstawie zależności geometrycznych widocznych z rys. 4 można określić odległość między sąsiednimi promiennikami za pomocą wzoru:

$$d = 2h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

gdzie

$d$  — odległość między sąsiednimi promiennikami,  
 $h$  — odległość promienników od suszonej płaszczyzny,  
 $\alpha$  — kąt rozwarcia stożka rozsyłu promieniowania.

Przy kącie rozwarcia  $\alpha = 30^\circ$  otrzymujemy  $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg} 15^\circ = 0,268$ , wobec czego

$$d = 2 \cdot h \cdot 0,268 = 0,536 \cdot h$$

Orientacyjnie można więc powiedzieć, że odległość między promiennikami powinna w przybliżeniu wynosić około połowy odległości promienników od płaszczyzny suszonej.

Typowymi urządzeniami do suszenia podczerwienią są tunele suszące, w których przedmioty suszone są przesuwane ze stosunkowo niewielką prędkością. W ścianach tunelu umieszczone są oprawki gwintowane, do których wkręca się trzonki promienników. Tunele takie nadają się do pracy potokowej, tym korzystniejszej, że ruch przedmiotów w tunelu łagodzi ewentualne nierówności napromienienia.

Przy suszeniu materiału w postaci arkuszy (np. w piernictwie, włókiennictwie) promienniki rozmieszcza się odpowiednio do wymagań danego procesu wytwórczego.

Celowe zastosowanie znalazły promienniki do suszenia uzwojeń w maszynach elektrycznych. Tak np. suszenie stojana odbywa się przez wstawienie do jego wnętrza jednego promiennika nie zaopatrzonego w reflektor, gdyż w tym przypadku pożądanym jest wielokierunkowy rozsył promieniowania.

Poza tym suszenie podczerwienią możliwe jest za pomocą pojedynczych promienników do rozmaitych celów (w zakładach fotograficznych do suszenia błon, w zakładach fryzjerskich do suszenia włosów, w łazienkach itp.).

Urządzenia do suszenia podczerwienią mają wiele istotnych zalet:

- urządzenia są proste i łatwe w obsłudze,
- regulacja natężenia suszenia jest bardzo ułatwiona,

gdyż w razie potrzeby wystarczy wyłączenie części promienników,

c) urządzenia nadają się do pracy systemem potokowym i do automatyzacji,

d) suszenie odbywa się w sposób równomierny, co podnosi jakość produkcji i jej wydajność (zmniejszenie braków),

e) czas suszenia jest kilkakrotnie krótszy niż przy innych sposobach suszenia,

f) istnieje możliwość suszenia na miejscu przedmiotów trudnych do transportowania,

g) większa jest czystość pracy (mniejsze wywiązywanie się kurzu).

## 6. Zastosowania suszenia podczerwienią.

Suszenie podczerwienią, coraz szerzej wprowadzane w krajach uprzemysłowionych w okresie ostatniego dziesięciolecia, znajduje zastosowanie w najrozmaitszych gałęziach przemysłu. Wśród przedmiotów, dla których suszenie podczerwienią znalazło niewątpliwie zastosowanie, bądź też znajduje się w stadium doświadczeń, należy wymienić:

przedmioty do suszenia po lakierowaniu, malowaniu, emaliowaniu,

silniki, transformatory, kable itp. do suszenia po nasyceniu,

produkty farmaceutyczne, chemikalia,  
 przedmioty metalowe do suszenia z wilgoci,  
 produkty żywnościowe,  
 tkaniny,  
 oleje, tłuszcze,  
 zioła, tytoń,  
 arkusze papieru, celuloidu,  
 filmy i błony fotograficzne, druki,  
 skóry, róg, produkty zwierzęce,  
 materiały i przybory filtracyjne itd.

Suszenie podczerwienią, zwłaszcza na naszym terenie, jest metodą nową, mającą przed sobą daleko idące możliwości, zarówno co do zastosowań znanych już w innych krajach, jak i zastosowań dalszych. Wyzyskanie tych możliwości, zwłaszcza wobec uruchomienia już krajowej produkcji promienników, otwiera rozległe pole działania dla racjonalizacji procesów przemysłowych.

## LITERATURA

- Chołódowska R. S. Nagrzew infrakrasnym izluczenjem. Moskwa — Leningrad, 1945.
- Zimmermann G. Die Eignung von Infrarot für die Trocknung von Futter- und Nahrungsmitteln. Zürich, 1946.
- Manders Th. J. J. A. La lampe de séchage et ses principales applications. Revue Technique Philips, 1947/48, nr 8.

X

## Osiągnięcia i perspektywy elektrotermii

MGR INŻ. M. MAZUR

Treść. Autor omawia dotychczasowy rozwój elektrotermii, dopatrując się przyczyn jego wzmocnienia w ostatnich latach we wprowadzeniu metod nagrzewania bezpośredniego, opartych głównie na technice wielkiej częstotliwości. Artykuł zawiera również zestawienie cbechnych osiągnięć technicznych w poszczególnych metodach grzejnych oraz przypuszczenia co do kierunków dalszego rozwoju elektrotermii.

Odkrycie zjawiska przemiany energii elektrycznej w energię cieplną przy przepływie prądu elektrycznego przez przewodnik, czyli tzw. zjawiska Joule'a, było stwierdzeniem mającym istotne znaczenie dla elektrotechniki w ogóle, w szczególności zaś dało początek elektrotermii, tj. nauce o zjawiskach przemiany energii elektrycznej w ciepłą, i stało się podstawą techniki wyzyskania tych zjawisk, czyli techniki grzejnictwa elektrycznego.

Należy zauważyć, że zainteresowanie zjawiskiem Joule'a w elektrotermii ma wręcz przeciwny charakter niż zainteresowanie tym zjawiskiem w innych dziedzinach elektrotechniki. Przeciwnieństwo polega na tym, że gdy inne dziedziny elektrotechniki uważają to zjawisko za szkodliwe, gdyż ciepło powstające w procesach elektrycznych jest tam marnowaniem energii, a towarzyszące temu podniesienie temperatury elementów urządzeń elektrycznych jest poważnym ograniczeniem w budowie i używaniu tych urządzeń, to w elektrotermii jest to zjawisko pożyteczne

i stanowi zasadniczy cel budowania elektrycznych urządzeń grzejnych.

Zjawisko Joule'a, występujące w przewodnikach stałych, jest podstawą nagrzewania oporowego. Ten rodzaj nagrzewania elektrycznego doznał wszechstronnego rozwoju i przez długie lata stanowił, praktycznie biorąc, jedyną metodę grzejnictwa elektrycznego. I dziś jeszcze można się spotkać z mylnym mniemaniem, że grzejnictwo elektryczne jest po prostu grzejnictwem oporowym. Tymaczy się to tym, że grzejnictwo oporowe poza przemysłem, gdzie wytworzyło wartościowe i do chwili obecnej stosowane narzędzia obróbki cieplnej w postaci pieców oporowych, znalazło bardzo różnorodne zastosowanie w postaci rozmaitych przyrządów grzejnych w gospodarstwie domowym, jak np. żelazka, piecyki wewnętrzne, warki, kuchenki, piekarniki, naczynia elektryczne, kawiar-ki, grzałki, suszki do włosów, poduszki elektryczne i wiele innych. Z przyrządami tymi przeciętny człowiek ma naj-

częściej do czynienia, toteż trudno się dziwić, że kształtują one jego pojęcia o dziedzinie techniki, która mu tych urządzeń dostarcza.

Obok grzejnictwa oporowego rozwinęły się dwie dalsze metody grzejne, a mianowicie nagrzewanie elektrodowe, tj. nagrzewanie elektryczne występujące przy przepływie prądu w cieczach, oraz nagrzewanie łukowe, jako nagrzewanie elektryczne przy przepływie prądu w gazach, ściślej zaś mówiąc — w powietrzu. Obie te metody znalazły zastosowanie wyłącznie w przemyśle, jako przydatne przede wszystkim do urządzeń o większych mocach.

Jak wiadomo, procesy cieplne wywierają ogromny wpływ na przebieg wszelkich zjawisk zarówno w świecie nieorganicznym, jak i organicznym. Są one nieodłącznie związane ze zjawiskami fizycznymi i chemicznymi, toteż wszelkie procesy technologiczne wymagają odpowiedniej temperatury, czy to gdy idzie o przemiany stanu skupienia, jak topnienie i parowanie, czy też tworzenie i rozkładanie się związków chemicznych. Dowodem znaczenia procesów cieplnych dla ciał organicznych może być chociażby dążność organizmu ludzkiego do regulowania własnej temperatury w sposób tak ścisły, że odchylenie o kilka dziesiątych stopnia od temperatury normalnej jest już oznaką stanu chorobowego.

Wobec doniosłości procesów cieplnych należałoby sądzić, że elektrotermia powinna była od dawna zająć jedno z czołowych miejsc wśród działań elektrotechniki. Tymczasem w krajach o dużym rozwoju przemysłu do niedawna, a u nas niemal do chwili obecnej elektrotermia stanowiła mniej ważne zastosowanie elektrotechniki, ubogie w literaturę techniczną i kadry specjalistów, traktowane ubocznie w programach szkolnictwa.

Na ten pozornie paradoksalny stan rzeczy złożyły się głębokie i zasadnicze przyczyny, które zasługują na bliższe omówienie, gdyż na tej podstawie można określić rolę elektrotermii w przyszłości.

Elektryczność nie jest jedynym źródłem ciepła. Co więcej, zjawiska elektryczne zostały opracowane naukowo i ujęte w formy techniczne stosunkowo od niedawna. Do tego czasu źródłem energii cieplnej były, a w przeważającym stopniu są i dziś jeszcze procesy spalania rozmaitych paliw, głównie związków węgla, jak węgiel kopalny, drewno i gazy palne. Poza tym podstawową i ciągle aktualną rolę odgrywa ciepło, którego zasoby zawiera ziemia jako planeta, oraz ciepło pochodzące z promieniowania słonecznego.

Rozwój elektrotechniki nie wprowadził nowego źródła energii, lecz nową postać energii, a mianowicie energię elektryczną. Energia elektryczna pochodzi z zasobów znanych źródeł energii, a więc np. z energii chemicznej paliw, bądź z energii mechanicznej spadku wody. Energia elektryczna jest więc rodzajem energii pośredniczącym pomiędzy energią źródeł pierwotnych i energią potrzebną użytkownikowi.

Każda przemiana energii połączona jest ze stratami energii, polegającymi na tym, że przemieniana energia zamienia się nie całkowicie na energię o pożądanej postaci lub występującą w pożądanym miejscu. Tak np. energia elektryczna doprowadzana do silnika nie całkowicie idzie na napęd sprzężonej z nim obrabiarki, lecz częściowo także na energię cieplną nagrzewania się uzwojeń, tarcia w łożyskach itd. Jest więc zrozumiałe, że wskutek nieuniknionych strat energia elektryczna wytworzona w elektrowni jest kosztowniejsza niż energia zawarta np. w paliwie, użytym w elektrowni na wytworzenie energii elektrycznej.

Można zatem wysunąć wątpliwości, czy nie lepiej zużytkować bezpośrednio energię cieplną paliwa przez jego spalenie w odpowiednim urządzeniu grzejnym (np. w piecu węglowym do ogrzewania pomieszczeń), zamiast przetwarzać w elektrowni energię paliwa w energię elektryczną, aby tę energię ponownie przemienić w energię cieplną (np. w piecyku elektrycznym), otrzymując przy tym energię cieplną w ilości znacznie mniejszej niż jej było w paliwie.

Należy na to odpowiedzieć, że energia cieplna uzyskana z elektrycznego urządzenia grzejnego jest wprawdzie bardziej kosztowna, lecz wzamian za to jest znacznie dogodniejsza w regulacji i kontroli, zapewnia większą czystość i zdrowotność pracy (brak spalin, dymu). Niemniej są to zalety dotyczące raczej wygody jej użytkowania, toteż w okresach następujących wielkie trudności gospodarcze

kraju (np. wskutek zniszczeń wojennych), z reguły ustaje dostawa energii elektrycznej do grzejników domowych (zakazy używania grzejników elektrycznych), a i w przemyśle chętniej daje się pierwszeństwo nagrzewaniu płomieniowemu, tj. za pomocą paliw, niż nagrzewaniu elektrycznemu, oczywiście, z wyjątkiem nagrzewania elektrycznego w takich procesach wysokotemperaturowych, w których nagrzewanie płomieniowe jest niewystarczające.

W tym stanie rzeczy grzejnictwo elektryczne było techniką wprawdzie dogodną, ale nie konieczną, toteż i nacisk na jego rozwój był znacznie słabszy niż w innych dziedzinach elektrotechniki. Jedynym bodźcem do propagowania grzejników elektrycznych była, w czasach normalnych, dążność elektrowni do wyzyskania maszyn i urządzeń w okresach spadku zapotrzebowania energii elektrycznej (np. w nocy lub przed południem) chociażby po niższej taryfie. Stosowanie zniżek zmniejszało rozpiętość cen energii cieplnej z elektrycznych urządzeń grzejnych i energii otrzymywanej bezpośrednio z paliw.

Śluszność powyższych rozważań jest tylko częściowa, a mianowicie dotyczy wyłącznie elektrycznych urządzeń grzejnych o nagrzewaniu pośrednim, które polega na tym, że ciepło jest wytwarzane w osobnym elemencie grzejnym, w odróżnieniu od nagrzewania bezpośredniego, kiedy ciepło wytwarza się od razu w przedmiocie nagrzewanym.

Przy nagrzewaniu pośrednim nie wystarcza samo wytworzenie ciepła z energii elektrycznej; musi ono ponadto przejść z elementu grzejnego do przedmiotu nagrzewanego. Odbywa się to na drodze przewodzenia, unoszenia i promieniowania, a więc na takiej samej drodze, na jakiej ciepło rozchodzi się w urządzeniach o nagrzewaniu płomieniowym. Nagrzewanie ciał z osobnego źródła ciepła musi więc z konieczności odbywać się przy nierównomiernym rozkładzie temperatur, gdyż ciepło będzie tylko wtedy przenikało z powierzchni do wnętrza ciała, gdy temperatura na powierzchni będzie wyższa niż w głębi. Ponieważ pod tym względem elektryczne nagrzewanie pośrednie nie różni się zasadniczo od nagrzewania płomieniowego, a grzejnictwo oporowe jest w ogromnej większości przypadków oparte na zasadzie nagrzewania pośredniego, nie miało ono nad nagrzewaniem płomieniowym istotnej wyższości poza większą dogodnością pracy i to okupioną wyższymi kosztami wytwarzanej energii cieplnej.

Inaczej sprawa przedstawia się przy elektrycznym nagrzewaniu bezpośrednim. Ciepło nie jest tu doprowadzane z zewnątrz do nagrzewanego ciała, lecz powstaje w nim samym. Ciało nagrzewa się od razu w swojej masie w sposób jednorodny, przy znacznie mniejszych stratach cieplnych i z szybkością bez porównania większą niż przy nagrzewaniu pośrednim. Co więcej, elektryczne nagrzewanie bezpośrednie wykazało przydatność do takich rodzajów obróbki cieplnej, które żadnymi innymi sposobami nie dadzą się wykonać. W tym zakresie metody elektrotermiczne okazały się niezastąpione, a względy na koszt energii straciły na znaczeniu.

Ujawniło się tu już w nielicznych przypadkach zastosowania grzejnictwa oporowego o nagrzewaniu bezpośrednim: oporowe nagrzewanie bezpośrednie przy wyrobie grafitu i karborundu utrzymało się dotychczas jako najlepsza metoda produkcji tych materiałów. Podobnie bezkonkurencyjne jest zastosowanie nagrzewania elektrodowego do produkcji i rafinowania aluminium.

W świetle tych wyjaśnień jest zrozumiałe, że zakres zastosowań i znaczenie elektrotermii wzrasta w miarę pojawiania się coraz nowszych metod elektrycznego nagrzewania bezpośredniego. Jest przy tym rzeczą charakterystyczną, że w rozwoju tych metod występuje zastosowanie prądów zmiennych o coraz większej częstotliwości.

Tak więc w okresie ostatnich 20—25 lat nastąpił rozwój nagrzewania indukcyjnego do topienia metali, najpierw w postaci pieców indukcyjnych rdzeniowych na częstotliwość przemysłową 50 Hz (początkowo nawet poniżej tej częstotliwości, celem poprawienia współczynnika mocy), a następnie również pieców indukcyjnych bezrdzeniowych na częstotliwość w zakresie ok. 500—3000 Hz.

Nieco później wprowadzono nagrzewanie indukcyjne do hartowania stali przy częstotliwościach rzędu 15 000 Hz.

W ciągu drugiej wojny światowej, gdy zaczęto budować generatory elektronowe dużej mocy, zastosowano nagrzewanie indukcyjne do powierzchniowego hartowania stali przy częstotliwościach 500 000 — 1 000 000 Hz.

Jednocześnie wprowadzono nagrzewanie pojemnościowe do obróbki cieplnej dielektryków (żywice sztucznych, drewna, gumy) przy użyciu generatorów elektronowych o częstotliwości rzędu 1 000 000 — 50 000 000 Hz.

I wreszcie w ostatnim dziesięcioleciu wprowadzono nagrzewanie promiennikowe za pomocą promienników podczerwieni do suszenia powierzchniowego.

W dzisiejszym stanie elektrotermia rozporządza sześcioma zasadniczymi metodami nagrzewania elektrycznego, z których każda obejmuje liczne rodzaje obróbki cieplnej, i przybierającymi coraz bardziej charakter samodzielnych działów techniki. Wyzyskują one wszelkie rodzaje prądu elektrycznego, od prądu stałego aż do prądów o częstotliwościach radiowych, łącznie ze zjawiskami promieniowania elektromagnetycznego. Pod względem zastosowań elektrotermia obejmuje różne rodzaje obróbki cieplnej, związane z przemysłem metalowym, ceramicznym, chemicznym, drzewnym, włókienniczym, papierniczym, spożywczym i innymi. W krajach o dużym uprzemysłowieniu zużycie energii do celów elektrotermicznych stoi na drugim miejscu, a mianowicie jest nieco tylko mniejsze niż łączne zużycie energii elektrycznej w silnikach elektrycznych, większe zaś niż zużycie energii do oświetlenia.

W skali światowej stan postępów elektrotermii można scharakteryzować w sposób następujący.

**Nagrzewanie oporowe.** Pod względem rozmiarów dochodzi się już do oporowych pieców tunelowych o długości rzędu 100 m. Pod względem mocy stosuje się już w przemyśle piece oporowe o mocy rzędu tysięcy kilowatów. Możliwości te osiągnięto dzięki udoskonaleniu materiałów na elementy grzejne, materiałów ogniotrwałych oraz materiałów — izolatorów cieplnych. Osiągnięto również znaczną dokładność procesów obróbki cieplnej przez dobieranie odpowiednich rodzajów atmosfery i przez automatyzację temperaturowego programu nagrzewania, opartą na regulacji temperatury za pomocą regulatorów elektronowych, nie wymagających styków i pozbawionych bezwładności działania.

Udoskonalono produkcję oporowych materiałów grzejnych, co umożliwiło podniesienie temperatury roboczej przy zastosowaniu metalowych elementów grzejnych do 1350° C, przy zastosowaniu elementów ceramicznych — do 1400—1500° C, a w specjalnych przypadkach przy użyciu elementów grafitowych i węglowych nawet do 2700° C.

**Nagrzewanie indukcyjne** małej częstotliwości. Udoskonalenia pieców indukcyjnych rdzeniowych, przeznaczonych do topienia metali, umożliwiają obecnie zasilanie ich prądem wyłącznie o częstotliwości 50 Hz, przy zachowaniu dobrego współczynnika mocy, a mianowicie ok. 0,8. Wprowadzono dokładną kontrolę temperatury, zmniejszono straty ciepła. Piece te buduje się jako jednostki o pojemności do 1000 kg, a w pewnych przypadkach — o pojemności 2000 do 3000 kg. Moc tych pieców sięga setek kilowatów.

W piecach indukcyjnych bezrdzeniowych podniesiono zakres stosowanych częstotliwości do 5000 Hz, a nawet do 10 000 Hz. Oprócz udoskonalenia prądnic o tych częstotliwościach wprowadzono generatory elektryczne do zasilania pieców, przez co uzyskano możliwość łatwego przystosowywania pieca do topienia rozmaitych metali, dokład-

ność regulacji mocy oraz charakter pracy stateczny i cichy. Urządzenia te sięgają pod względem mocy kilku tysięcy kilowatów.

**Nagrzewanie indukcyjne** wielkiej częstotliwości. Osiągnięto możliwość hartowania przedmiotów stalowych w rewelacyjnie krótkim czasie (w ciągu sekund zamiast godzin) w sposób dokładny, w razie potrzeby ściśle umiejscowiony, bez wypaczania się hartowanych przedmiotów i bez tworzenia zendry na ich powierzchni.

**Nagrzewanie pojemnościowe.** Uzyskano możliwość nagrzewania w bardzo krótkim czasie ciał o dużej oporności elektrycznej i małej przewodności cieplnej, w sposób równomierny w stopniu dotychczas nieosiągalnym. Dzięki temu stworzono nowe możliwości w technologii tłoczysz (jednorodne podgrzewanie przed tłoczeniem), gumy (wulkanizacji) i drewna (klejenie i suszenie).

**Nagrzewanie promiennikowe.** Wprowadzono na wielką skalę suszenie podczerwienią, uzyskując znaczne skrócenie czasu, równomierność i automatyzację procesu suszenia przy niezwyklej prostocie urządzeń.

Ogólnie można stwierdzić, że postępy elektrotermii polegają na rozszerzeniu zastosowań obróbki cieplnej, wielokrotnym skróceniu czasu obróbki, udoskonaleniu dokładności obróbki cieplnej pod względem temperaturowym — zarówno co do ściśle określonej wysokości temperatury, jak i jej rozkładu — i wreszcie na automatyzacji obróbki cieplnej.

Poza klasycznymi metodami nagrzewania elektrotermia pozostaje w ścisłym związku z wieloma dziedzinami techniki, jak spawalnictwo elektryczne, technika elektromedyczna (diatermia), klimatyzacja (pompa ciepła), obróbka mechaniczna metali (elektroerozja) i inne.

Możliwości elektrotermii są jeszcze dalekie od wyczerpania, zwłaszcza u nas wobec procesów rozwojowych naszej gospodarki przemysłowej.

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń można przewidywać, że nagrzewanie elektryczne, zwłaszcza bezpośrednio, z jednej strony będzie wypierało nagrzewanie płomieniowe, z drugiej zaś strony będzie zdobywało coraz dalsze zastosowania, niemożliwe do zrealizowania dotychczasowymi metodami.

Należy oczekiwać dalszego zacieśnienia się związku pomiędzy elektrotermią i elektroniką zarówno w zakresie źródeł energii elektrycznej (generatory elektronowe), jak i kontroli urządzeń grzejnych (elektronowe przyrządy do mierzenia i regulacji temperatury, elektronowe dawkowanie czasu obróbki cieplnej).

Można poza tym przypuszczać, że dalszy rozwój elektrotermii będzie zmierzał raczej do budowania większej liczby samodzielnych jednostek o niezbyt dużej mocy, w znacznym stopniu zautomatyzowanych i powiązanych z urządzeniami nieelektrotermicznymi w potokowe cykle produkcyjne.

W perspektywie elektrotermia ma wzbogacenie się o jeszcze jedną metodę nagrzewania, a mianowicie o nagrzewanie za pomocą energii jądrowej. Są podstawy do przypuszczenia, że będzie to jeden z pierwszych sposobów wyzyskania tego rodzaju energii do celów pokojowych. W obecnej chwili trudno jeszcze przewidzieć, jaki wpływ wywarłoby to na inne rodzaje nagrzewania elektrycznego.

## PRZEGLĄD CZASOPISM

### ZASILANIE POTRZEB WŁASNYCH W ZAKŁADACH ELEKTRYCZNYCH

Power supply for generating station auxiliary services. The Journal of the Institution of Electrical Engineers (1947, cz. II, t. 94, nr 40, str. 372—384)

#### 1. Wstęp.

Właściwe rozwiązanie zagadnienia potrzeb własnych jest jednym z głównych zadań w projekcie elektrowni. Zagadnienie zasilania tych potrzeb winno być podjęte już w początkowej fazie prac nad projektem, gdyż jest ono nie mniej ważne niż powiązanie zakładu z siecią krajową, przewidywane jego obciążenie, wybór paliwa, dostawa wody obiegowej, plan sytuacyjny, liczba i wielkość kotłów i turbin, ważniejsze szczegóły obiegu cieplnego. Wraz z po-

wstaniem szeregu wielkich elektrowni w ostatnich 25 latach wiele zmieniło się również w metodach zasilania potrzeb własnych. W każdym razie wielkość zakładu, pewne dane układu sieciowego przezeń zasilanego i główne cechy zastosowanego obiegu cieplnego nadal mają decydujący wpływ na część projektu dotyczącą tych potrzeb.

W niniejszym artykule omawia się to zagadnienie w zastosowaniu do zakładów wyposażonych w turbospoły o mocy nie mniejszej jak 20 MW, w warunkach ogólnych współpracy z siecią państwową. Praktyka amerykańska pozwala przypuszczać, że rozwiązanie przyjęte dla przypadku turbospołów o mocy 30—50 MW nie będą wymagały poważniejszych zmian przy zastosowaniu w przyszłości zespołów o większej mocy. Można mówić wobec tego



o wkroczeniu w fazę pewnej normalizacji systemów zasilania potrzeb własnych.

## 2. Wymagania potrzeb własnych.

Znaczna większość tych potrzeb prowadzi do zastosowania maszyn wirujących, nadających się do napędu elektrycznego lub parowo-turbinowego.

Na wielkość zainstalowanej mocy i zużytej energii na potrzeby własne mają wpływ przede wszystkim wielkość elektrowni, ciśnienie pary i metoda spalania (paleniska rusztowe lub na pył węglowy). Oto kilka danych dla urządzeń potrzeb własnych w procentach odpowiednich danych dla całego zakładu:

|   |        |
|---|--------|
| moc zainstalowana                                 | 6—10%, |
| obciążenie chwilowe                               | 4—8%,  |
| zużycie energii w stosunku do energii wytworzonej | 4—8%.  |

Jako nie najważniejsze potrzeby uznaje się urządzenia do nawęglania i odpowielania, dźwigi, warsztaty, niektóre pompy i części oświetlenia; w sumie odbiory te reprezentują 10—15% mocy zainstalowanej na potrzeby własne. W wypadkach wątpliwych, czy daną grupę odbiorów zaliczyć do ważnych czy mniej ważnych, należy je sklasyfikować jako ważne; zazwyczaj chodzi w tego rodzaju wypadkach o niewielkie moce, które nie mają prawie wpływu na moc transformatora zasilającego lub oddzielnej prądnicy do celów potrzeb własnych. W każdym razie jako napędy ważne trzeba uznać — poza powszechnie spotykanymi w każdym zakładzie — silniki elektryczne napędzające oddzielne wzbudnice i pompy do sztucznego obiegu wody w kotłach.

## 3. Wybór między napędem parowym a elektrycznym.

Przeгляд nowoczesnych elektrowni różnych krajów pozwala ustalić, że napęd dla potrzeb własnych bywa całkowicie zelektryfikowany. Napęd parowy jest używany jedynie dla rezerwowych pomp zasilających kotły, dla pomocniczych pomp olejowych do turbozespołów, dla awaryjnych pomp wody obiegowej i wody w kotłach ze sztucznym obiegiem.

Główna zaleta napędu parowego własnych potrzeb, a mianowicie niezależność od zaburzeń w części elektrycznej zakładu, straciła na znaczeniu przy obecnie stosowanych metodach zasilania tych potrzeb. Napęd elektryczny jest ogólnie uznany jako niezawodny.

Same względy gospodarcze nie decydują zupełnie wyraźnie o przewadze jednego lub drugiego rodzaju napędu. Dla umiarkowanych ciśnień i temperatur pary sam koszt napędu parowego jest nieco niższy, gdyż jakkolwiek koszt turbin z rurociągami jest na ogół tego samego rzędu, co silników z kablami oraz przyrządami rozdzielczymi i zabezpieczającymi, to jednak przy napędzie parowym oszczędzamy na zbędnych transformatorach do własnych potrzeb oraz na mocy prądnic i transformatorów blokowych. Z drugiej jednak strony rozchód ciepła zużytego na jednostkę energii do zasilania potrzeb własnych przy zastosowaniu napędu parowego jest nieco wyższy. Na to składają się: niższa sprawność samych turbin oraz pewne straty w obiegu cieplnym turbin głównych, wywołane stosowaniem do podgrzewania wody zasilającej kotły zarówno pary wylotowej z turbin potrzeb własnych, jak i pary zaczepowej z maszyn głównych. Ostateczny wynik porównania obu rodzajów napędu może wypaść zarówno na korzyść parowego, jak i elektrycznego; decydują o tym takie czynniki, jak współczynnik wyzyskania urządzeń zakładu elektrycznego, ilość pary zaczepowej do podgrzewania wody zasilającej i wielkość turbin dla potrzeb własnych. Jeśli nawet porównanie wypada na korzyść napędu parowego, to przewaga ta nie jest znaczna i w żadnym wypadku nie może zrównoważyć wielkich zalet napędu elektrycznego.

Im wyższe są ciśnienie i temperatura przegrzania pary oraz im większe jest wyzyskanie pary zaczepowej do podgrzewania wody, tym korzystniejszy jest ogólnie napęd elektryczny.

Zastosowanie silników komutatorowych prądu zmiennego oraz silników prądu stałego z regulacją napięcia pozwoliło na uzyskanie regulacji obrotów w dość szerokich granicach; pod tym względem napędy parowe miały dawniej przewagę nad elektrycznymi. Napęd elektryczny lepiej nadaje się do sterowania z odległości, pozwala ponadto na

łatwiejsze i szybsze uruchomienie maszyny napędzanej. Konieczność prowadzenia dużej ilości rurociągów przy zastosowaniu turbin też nie przemawia na korzyść tych ostatnich.

## 4. Wybór między prądem zmiennym a stałym.

Do zasilania potrzeb własnych jest prawie wyłącznie stosowany prąd zmienny. Za stosowaniem prądu stałego przemawiały dawniej takie względy, jak:

- rezerva w postaci baterii akumulatorów,
- łatwość ciągłej regulacji prędkości w szerokich granicach,
- niezależność od wahań napięcia i częstotliwości w sieci prądu zmiennego.

Duża pewność zasilania potrzeb własnych prądem zmiennym dla obecnie stosowanych metod, wybiórczość w działaniu zabezpieczeń, zabezpieczenie od wahań napięcia, odpowiednio rezerwy przez zasilanie z niezależnych źródeł energii — wszystkie te względy wypierają prąd stały; stosowanie baterii prądu stałego jest wybitnie niepraktyczne i nieekonomiczne we współczesnych wielkich elektrowniach.

Regulacja prędkości dotychczas daje jeszcze pewną przewagę systemowi prądu stałego. Zakres regulacji w możliwie szerokich granicach wchodzi w rachubę w zastosowaniu do wentylatorów i pomp. Ale zagadnienie to przy obecnym stanie techniki może być rozwiązane — mniej lub więcej zadawalająco — również przy zastosowaniu silników prądu zmiennego (samych silników, względnie wyposażonych w dodatkowe urządzenia). Należy wymienić tu silniki w następujących m. in. wykonaniach:

- z uzwojeniem o przełączalnej liczbie biegunów, pierścieniowe z regulatorami wirnikowymi, komutatorowe różnych typów, zwarte ze sprzęgiem hydraulicznym.

Są jednak wypadki, w których prąd stały bywa nadal stosowany, jeśli wymagana jest regulacja obrotów w b. szerokich granicach (np. podawanie węgla surowego do młynów). Stosowany jest system, w którym regulowane jest napięcie zasilające dla całej grupy silników, a regulacja indywidualna dotyczy tylko obwodów wzbudzenia.

Te przykłady i cały szereg innych nie świadczą bynajmniej o niecelowości stosowania systemu prądu zmiennego. Zastosowanie prądu stałego dotyczy jedynie poszczególnych odbiorów, głównym systemem zasilania pozostaje nadal system prądu zmiennego. Ten rodzaj prądu jest rozdzielany, jego przetwarzanie na prąd stały odbywa się w pobliżu odbioru (indywidualnie dla każdego silnika lub grupowo dla szeregu silników przynależnych np. do jednego kotła).

W rezultacie należy uznać bezwzględnie wyższość systemu prądu zmiennego (niższe koszty zakładowe, wyższa sprawność i mocniejsza budowa silników, przydatność do bezpośredniego uruchamiania). Przy prądzie zmiennym istnieje możliwość stosowania silników na wysokie napięcia, co daje wspomniane już korzyści ekonomiczne.

## 5. Wybór napięć zasilania.

W zakładach elektrycznych z turbozespołami o mocy nie mniejszej niż 20 MW stosowany jest powszechnie system dwu napięć (415 V i 3,3 kV) ze względów ekonomicznych. System jednego napięcia (415 V) może być stosowany w zakładach mniejszych. Poczynając od 75—125 k. m. są powszechnie stosowane silniki wysokiego napięcia dla następujących ruchowo ważnych potrzeb:

- pompy wody obiegowej i zasilającej kotły, wentylatory podwiewu, młyny węglowe, wyciągi spalin.

Granica opłacalności stosowania silników niskiego napięcia jest wyższa od podanej, jednakże za tą ostatnią przemawia większa pewność ruchu w urządzeniach wysokonapięciowych oraz ograniczenie prądów zwarcia na szynach niskiego napięcia przez przerzucenie większości obciążenia własnych potrzeb na wysokie napięcie.

Nie ma na ogół większych zastrzeżeń co do stosowania napięcia 6,6 kV zamiast 3,3 kV, choć w ten sposób podwyższa się ekonomiczną granicę stosowalności silników wysokonapięciowych.

Przy stosowaniu systemu dwu napięć tylko względnie nieduże silniki są zasilane na niskim napięciu.

Pewność ruchu urządzeń niskonapięciowych w zasadzie powinna być równie duża, jak wysokonapięciowych. To doprowadza nieraz do stosunkowo kosztownych rozwiązań w przypadku zupełnie małych silników drugorzędnej ważności, jeśli po stronie niskiego napięcia chcemy uniknąć podziału na potrzeby własne b. ważne i mniej ważne. Stosowany bywa niekiedy system zasilania ważnego małego silnika niskiego napięcia z zacisków silnika wysokiego napięcia poprzez mały transformator indywidualny, przy zainstalowaniu skrzynki przyłączeniowej niskonapięciowej (przykład — silnik do podawania węgla i silnik do młyna węglowego). Przy takim systemie zasilania silników ważnych pozostałe mniej ważne, pracujące zazwyczaj na potrzeby całego zakładu, a nie jednego bloku, mogą być zasilane z niewielkich transformatorów potrzeb własnych, przyłączonych do szyn głównych zakładu. Nie narusza to zasady podziału blokowego przyjmowanej zazwyczaj do zasilania ważnych silników wysokonapięciowych.

#### 6. Potrzeby własne przy zastosowaniu układu blokowego.

Przeważająca część nowoczesnych elektrowni stosuje układ blokowy, w którym każdy główny turbogenerator wraz z przynależnymi kotłami i urządzeniami potrzeb własnych, stanowi w sobie całość, pracującą mniej lub więcej niezależnie od innych bloków. Poza pewnym ogólnym uproszczeniem w urządzeniach zakładu układ ten pozwala w pierwszym okresie budowy uniknąć dużych wydatków na urządzenia wspólne dla zakładu w pełnej jego rozbudowie, które wtedy redukuje się do minimum. Układ ten nie wyklucza również stosowania zmian w obiegu ciepłym dla urządzeń instalowanych w następnych etapach budowy.

Do zasilania potrzeb własnych zakładu w układzie blokowym znakomicie nadają się:

transformator zasilany z zacisków prądnicy, prądnica własnych potrzeb na wale głównym turbogeneratorskim.

Rezerwę w stosunku do takich transformatorów stanowi jeden transformator o mocy dostosowanej do potrzeb głównych zespołów, zasilany z szyn głównych lub z podstacji znajdującej się przy zakładzie.

Oddzielny turbogenerator własnych potrzeb daje się zastosować w układzie blokowym z wielkimi trudnościami.

Z punktu widzenia urządzeń rozdzielczych układ blokowy jest korzystny z uwagi na znaczne ograniczenie prądów zwarcia. Również ograniczony jest przy zastosowaniu tego układu zasięg ewentualnych zaburzeń ruchowych.

Zastosowanie układu blokowego nie wyklucza bynajmniej stosowania połączeń rezerwowego zasilania potrzeb własnych między poszczególnymi blokami.

#### 7. Zasada podziału na dwukrotnie mniejsze elementy potrzeb własnych.

Jakkolwiek napęd elektryczny jest pewny w działaniu, to jednak do osiągnięcia wysokiego stopnia niezawodności zasilania potrzeb własnych pożądana jest dzielenie wszystkich elementów urządzeń (silniki, rozdzielnie, kable, transformatory, źródła energii) na dwukrotnie mniejsze jednostki i stosowanie podwójnych elementów. Stosując np. podwójną liczbę silników, lecz o mocach dwukrotnie niższych niż w przypadku stosowania pojedynczych silników dla każdej pozycji ważnych potrzeb własnych, oraz stosując niezależne zasilanie każdej połowy tych potrzeb, osiągniemy to, że kocioł czy turbina praktycznie zawsze będą pracować przy zasilaniu co najmniej połowy potrzeb przy zredukowanym odpowiednio obciążeniu. Ponieważ turbina i kocioł stosunkowo rzadko pracują przy pełnym obciążeniu znamionowym, a silniki najczęściej są dobrane z pewnym zapasem, należy w większości wypadków liczyć się przy takim systemie zasilania z redukcją obciążenia znacznie mniejszą niż 50%. Wymieniony system jest godny polecenia również w tych wypadkach, gdy w układzie blokowym 2 kotły pracują na 1 turbinę. Jest niewątpliwie korzystniej przy wypadnięciu z ruchu połowy potrzeb własnych prowadzić dalej ruch jednego kotła przy zredukowanym obciążeniu, a drugiego przy pełnym, niż z 2 kotłów zatrzymać jeden.

Inny system, polegający na zasilaniu z jednego źródła silników na pełne moce znamionowe potrzeb własnych

i przełączaniu w trakcie zaburzeń na inne źródło energii (z transformatora zasilanego przez prądnicę główną lub z oddzielnej prądnicy — na transformator z szyn głównych), jest właściwy, jeżeli przełączenie następuje samoczynnie i bardzo szybko, dzięki czemu zapobiega się znacznieszemu spadkowi obrotów napędzanych maszyn.

W przeciwieństwie do tego system podziału zasilania każdej pozycji na 2 grupy nie wymaga przełączania samoczynnego i b. szybkiego. Jest on powszechnie stosowany dla turbozespołów o mocy 50 MW, dla mniejszych może niekiedy być nieekonomiczny.

System pojedynczego zasilania (tj. z jednym silnikiem dla danej pozycji potrzeb własnych) wymaga poświęcenia więcej uwagi niezawodności dostawy energii niż samym silnikom.

#### 8. Rozdział energii do zasilania potrzeb własnych.

Pewność działania urządzeń potrzeb własnych zależy od następujących trzech czynników:

- 1) niezawodność samych urządzeń oraz napędzających je silników (wraz z aparaturą regulacyjną i sterującą),
- 2) niezawodność urządzeń rozdzielczych (kable, transformatory, szyny zbiorcze, przyrządy rozdzielcze, zabezpieczenia),
- 3) niezawodność dostawy energii.

Wspomniana w poprzednim rozdziale zasada podziału na dwukrotnie mniejsze elementy potrzeb własnych dotyczy głównie czynnika 1. W stosunku do czynnika 2 wymagania nie idą tak daleko. Zwykła sieć promienista o zupełnie prostych układach zabezpieczeń, bez podwójnych elementów (kable, transformatory, szyny zbiorcze) wobec dużej ich pewności ruchu, dobrze spełnia swe zadanie.

Przy systemie pojedynczego zasilania należy niewątpliwie stawiać wyższe wymagania co do pewności rozdziału energii. Pewne korzyści ekonomiczne z tytułu stosowania tego systemu osiąga się za cenę zwiększonych wydatków na podniesienie tej pewności. Zbyt duża ilość połączeń rezerwowych jest oczywiście niepożądana, gdyż ogólny układ zasilania potrzeb własnych powinien być jednak możliwie prosty i nie powodować trudności dla obsługi.

Znane są propozycje stosowania sieci oczastych dla potrzeb własnych, podobnie jak w sieciach miejskich. W Wielkiej Brytanii rozwiązania takie nie zostały wprowadzone. Prowadziłyby one zresztą do nadmiernego wzrostu prądów zwarcia.

Układ podwójnych szyn zbiorczych w urządzeniach okapturzonych nie może być traktowany jako środek do niezależnego zasilania dwu „połówek“ ważnych potrzeb własnych. W razie zaburzeń lub prac naprawczych na jednym układzie, drugi zazwyczaj jest też nie do użytku. Należy dzielić szyny zbiorcze na sekcje (wystarczy układ pojedynczy) z możliwością łączenia sekcji w razie zakłóceń ruchu.

#### 9. Nadzór nad układem zasilania własnych potrzeb.

Najwłaściwsze jest stosowanie w nastawni głównej specjalnej tablicy potrzeb własnych ze schematem i wskaźnikami położenia wszystkich łączników. Urządzenia tej nastawni potrzeb własnych powinny umożliwiać w razie zaburzeń natychmiastowe zdalne przełączanie na rezerwowe źródło energii. Budowa nastawni tego rodzaju jest uzasadniona specjalnie przy zastosowaniu większej liczby połączeń między poszczególnymi blokami. Tablica nie zawiera zwykle przyrządów sterujących łącznikami silników poszczególnych bloków. Mogą natomiast być sterowane silniki pracujące na potrzeby całego zakładu (np. silniki pomp wody zasilającej w przypadku centralnej pompowni dla kotłów).

Specjalne nastawnie potrzeb własnych — niezależne od nastawni głównych — są rzadziej stosowane.

#### 10. Źródła energii dla potrzeb własnych.

Nie ma właściwie źródła energii, które byłoby absolutnie pewne. Z tego względu należy dążyć w miarę możliwości do zasilania potrzeb własnych z dwu źródeł niezależnych.

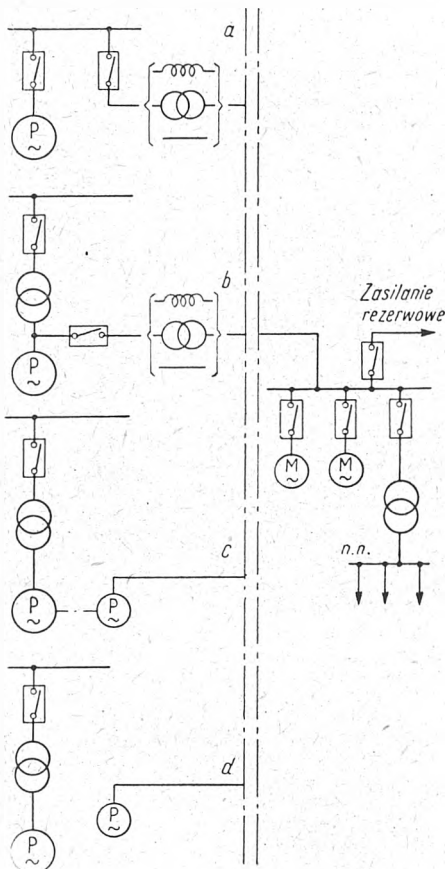
Ponieważ prąd zmienny jest niemal wyłącznie stosowany do tego celu, w rachubę mogą wchodzić następujące 4 rodzaje zasilania (rys. 1):

- szyny główne elektrowni,
- zaczep z szyn prądnic (przed transformatorem blokowym),
- prądnic własnych potrzeb na głównym wale,
- oddzielny turbozespół własnych potrzeb.

#### 11. Zasilanie potrzeb własnych z szyn głównych elektrowni (rys. 1a).

Jest to sposób najprostszy i zarazem najtańszy. Jeśli potrzeby własne są zasilane na tym samym wysokim napięciu, co napięcie prądnic, to przy bezpośrednim zasilaniu z szyn głównych może zająć potrzeba zastosowania dławików przeciwzwarciovych. Najczęściej jednak wysokie napięcie potrzeb własnych jest niższe od napięcia prądnic i zasilanie odbywa się za pośrednictwem transformatorów.

Poważną wadą tego sposobu jest to, że każdy spadek napięcia na głównych szynach zbiorczych odbija się na



Rys. 1. Cztery metody zasilania potrzeb własnych

- Z głównych szyn elektrowni
- Z zaczepu z szyn prądnic przed transformatorem blokowym
- Z prądnic własnych potrzeb na wspólnym wale z turbozespołem głównym
- Z oddzielnego turbozespołu własnego użytku

pracy wszystkich silników potrzeb własnych. Trudności z tym związanych unika się przy stosowaniu silników zwartych, pracujących bez ochrony zanikowej, uruchamianych bezpośrednio, chronionych przy pomocy zabezpieczeń niewrażliwych na prądy rozruchowe, występujące przy samoczynnym uruchomieniu na skutek pojawienia się napięcia.

W niektórych współczesnych zakładach stosuje się zasilanie szyn potrzeb własnych przez kilka transformatorów, zasilanych pojedynczo z oddzielnych sekcji szyn głównych, względnie z obcych źródeł energii. Ten układ daje wystarczający stopień pewności dostawy energii na potrzeby własne. W większości wypadków jednak szyny główne elektrowni wykorzystywane są do tego celu jako jedno z dwu niezależnych źródeł zasilania; wszystkie ważne potrzeby zasilane są z innego źródła, a z szyn głównych tylko odbiory drugorzędnej ważności.

Ogólnie sposób zasilania potrzeb własnych z szyn głównych elektrowni jest niezawodny z tego punktu widzenia, że dzięki powiązaniu zakładu miejscowego z zakładami ob-

cymi dostawa energii na te potrzeby jest właściwie zawsze zapewniona; ma to szczególne znaczenie przy uruchamianiu elektrowni ze stanu zimnego, względnie w warunkach powrotu do normalnej pracy po wypadnięciu całej elektrowni z ruchu.

Jeśli elektrownia nie posiada rozdzielni na napięciu prądnic, a szyny główne są na napięciu b. wysokim, sposób zasilania z szyn głównych może okazać się zbyt kosztowny ze względu na koszt samych transformatorów potrzeb własnych oraz przynależnej aparatury b. wysokiego napięcia.

#### 12. Zasilanie potrzeb własnych z zaczepu z szyn prądnic (rys. 1b).

Ten sposób jest jednym z całej grupy sposobów, w których zasilanie potrzeb własnych jest w dużym stopniu, względnie całkowicie, niezależne od zaburzeń napięcia i częstotliwości na głównych szynach elektrowni.

Ma on tę przewagę nad poprzednio opisanym, że w wypadku zakłócenia na odcinku „prądnic — szyny główne“, połączonego z wyłączeniem bloku, zasilanie transformatora własnych potrzeb może odbywać się dalej bez przeszkód i ruch bloku można utrzymać. Następnie ponieważ między prądnicą a szynami głównymi włączony jest transformator blokowy, w wypadku zaburzeń napięcia na zaciskach prądnic obniża się w mniejszym stopniu niż na tych szynach. Zupełne uniezależnienie urządzeń potrzeb własnych od zakłóceń napięcia na szynach głównych możliwe jest dopiero po wyłączeniu prądnic, co przy stosowanych obecnie systemach zabezpieczeń możliwe jest z pewną zwłoką. W międzyczasie jednak spadek napięcia na zaciskach silników własnych potrzeb może spowodować wypadnięcie niektórych z nich z ruchu i w następstwie pewne trudności, jeżeli te silniki nie są przewidziane do bezpośredniego uruchamiania. Dla podtrzymania zatem napięcia w czasie zakłócenia niezbędna jest poważniejsza rezerwa mocy wzbudnicy i działanie pośpiesznego regulatora napięcia. Z drugiej strony wyłączniki silników własnych potrzeb nie mogą być wyposażone w wyzwalacze zanikowe. Regulator turbiny winien w dostatecznym stopniu zahamować wzrost jej obrotów po wyłączeniu przez wyłącznik blokowy i winien nie dopuścić do odezwania się regulatora bezpieczeństwa, działającego po przekroczeniu dopuszczalnej liczby obrotów.

Ponieważ potrzeby własne są zasilane na napięciu niższym od napięcia prądnic, na zaczepie stosowany jest transformator blokowy („unit transformer“). W W. Brytanii jest stosowany powszechnie układ tego rodzaju, że transformator ten jest połączony z zaciskami prądnic tylko przez odłącznik (bez wyłącznika!); w razie wypadku z tym transformatorem wyłączany jest jego turbozespół. Z tego względu przy wyborze układu zasilania własnych potrzeb transformator ten często zastępuje się trzecim uzwojeniem transformatora blokowego; mogą jednak zająć pewne trudności konstrukcyjne z uzyskaniem dostatecznie wysokiego napięcia zwarcia przy transformacji z napięcia prądnic na napięcie potrzeb własnych.

Niestosowanie wyłącznika między zaciskami prądnic a transformatorem własnych potrzeb podyktowane jest względami gospodarczymi, gdyż wyłącznik taki musiałby być o b. wysokiej mocy odłączalnej. Przy napięciu znamionowym prądnic 33 kV koszt wyłącznika dla takiego transformatora również byłby b. znaczny. W praktyce amerykańskiej jednakże transformatory takie wyposażane są niekiedy w wyłączniki z obu stron. W każdym razie przy zastosowaniu układu blokowego z szynami głównymi b. wysokiego napięcia koszt transformatorów na zaczepach prądnic jest znacznie niższy w porównaniu z transformatorami zasilanymi z szyn głównych. Te ostatnie transformatory mogą być używane jako rezerwowe przy uruchamianiu turbozespołu ze stanu zimnego, nim turbina osiągnie pełne obroty i na zaciskach prądnic pojawi się pełne napięcie; pokrywanie tych potrzeb w tym okresie z sąsiedniego transformatora własnych potrzeb prowadziłoby do znaczniejszego wzrostu mocy znamionowej wszystkich tych transformatorów. Transformatory obu kategorii mogą przez krótki okres czynności przełączania być połączone równoległe (po zsynchronizowaniu prądnic przyłączonej), ich praca równoległa nie może być jednak regułą, gdyż przeczyłoby to zasadzie zasilania potrzeb danego bloku przez własny transformator z zaczepu prądnic.



Nie należy obawiać się przy takim chwilowym połączeniu równoległym przeciążenia tego transformatora oraz transformatora włączanego na szyny główne przepływem energii z prądnicy do tychże szyn; na drodze od zacisków prądnicy do szyn głównych transformatory te pracują w szeregu i przy obecnie praktykowanych napięciach zwarć w sumie mają napewno wyższe napięcie zwarcia niż pracujący z nimi równolegle transformator blokowy główny.

### 13. Zasilanie potrzeb własnych z prądnicy na wale głównym (rys. 1c).

Ten sposób jest dalszym krokiem na drodze do uniezależnienia układu potrzeb własnych od zaburzeń w układzie głównym. Niezależność od zaburzeń napięcia jest zupełna, natomiast pozostaje zależność od zaburzeń częstotliwości, co jednak w angielskiej sieci państwowej nie powoduje większych trudności.

Zaburzenia w obwodzie prądnicy potrzeb własnych nie przenoszą się na obwód prądnicy głównej, jak w poprzednim przypadku (rys. 1b) i po przeniesieniu zasilania potrzeb własnych z prądnicy na źródło rezerwowe prądnica może biec bez wzbudzenia.

Zastosowanie osobnej prądnicy na wale głównym zmniejsza, oczywiście, moc prądnicy głównej.

Prądnica potrzeb własnych jest ogólnie kosztowniejsza niż transformator na zaczeple prądnicy głównej, lecz zmniejszenie mocy, a więc i obniżenie kosztu prądnicy głównej mniej więcej równoważy tamtą różnicę kosztów. Sprawność wytwarzania energii na potrzeby własne jest w tym układzie tylko nieznacznie niższa od sprawności w układzie poprzednim.

Oddzielne prądnice własnych potrzeb mogą współpracować z transformatorami zasilanymi z szyn głównych. Mogą tu zachodzić następujące dwa przypadki.

Pierwszy, kiedy normalnie napędy są podzielone na dwie części. Transformator zasila wtedy część własnych potrzeb niezbędną do uruchomienia turbozespołu, prądnica po jej uruchomieniu zasila resztę. Mamy tu zasilanie z dwu różnych źródeł, bez potrzeby przenoszenia obciążenia aż do czasu wypadnięcia jednego ze źródeł.

Drugi przypadek mamy wówczas, kiedy wszystkie napędy zasilane są normalnie z prądnicy na wale głównym. Wtedy należy je uruchomić za pośrednictwem transformatora z szyn głównych, a następnie przełączyć na zasilanie z wymienionej prądnicy. Gdy połączenie równoległe obu źródeł jest niemożliwe z powodu niezgodności kątów, należy przełączenia dokonać bez synchronizacji. Pożądane jest jak najszybsze włączenie prądnicy potrzeb własnych po odłączeniu od poprzedniego źródła zasilania (od transformatora), ponieważ im dłużej trwa przerwa, tym bardziej zwalniają bieg silniki napędowe i ponownemu włączeniu na pełne napięcie towarzyszy uderzenie prądu, którego wielkość wzrasta w miarę zwolnienia biegu silników i może przekroczyć znamionowy prąd prądnicy potrzeb własnych. Według danych amerykańskich np. po przerwie jednosekundowej prąd jest dwa i pół raza większy od prądu pobieranego normalnie przez daną grupę silników potrzeb własnych.

Z drugiej strony, jeżeli odłączone od transformatora stojany silników napędowych będą przyłączone do innego źródła napięcia nim zaniknie magnetyzm szczątkowy, na co potrzeba ok. 1,5 sek., ponowne włączenie napięcia może spowodować podobnie jak w transformatorach prąd uderzeniowy, który przy niekorzystnym zbiegu okoliczności i dużej wartości magnetyzmu szczątkowego może znacznie przekroczyć wartość normalnego prądu rozruchu z postoju. Wynikające stąd naprężenia mechaniczne mogą być groźne dla uzwojenia. Najbezpieczniejsze rozwiązanie tego zagadnienia osiągnęłoby wtedy, gdyby odłączenie transformatora od szyn głównych dawało impuls do włączenia prądnicy potrzeb własnych po pewnym z góry określonym czasie.

Stosowanie podwójnego układu szyn i przełączanie silników jeden po drugim dla zmniejszenia ryzyka prądów uderzeniowych zajmuje zbyt wiele czasu.

Ogólnie najlepsze rozwiązanie będzie wtedy, kiedy chwilowo połączymy równolegle oba źródła zasilania, nie wywołując prądów udarowych. To jest możliwe, jeżeli wirniki obu generatorów są sprzęgnięte z należyty przesunięciem kątowym, uwzględniającym przesunięcie fazy spowodo-

wane przez oba włączone w obwód transformatory tzn. blokowy główny i potrzeb własnych.

Ponieważ opór indukcyjny rozproszenia prądnicy potrzeb własnych jest mniejszy od takiegoż oporu prądnicy głównej, ta pierwsza przy bezpośrednim uruchamianiu dużych silników może być przeciążona. Z tego względu chwilowe równoległe połączenie obu prądnic (poprzez transformator blokowy i transformator własnych potrzeb zasilany z szyn głównych) może być dokonane przy biegu luzem, względnie przy obciążeniu nie przewyższającym 40—50% mocy znamionowej, albowiem wspomniana zgodność faz obu prądnic jest zwykle stosowana przy biegu luzem.

W wypadku zaburzenia w pracy turbozespołu przełączenie zasilania własnych potrzeb na transformator może nastąpić z chwilą znacznieszego odciążenia prądnicy głównej, tj. z chwilą osiągnięcia przybliżonej zgodności napięć obu prądnic. Stopień odciążenia powinien być taki, aby przy chwilowym równoległym połączeniu obu prądnic prądnica własnych potrzeb nie była przeciążona. Pewne przesunięcie fazy nie gra poważniejszej roli, gdyż prąd wypadkowy w takich okolicznościach jest znacznie niższy od prądów zwarciovych.

Podobnie, jak w przypadku zasilania z transformatora na zaczeple, prądnica główna nie może być włączana równoległe tylko sama z prądnicą pomocniczą (poprzez transformator z szyn głównych), gdyż ta ostatnia może być znacznie przeciążona np. z powodu małej czułości regulatora turbiny głównej przy obciążeniu rzędu 5% jej mocy znamionowej.

Przyrządy rozdzielcze dla prądnicy potrzeb własnych powinny być dobierane dla prądów i mocy zwarciovych odpowiadających zasilaniu przez transformatory z szyn głównych.

Spośród trzech możliwości — transformator na zaczeple prądnicy, prądnica na wale prądnicy głównej, transformator z szyn głównych — na ogół najsurowsze wymagania pod względem wytrzymałości zwarciovowej stawia przypadek ostatni.

Silniki mogą być w tym przypadku bezpośrednio uruchamiane, jeżeli największy prąd rozruchu nie przekracza 120% znamionowego prądu prądnicy. Stosowanie szybko działającego regulatora napięcia jest koniecznością przy opisanym wyżej sposobie zasilania potrzeb własnych.

Sposób ten znalazł zastosowanie dla turbozespołów o mocy nie mniejszej niż 20 MW.

### 14. Zasilanie potrzeb własnych z oddzielnego turbozespołu własnego użytku.

W tym sposobie układ zasilania potrzeb własnych jest całkowicie niezależny od zakłóceń napięcia i częstotliwości w układzie głównym (jak wynika z poprzedniego punktu, zaburzenia częstotliwości w układzie z oddzielną prądnicą na wale głównym na ogół nie pociągają za sobą poważniejszych następstw). Ponadto układ z oddzielnym turbozespołem nie wymaga z natury rzeczy żadnych zabiegów w kierunku umożliwienia pracy zespołu głównego tylko z obciążeniem odpowiadającym potrzebom własnym, względnie w kierunku zapobiegania wyłączeniu prądnicy głównej przy jej nagłym zupełnym odciążeniu. Nie ma również w tym sposobie komplikacji związanych z przenoszeniem zasilania potrzeb własnych na inne źródło podczas uruchamiania, względnie spadku częstotliwości.

Nie zaleca się zasilanie wszystkich potrzeb własnych z jednego turbozespołu. Odpowiedni stopień pewności zasilania osiąga się przez podział rozdzielni potrzeb własnych na sekcje przy pracy paru oddzielnych turbozespołów, względnie przy zastosowaniu dwóch niezależnych źródeł zasilania (oddzielny turbozespół i szyny główne elektrowni). W starszych elektrowniach ten sposób chętnie był stosowany, gdyż prawie każdy z mniejszych turbozespołów głównych mógł w razie potrzeby być użyty do zasilania potrzeb własnych.

Zastosowanie tego sposobu we współczesnych elektrowniach na ogół rzadko da się uzasadnić. W porównaniu z systemem oddzielnej prądnicy na wale głównym ma on wprawdzie pewne zalety, ale na ogół ma liczne wady:

1) koszt oddzielnego turbozespołu jest znacznie wyższy niż koszt prądnicy na wale głównym;

2) sprawność oddzielnego turbozespołu własnego użytku o stosunkowo niedużej mocy jest mniejsza niż sprawność wielkiego turbozespołu głównego z prądnicą dla potrzeb własnych; zastosowanie jednego większego turbozespołu do zasilania potrzeb kilku zespołów głównych polepsza wprawdzie sprawność, ale zmniejsza pewność zasilania i pociąga za sobą wzrost kosztu aparatury rozdzielczej na skutek wzrostu mocy zwarciowej;

3) oddzielne turbozespoły nie dadzą się przystosować do systemu poszczególnych bloków i podziału rozdzielni głównej potrzeb własnych na sekcje; wskutek tego w początkowym okresie budowy ponosi się na ten cel zbyt duży koszt w stosunku do zainstalowanej mocy zespołów głównych, a sam turbozespół pracuje z obniżoną sprawnością na skutek niedostatecznego wyzyskania jego mocy;

4) niska sprawność oddzielnego turbozespołu w okresach małego obciążenia elektrowni;

5) duże trudności zastosowania oddzielnych turbozespołów w elektrowniach o wysokich parametrach pary;

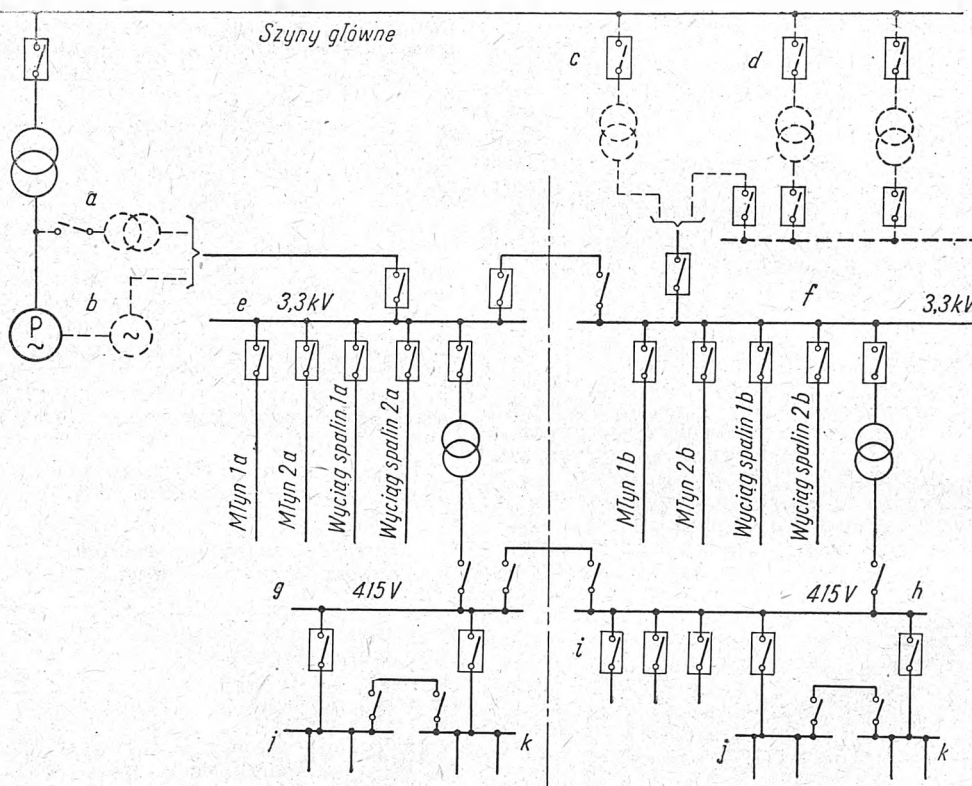
6) duże zapotrzebowanie miejsca dla maszyn oddzielnych w porównaniu z prądnicą na wale maszyny głównej;

7) zastosowanie jednego turbozespołu oddzielnego wymaga 100% rezerwy w formie drugiego podobnego zespołu i uniemożliwia podział rozdzielni potrzeb własnych na sekcje; zmniejszenie stopnia rezerwy przy jednoczesnym

W zakładach wyjątkowo ważnych zaleca się — na wypadek zaniku napięcia na szynach głównych — korzystanie ze specjalnych zespołów z silnikami dyzlowskimi, zasilających sekcje rozdzielni głównej potrzeb własnych.

## 16. Przykłady schematów zasilania potrzeb własnych.

Schemat według rys. 2 czyni zadość większości wymagań opisanych w poprzednich rozdziałach. Oparty jest on z jednej strony na zasadzie niezależnego zasilania potrzeb każdego bloku, z drugiej — na podziale zasilania wszystkich ważnych potrzeb w warunkach normalnej pracy pomiędzy dwa niezależne źródła energii. Nadaje się zarówno dla przypadku transformatora na zaczepie prądnicy głównej, jak i dla przypadku oddzielnej prądnicy na wale głównym. Do zasilania z szyn głównych można przewidzieć bądź oddzielne transformatory dla każdego bloku, bądź 2 transformatory wspólne dla całej elektrowni. To drugie rozwiązanie zasługuje na zalecenie dla napięć na szynach głównych powyżej 33 kV ze względu na niższy ogólny koszt samych transformatorów i aparatury rozdzielczej. Połączenia dla rezerwowego zasilania między poszczególnymi rozdzielniami 415-woltowymi są niezwłocznie zamykane samoczynnie w wypadku zaniku napięcia na szynach zbiorczych danej rozdzielni. Zasada podziału na dwukrotnie mniejsze elementy potrzeb własnych jest zastosowana zarówno na napięciu 3,3 kV, jak i na napię-



Rys. 2. Układ blokowy z podwójnymi silnikami własnych potrzeb zasilanymi z dwu niezależnych źródeł energii

a Transformator „jednostkowy“

b Oddzielna prądnica na wale głównym (alternatywa do punktu a)

c Transformator blokowy zasilany z szyn głównych

d Transformatory zasilane z szyn głównych, wspólne dla całej elektrowni (alternatywa do punktu c)

e, g Rozdzielnie blokowe

f, h Rozdzielnie zasilane z szyn głównych

i Podrozdzielnia różnych potrzeb drugorzędnych (nawęglanie, odpopielanie, dźwigi, magazyny, oświetlenie itp.)

j Podrozdzielnia turbinowa

k Podrozdzielnia kotłowa

U w a g a. Dla rozdzielni e, f podano przykładowo tylko napędy młynów i wyciągów spalin. W podobny sposób podzielone są napędy wentylatorów podwiewowych oraz powietrza wtórnego, wentylatorów prądnic, pomp wody zasilającej kotły, pomp wody obiegowej i pomp skroplinowych.

umożliwieniu podziału na sekcje osiąga się przez zwiększenie liczby turbozespołów, co jednak prowadzi do stosowania mniejszych jednostek o niższej sprawności.

System zasilania z oddzielnych turbozespołów jest racjonalny jedynie w b. wielkich zakładach.

## 15. Zasilanie potrzeb własnych przy uruchamianiu elektrowni ze stanu zimnego.

Wielkie turbozespoły i wielkie kotły nie mogą być uruchamiane, jeżeli brak jest wystarczającej mocy elektrycznej dla ich potrzeb własnych. W zakładach połączonych z siecią państwową moc tę można uzyskać z szyn głów-

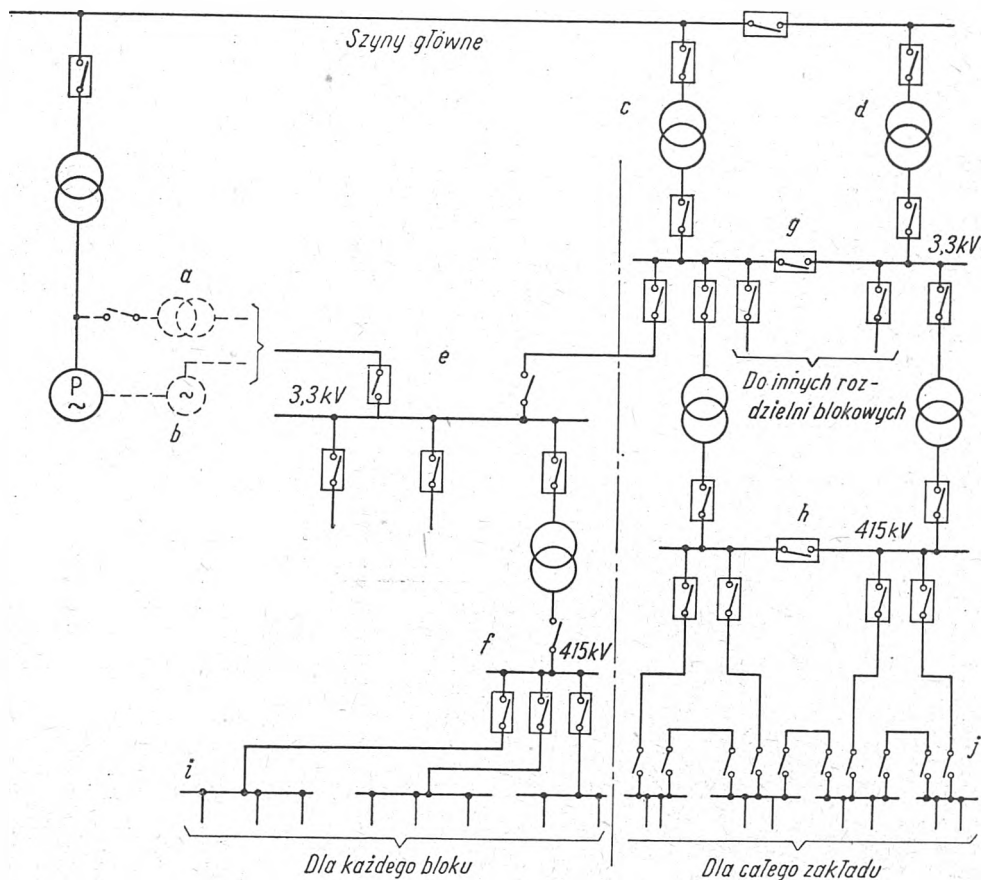
ciu 415 V; dotyczy to zatem również transformatorów na 3,3/0,415 kV. Oba transformatory powinny być jednakowej mocy (choć w warunkach normalnej pracy pracują przy różnym obciążeniu), gdyż jeden stanowi 100 %-ową rezerwę dla drugiego. Celem ograniczenia liczby transformatorów na 3,3/0,415 kV — przy jednoczesnym zachowaniu zasady podwójnych ilości mniejszych silników — zachodzi niekiedy potrzeba stosowania silników wysokonapięciowych na moc rzędu 40—50 k. m. i przyłączania (na ich zaciski) pozostałych silników niskonapięciowych poprzez transformatory obniżające napięcie. Wszystkie drugorzędne potrzeby po stronie 415 V mogą być zasilane

z rozdzielni wspólnej dla całego zakładu. Jeśli na blok wypada tylko 1 transformator na 3,3/0,415 kV, włącza się go raczej do rozdzielni zasilanej z szyn głównych, a nie do rozdzielni blokowej (większa pewność zasilania drobnych ważnych potrzeb).

W układzie według rys. 3 zasilanie wszystkich ważnych potrzeb z szyn głównych odbywa się tylko podczas uruchamiania zespołów. Poszczególne silniki nie są dzielone

c) z niewielkiego transformatora włączonego między szyny główne a pomocnicze.

Przewidziane są również szyny pomocnicze na 415 V do zasilania w przypadku wypadnięcia któregośkolwiek transformatora. Odpowiednia blokada w układzie zarówno na 3,3 kV, jak i na 415 V zapobiega pracy równoległej 2 bloków. Jak zaznaczono wyżej, układ opisywany może również być pomyślany jako pracujący bez transformatorów



Rys. 3. System blokowy z pojedynczymi silnikami ważnych potrzeb

- a Transformator „jednostkowy”  
 b Oddzielna prądnica na wale głównym (alternatywa do punktu a)  
 c, d Transformatory zasilane z szyn głównych, wspólne dla całej elektrowni  
 e, f Rozdzielnie blokowe

- g, h Rozdzielnie zasilane z szyn głównych  
 i Podrozdzielnie blokowe (oddzielnie dla każdego turbozespołu i każdego kotła)  
 j Podrozdzielnie różnych potrzeb drugorzędnych (nawęglanie, odpopielanie, dźwigi, oświetlenie itd.)

na podwójną liczbę dwukrotnie mniejszych jednostek, stąd mniejsza pewność ruchu niż dla układu wyżej opisanego. Układ ten nadaje się dla turbozespołów mniejszej i średniej mocy (do 30 MW). Nie posiada on połączeń poprzecznych pomiędzy szynami zbiorczymi poszczególnych bloków (na wypadek zaburzeń), co — jak praktyka wykazała — nie jest konieczne. Różne ogólne potrzeby siłowni są zasilane przez transformatory z głównych szyn zbiorczych. W tych rozdzielniach szyny zbiorcze są dzielone na sekcje zarówno po stronie 3,3 kV, jak i po stronie 415 V, co jest słuszne ze względu na zasilanie tą drogą całego zakładu, a nie tylko pojedynczego zespołu.

Układ według rys. 4 w zasadzie może nie posiadać transformatorów zasilanych z szyn głównych. Układ ten posiada pomocnicze szyny zbiorcze, pozwalające na zasilanie potrzeb własnych zespołu uruchamianego z transformatora na zaczepe prądnicy już pracującej. Wymaga to, oczywiście, wyznaczania mocy tego transformatora z pełną rezerwą, może on jednak być używany częściowo do zasilania ogólnych potrzeb siłowni. W przypadku wypadnięcia wszystkich prądnic z ruchu lub w przypadku uruchamiania siłowni ze stanu zimnego zasilanie potrzeb własnych może odbywać się — po otwarciu odłączników między prądnicą a transformatorem blokowym — z następujących źródeł:

- a) z głównych szyn poprzez transformator blokowy,  
 b) z zespołu dyzlowskiego pracującego na szynach pomocniczych,

zasilanych z szyn głównych; potrzeby własne 2 bloków są wówczas dzielone na połowy, z których każda jest zasilana oddzielnie przez transformator z zaczepe jednej z dwu prądnic. Wymaga to jednak dosyć złożonego układu łączników i blokady dla osiągnięcia odpowiedniej elastyczności ruchu.

W schemacie według rys. 4 przewidziane są następujące możliwości blokowania:

a) ze wszystkich wyłączników oznaczonych literami W i Y tylko dwa w każdej grupie mogą być w danej chwili zamknięte;

b) urządzenia blokujące X i Z działają niezwłocznie po wyłączeniu przez W i Y, mogą jednakże być unieruchomione tylko w jednym miejscu dla każdej grupy.

Układy z oddzielnymi turbozespołami dla potrzeb własnych są dość rozpowszechnione poza W. Brytanią i USA. Na przykład z transformatora przyłączonego do szyn głównych zasila się pompy wody kotłowej, pompy wody obiegowej, urządzenia do nawęglania. Wszystkie inne potrzeby są zasilane z oddzielnego turbozespołu. Przełączenie zasilania — w przypadku wypadnięcia tego zespołu lub transformatora — może być zautomatyzowane.\*)

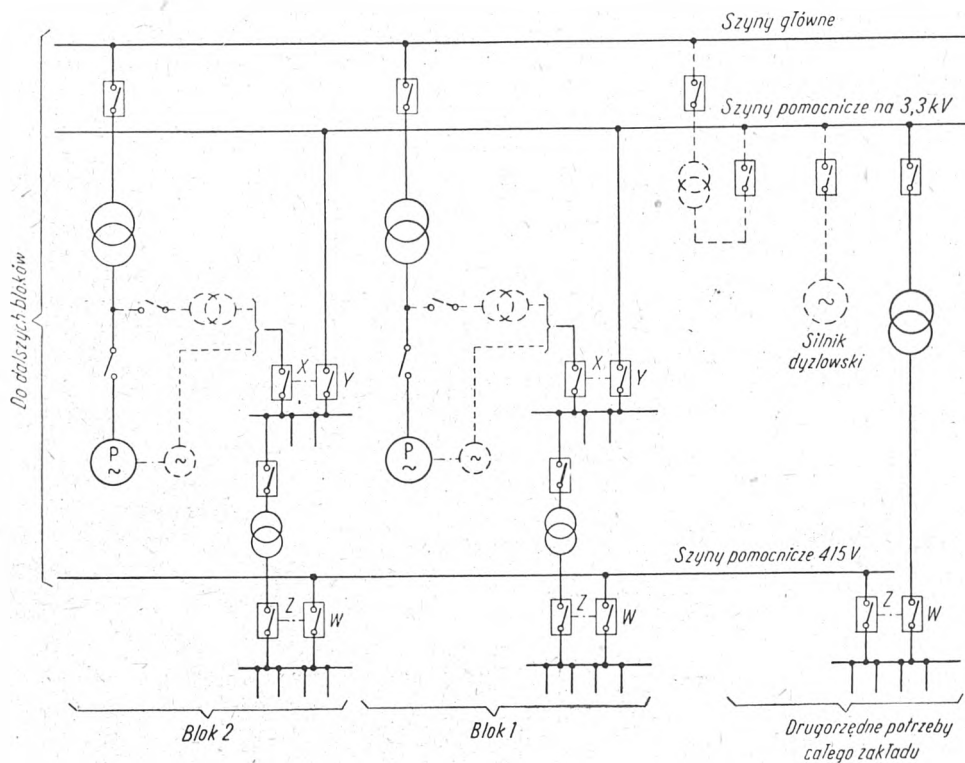
Wadą takiego układu jest uzależnienie znacznej części potrzeb własnych od jednego zespołu. Można temu zara-

\*) Tego rodzaju układ został zastosowany w elektrowni Berlin-West. Odpowiedni schemat jest podany w artykule inż. S. Andrzejewskiego jako rys. 14 na str. 139 niniejszego zeszytu. (Przyp. red.)

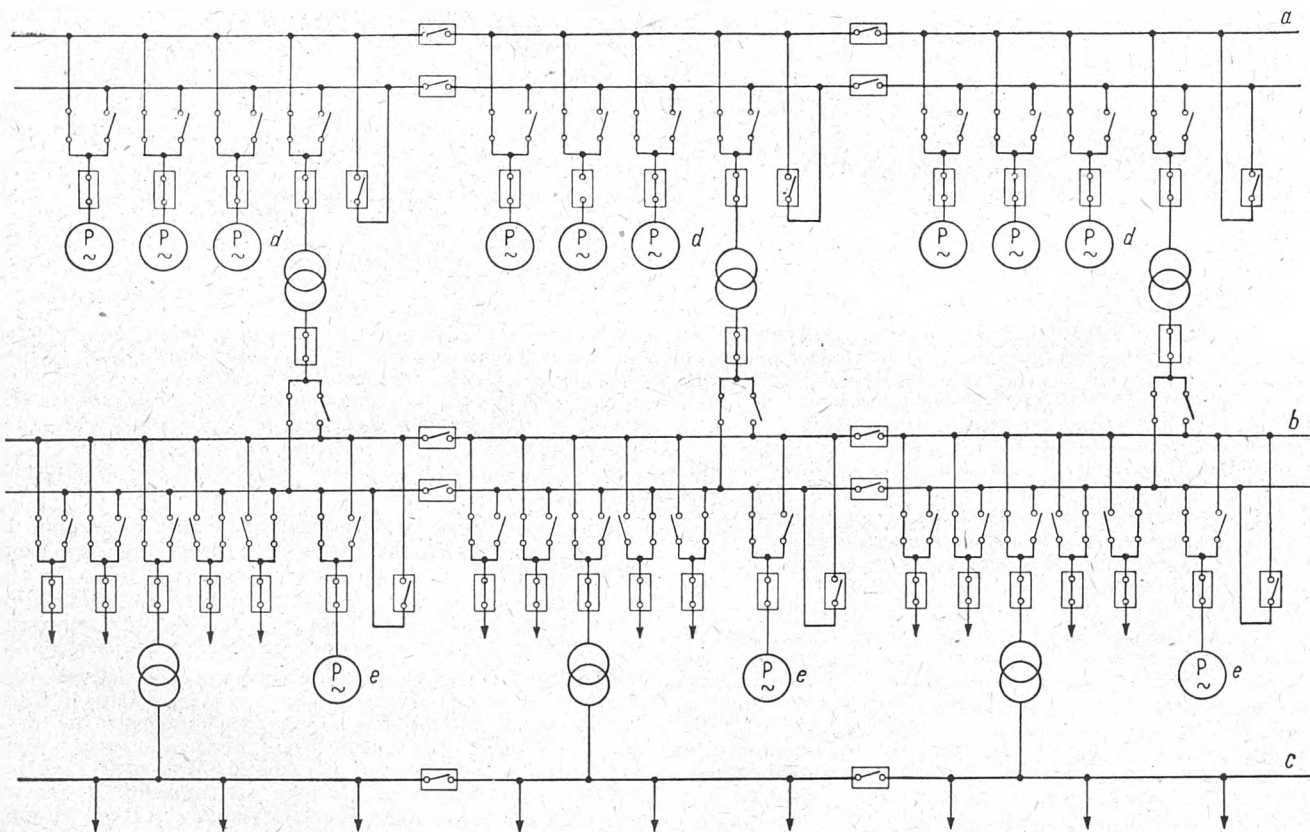


dzić przez podział zasilania na grupy, co prowadzi jednak do instalowania stosunkowo małych turbozespołów; taki układ podany jest na rys. 5. Wszystkie ważne potrzeby

wysokonapięciowe danej grupy turbozespołów głównych zasilane są z oddzielnych szyn zbiorczych; zasilanie jednych szyn odbywa się ze specjalnych turbozespołów, dru-



Rys. 4. System z pojedynczymi silnikami ważnych potrzeb i bez oddzielnych transformatorów zasilanych z szyn głównych



Rys. 5. Zasilanie własnych potrzeb z oddzielnych turbozespołów

Szyny główne zakładu i szyny rozdzielni własnych potrzeb podzielone na sekcje

Wszystkie ważne silniki wysokonapięciowe dzielone na mniejsze jednostki

a Szyny główne

c Szyny własnych potrzeb niskiego napięcia

b Szyny własnych potrzeb wysokiego napięcia

d Turbozespoły główne

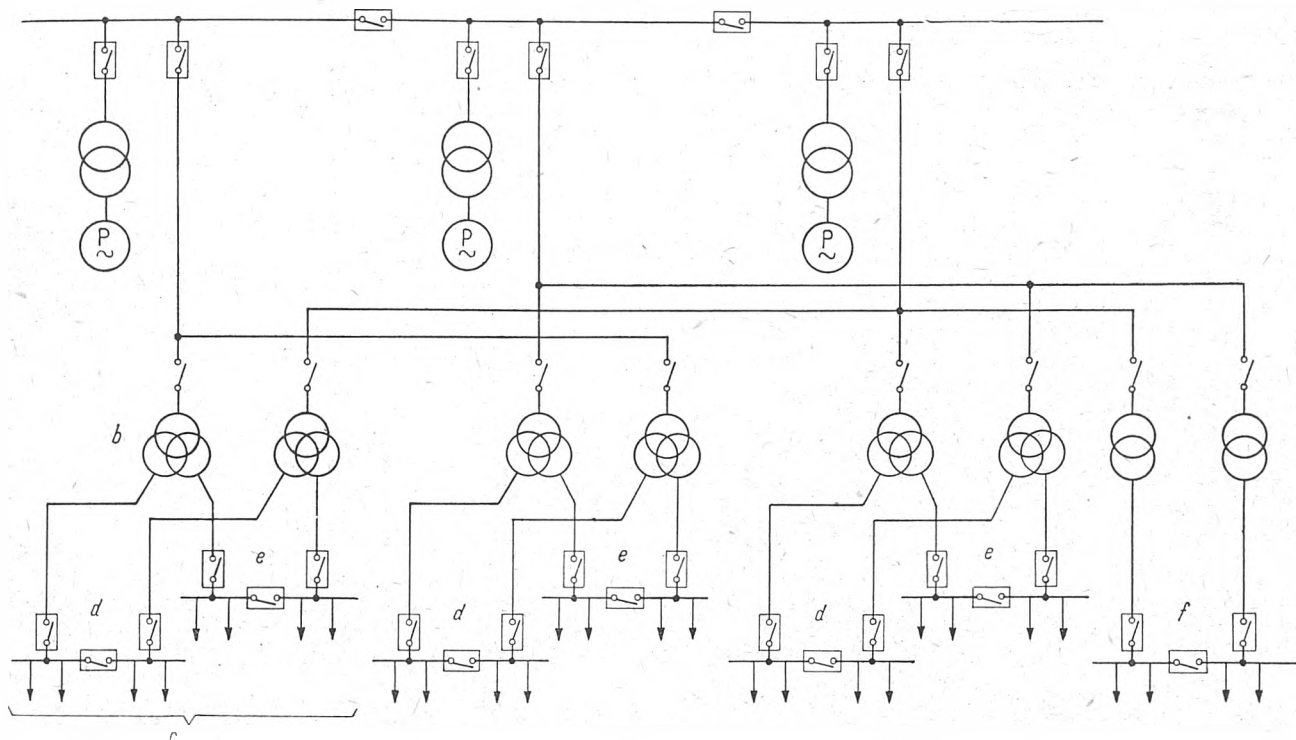
e Turbozespoły własnych potrzeb

gich z transformatorów przyłączonych do głównych szyn siłowni.

Układ według rys. 6 oparty jest na zasilaniu potrzeb własnych tylko z szyn głównych. Zastosowano jednak w tym układzie podział ważnych potrzeb na dwie grupy zarówno na wysokim, jak i na niskim napięciu. Każda grupa zasilana jest przez inny transformator trójzwo-

podwójną liczbę mniejszych jednostek będzie pożądane w jeszcze większym stopniu. Dla b. wielkich jednostek może okazać się słuszne instalowanie oddzielnych turbozespołów, po jednym dla każdego zespołu głównego.

W przypadku jednostek o mocy poniżej 20 MW całkowicie odpadają ze względów ekonomicznych układy z oddzielną prądnicą na wale głównym oraz z oddzielnym



Rys. 6. Sposób zasilania własnych potrzeb z szyn głównych zakładu — o podstawowych cechach układu blokowego

a Szyny główne

b Transformatory własnych potrzeb

c Rozdzielnie jednego bloku do zasilania ważnych potrzeb

d Rozdzielnie wysokiego napięcia

e Rozdzielnie niskiego napięcia

f Rozdzielnia do zasilania drugorzędnych potrzeb całego zakładu

jeniowy (napięcie szyn zbiorczych — 3,3 kV i 415 V), każdy zaś z dwu transformatorów z innej sekcji szyn głównych. Mniej ważne potrzeby są zasilane z oddzielnej rozdzielni przyłączonej przez dwa transformatory do różnych sekcji tychże szyn.

Zamiast transformatorów trójzwojeniowych mogą być zastosowane najpierw transformatory dwuzwojeniowe o przekładni z napięcia szyn głównych na 3,3 kV, a za nimi transformatory na 3,3/0,415 kV; zamiast jednego transformatora trójzwojeniowego potrzebne więc są dwa dwuzwojeniowe.

Celem zmniejszenia liczby transformatorów własnych potrzeb grupa złożona z dwu jednostek trójzwojeniowych (lub czterech dwuzwojeniowych) może zasilать potrzeby na wszystkich sekcjach szyn głównych, a wszystkich zespołów przyłączonych do danej sekcji szyn głównych. Należy jednak zawsze pamiętać o tym, aby same transformatory własnych potrzeb były zasilane z różnych sekcji.

Można również zastosować tylko jedno napięcie (415 V), zachowując wszystkie zasadnicze cechy opisanego wyżej układu.

Układ może być uważany za niezawodny poza jednym przypadkiem, a mianowicie przypadkiem zaniku napięcia na wszystkich sekcjach szyn głównych zakładu. Jeśli taka ewentualność nie jest wykluczona, należy dać pierwszeństwo układowi z transformatorami na zaczepekach prądnic.

#### 17. Uwagi końcowe.

Wyżej opisane sposoby zasilania własnych potrzeb dotyczą turbozespołów o mocy 50—60 MW przyjętych w W. Brytanii jako normalne. Ewentualny wzrost mocy jednostek maszynowych powyżej podanych wartości spowoduje konieczność zwiększenia stopnia pewności ruchu, nie spowoduje natomiast zasadniczych zmian w wymienionych sposobach. Dzielanie ważnych potrzeb własnych na

turbozespołem. Mogą być stosowane dla tego zakresu transformatory z zaczepek prądnic, a przede wszystkim zasilane z szyn głównych elektrowni. Również ze względów ekonomicznych może odpaść problem dzielenia ważnych potrzeb własnych, jak również może okazać się właściwym układ jednonapięciowy.

Powiązanie danego zakładu z innymi za pośrednictwem linii przesyłowych ma wpływ tego rodzaju, że im mniej jest tych powiązań oraz im większe jest prawdopodobieństwo zakłóceń w utrzymywaniu napięcia i częstotliwości na szynach głównych, tym racjonalniejsze jest stosowanie jednego z trzech pozostałych sposobów zamiast zasilania z szyn głównych.

Ze wzrostem parametrów pary wzrasta wymagany stopień pewności ruchu, gdyż zakłady o wysokich parametrach są wrażliwsze na przerwy w zasilaniu potrzeb własnych.

W. P.

#### PRĄDY DOPUSZCZALNE W KABLACH PODZIEMNYCH WIEŁOŻYŁOWYCH

J. Kopeliowitch. Courants admissibles dans les câbles sous plomb isolés au papier imprégné à plusieurs conducteurs enterrés dans le sol. Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension (1948, ref. 206)

W gospodarce energetycznej kabel podziemny jest elementem o dużym znaczeniu i sprawa jego możliwie dobrego wyzyskania jest ogólnym dążeniem. Prądy obciążenia kabli są unormowane przepisami, które w różnych krajach mają wartości różne. Różnice między tymi wartościami powstają głównie wskutek różnych założeń co do temperatury żyły, oporności cieplnych poszczególnych elementów konstrukcyjnych kabla oraz oporności cieplnej otoczenia (ziemi).

Przy określaniu wartości, związanych z najwyższymi dopuszczalnymi temperaturami dla kabli, pewną rolę odgrywają nie tyle różnice w technice kablowej, ile dawniejsze stosowanie rezerwy na usterki w kablu lub szkodliwe wpływy wadliwego układania, a obecnie wielka różnorodność materiałów technicznych stosowanych zarówno w produkcji jak i w eksploatacji.

Sprawa ujednostajnienia wartości granicznych obciążeń kabli przy pracy normalnej i dorywczej może być rozwiązana na terenie komisji międzynarodowych po szczegółowym zbadaniu zasadniczych punktów:

1) oporności cieplnej elementów konstrukcyjnych i otoczenia, według których można obliczać maksymalne dopuszczalne prądy;

2) górnej granicy temperatury żyły przy pracy normalnej kabla i w wypadkach wyjątkowych (przeciążenia, zwarcia);

3) dopuszczalnej przeciążalności przy współczynniku dziennego wyzyskania poniżej 100%.

Podkreślić należy, że wzory teoretyczne, według których obliczane są oporności cieplne i prądy dopuszczalne, aczkolwiek w różnych krajach bywają różne, dawałyby wartości bardzo zbliżone przy tych samych założeniach.

Zagadnienie największych prądów obciążenia jest rozpatrywane w założeniu, że czynnikiem ograniczającym obciążenie kabla nie jest wielkość spadku napięcia w sieci, w której ten kabel pracuje. Metody, według których oblicza się przeważnie wielkość prądów dopuszczalnych w kablach, oparte są przeważnie na ogrzewaniu kabla spowodowanym przez straty.

Straty w kablu powstają przede wszystkim w przewodzie, płaszczu ołowianym i uzbrojeniu. Do ciepła powstałego od tych strat dodaje się ciepło od strat w dielektryku, które pomijamy dla napięć poniżej 25 kV.

W czasie pracy kabla powstaje różnica między temperaturą ( $t$ ) żyły kabla a temperaturą ( $t_G$ ) ośrodka otaczającego kabel. Oporność cieplna  $S$ , którą napotyka na swej drodze strumień cieplny płynący od żyły na zewnątrz kabla, będzie sumą oporności cieplnych: izolacji kabla  $S_1$ , odzieży włóknistej pod pancierzem  $S_2$  i na panczerzu  $S_3$  i oporności cieplnej między kablem i ośrodkiem otaczającym  $S_G$ . Można więc napisać, że  $S = S_1 + S_2 + S_3 + S_G$ . Jeżeli teraz przez  $Q_1$  oznaczymy straty całkowite w przewodzie w watach na cm,  $Q_2$  straty w płaszczu ołowianym,  $Q_3$  straty w uzbrojeniu i  $Q_4$  straty w dielektryku, to według prawa Ohma dla obwodu strumienia cieplnego będzie:

$$t - t_G = Q_1 S + Q_2 (S_G - S_1) + Q_3 (S_3 + S_G).$$

Jeżeli oznaczymy  $\lambda_1 = \frac{Q_2}{Q_1}$  i  $\lambda_2 = \frac{Q_3}{Q_1}$ , można napisać

$$t - t_G = Q_1 \cdot [S + \lambda_1 (S - S_1) + \lambda_2 (S_3 + S_G)] \quad (1)$$

Straty w miedzi będą równe dla kabla trójfazowego

$$Q_1 = 3 I^2 R_t (1 + y_1 + y_2) \quad (2)$$

gdzie  $R_t$  oporność żyły mierzona prądem stałym w omach na cm przy temp.  $t^\circ\text{C}$ , a  $y_1$  i  $y_2$  współczynniki zwiększenia oporności wskutek naskórkowości i bliskości żył; wartości ich podano na rys. 1.

Z równań 1 i 2 możemy wyprowadzić prąd  $I$ :

$$I = \sqrt{\frac{t - t_G}{3 R_t (1 + y_1 + y_2) [S + \lambda_1 (S - S_1) + \lambda_2 (S_3 + S_G)]}} \quad (3)$$

Ponieważ  $y_1$  i  $y_2$  dla najczęściej używanych przekrojów do 240 mm<sup>2</sup> można pominąć, a straty w płaszczu i panczerzu stanowią do 2% strat ogólnych, można stosować wzór w formie uproszczonej:

$$I = \sqrt{\frac{t - t_G}{3 R_t S}} \quad (4)$$

Poszczególne oporności cieplne określamy według następujących wzorów:

Oporność cieplna izolacji kabla  $S_1$ :

$$S_1 = \frac{K_1}{6\pi} \cdot F_1 \cdot G_1 \quad ^\circ\text{C/W/cm}^3 \quad (5)$$

gdzie  $K_1$  — oporność cieplna izolacji,  $F_1$  — współczynnik

poprawkowy dla przewodów profilowych i  $G_1$  — współczynnik geometryczny.

Oporność cieplna odzieży włóknistej pod pancierzem  $S_2$ :

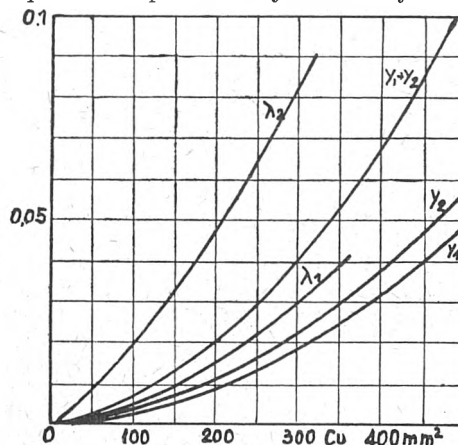
$$S_2 = 0,366 K_2 \lg \frac{d_3}{d_2} \quad ^\circ\text{C/W/cm}^3 \quad (6)$$

gdzie  $K_2$  oporność cieplna odzieży włóknistej pod pancierzem,  $d_2$  średnica kabla na płaszczu ołowianym, a  $d_3$  średnica pod pancierzem.

Oporność cieplna odzieży włóknistej na panczerzu  $S_3$ :

$$S_3 = 0,366 K_3 \lg \frac{d_5}{d_4} \quad ^\circ\text{C/W/cm}^3 \quad (7)$$

gdzie  $K_3$  oporność cieplna odzieży włóknistej na panczerzu,



Rys. 1. Zwiększenie strat spowodowane zjawiskiem naskórkowości i bliskością żył; straty w ołowiu i uzbrojeniu dla różnych przekrojów żył kabli trójfazowych na napięcie 1 do 6 kV przy temperaturze żyły 70° C

$d_4$  średnica kabla na panczerzu,  $d_5$  średnica zewnętrzna kabla (na odzieży zewnętrznej).

Wreszcie oporność cieplna między kablem i ośrodkiem otaczającym  $S_G$  będzie

$$S_G = 0,366 \cdot g \cdot \lg \frac{4L - d_5}{d_5} \quad ^\circ\text{C/W/cm}^3 \quad (8)$$

gdzie  $g$  — oporność cieplna ziemi  $^\circ\text{C/W/cm}^3$ ,  $L$  — głębokość osi kabla od powierzchni ziemi w cm.

Oporności cieplne i temperatury stosowane w różnych krajach

Wartości stosowane dla oporności cieplnych oraz temperatury dopuszczalne dla żył kabli w poszczególnych krajach są różne. Oporność cieplną izolacji kabla  $K_1$  dla kabli wysokiego napięcia najczęściej zakłada się równą 550  $^\circ\text{C/W/cm}^3$ . We Włoszech  $K_1$  przyjmują 600, a w Stanach Zjednoczonych 500 dla kabli nowych i 700  $^\circ\text{C/W/cm}^3$  dla kabli pracujących czas dłuższy. W Wielkiej Brytanii wartość  $K_1$  dla kabli do 1,5 kV zakłada się 750  $^\circ\text{C/W/cm}^3$ .

Wartości  $K_2$  i  $K_3$  dla odzieży włóknistej wynoszą przeciętnie 500  $^\circ\text{C/W/cm}^3$ , chociaż często spotyka się wartości niższe.

Oporność cieplna ziemi  $g$  zmienia się w granicach od 40 do 480  $^\circ\text{C/W/cm}^3$ , przy czym najniższe wartości stosują w Niemczech, a najwyższe w Japonii. W ZSRR przyjmują wartości  $g = 80$   $^\circ\text{C/W/cm}^3$ , a w Wielkiej Brytanii zmieniano dawniej używane  $g = 180$   $^\circ\text{C/W/cm}^3$  na 120  $^\circ\text{C/W/cm}^3$ . Na wielkości  $g$  wpływa oczywiście w dużym stopniu rodzaj ziemi oraz jej wilgotność.

Przepisy angielskie na prądy dopuszczalne dla kabli, ogłoszone przez Brit. El. and Allied Ind. Research Association, podają współczynniki poprawkowe dla różnych wartości  $g$  oraz krzywe zmiany tej wartości zależnie od pory roku.

Pomiary wykonane w Haifie dla piasku przy dwu wartościach względnych wilgotności dały dla:

|   |     |     |
|---|-----|-----|
| wilgotności względnej (%)                       | 2   | 4   |
| oporność cieplną piasku $^\circ\text{C/W/cm}^3$ | 230 | 100 |

a więc różnicę bardzo dużą.

Najwyższe dopuszczalne temperatury żył kabli w Stanach Zjednoczonych przyjmuje się dla kabli wysokich napięć ( $U$  powyżej 5 kV)

$$t = (90 - U) \quad ^\circ\text{C} \quad (9)$$



gdzie  $U$  jest napięciem roboczym kabla w kV. Dla kabli niskonapięciowych dopuszczalna temperatura wynosi 85°C. W czasie wojny wzór wyżej podany zmieniono podwyższając dopuszczalną temperaturę, a mianowicie: dla kabli wielożyłowych

$$t = (98 - U) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

a dla nagłych wypadków

$$t = (102 - U) \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (11)$$

W Wielkiej Brytanii temperatury żył dla kabli wielożyłowych ułożonych w ziemi lub leżących na powietrzu zakłada się:

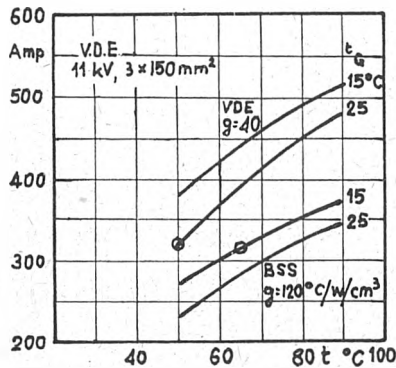
|                         |             |      |
|-------------------------|-------------|------|
| dla napięć roboczych do | 1,5 kV      | 70°C |
| " "                     | 3 do 10 kV  | 65°C |
| " "                     | ponad 22 kV | 55°C |

przy czym jako temperaturę ziemi  $t_G$  przyjmuje się 15°C, a dla innych temperatur używa się współczynnika poprawkowego. W Belgii i we Włoszech najwyższa temperatura żyły może wynosić 60°C.

We Francji, Niemczech i Szwajcarii bierze się za punkt wyjścia największe podwyższenie temperatury ( $t - t_G$ ) które dla kabli wielożyłowych wynosi:

|  |       |
|--|-------|
| we Francji                             | 30°C  |
| w Niemczech (1928)                     | 25°C  |
| " " (1934, do 6 kV)                    | 35°C  |
| w Szwajcarii (1942, dla 10 kV i wyżej) | 25°C. |

Jeżeli temperatury ziemi wynoszą we Francji  $t_G = 20^\circ\text{C}$ , a w Niemczech i Szwajcarii 25°C, to odpowiednio temperatury żył będą we Francji 50°C, w Niemczech i Szwaj-



Rys. 2. Dopuszczalne prądy obciążenia dla różnych temperatur żyły ( $t$ )

$t_G$  temperatury ziemi;  $g$  oporność cieplna ziemi; głębokość ułożenia kabli: VDE — 120 cm, BSS — 91,5 cm.

carii 60°C dla kabli do 6 kV i 50°C dla kabli od 10 kV wzwyż.

ZSRR według norm OCT 6 260 przyjmuje największe temperatury żył zależnie od wysokości napięcia roboczego:

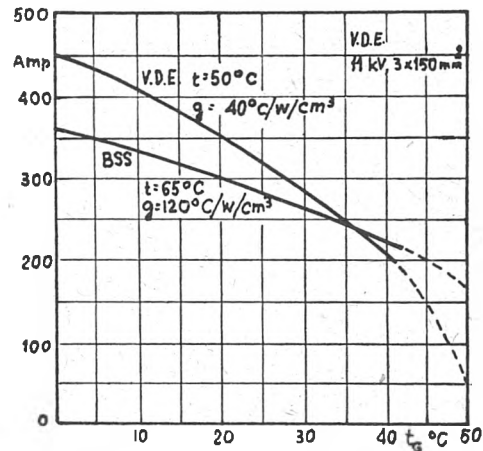
|          |      |
|----------|------|
| dla 3 kV | 80°C |
| 6 kV     | 75°C |
| 10 kV    | 70°C |
| 20 kV i  | 60°C |

Na rys. 2, 3, 4 podano wpływy różnych czynników na wielkość prądu maksymalnego w kablu.

Jeżeli największe obciążenia kabli występują w zimie, to wartości  $g$  i  $t_G$  są niższe, co znacznie wpływa na granicę dopuszczalnych prądów. Zależności  $t_G$  od pory roku nie można w żadnym przypadku pomijać, zwłaszcza dla kabli ułożonych płytko. Korzystne jest tutaj ustalenie poprawek, gdy tabele obliczone są dla pewnej wartości  $g$  otrzymanej praktycznie z pomiarów.

Oporność cieplna ziemi ma jednak stosunkowo niewielki wpływ na całkowite podwyższenie temperatury kabla podczas jego pracy. Praktyka USA, gdzie dopuszcza się najwyższe temperatury kabli, wykazała, że tylko 5% całkowitego podwyższenia temperatury kabli należy przypisać oporności cieplnej ziemi. Wydaje się więc, że nie może być zasadniczych trudności w uzgodnieniu najwyższej temperatury dla żył kabli dla wszystkich krajów, choć mogą w nich być różne temperatury ziemi. Jeżeli chodzi o samą

wysokość temperatury dopuszczalnej dla żyły kabla, to statystyka uszkodzeń kabli w Stanach Zjednoczonych, gdzie temperatury robocze są najwyższe, nie wykazała tam większej częstotliwości uszkodzeń niż w innych kra-



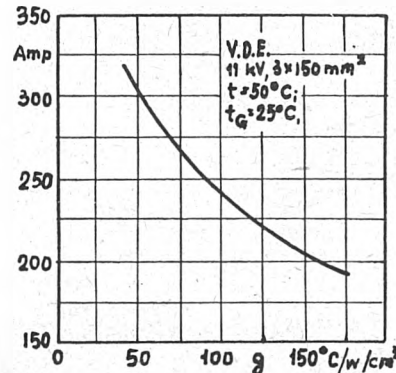
Rys. 3. Dopuszczalne prądy obciążenia kabla jak na rys. 2 dla różnych temperatur ziemi  $t_G$

jach. Mając jeszcze dane o średnich czasach trwałości kabli można rozpatrywać sprawę grzania kabli z punktu widzenia ekonomicznego.

Dla obciążeń przypadkowych o ograniczonym czasie trwania, a mianowicie do 24 godz. w ciągu roku i nie więcej jak 4-krotnie w ciągu następujących po sobie 12 miesięcy, można określić największą temperaturę żyły z wyżej podanego wzoru amerykańskiego (9), choć w Ameryce w takich warunkach stosuje się wzór (11). Otrzymamy wówczas zestawienie podane w tabl. I.

Należy zawsze brać pod uwagę konieczność rezerwy we wzroście temperatury w wypadku uszkodzenia. Rezerwa jest utrzymywana w granicach 25—33%, jeżeli obwód zasilania równoległe 4 lub 5 kabli.

Jeżeli stosować prądy dopuszczalne takie, jakie podano w powyższej propozycji, wtedy większa część rezerwy była-



Rys. 4. Dopuszczalne prądy obciążenia kabla jak na rys. 2 dla różnych temperatur ziemi  $t_G$

by do dyspozycji w normalnych warunkach eksploatacji, natomiast w razie wypadku dopuszczalne prądy byłyby proporcjonalnie wyższe niż podane w tablicy.

Tablica I.

| Napięcie znamionowe (kV) | Temperatura żyły °C |                   |             | Względ. wzrost wielkości dopuszczalnego prądu (%) |     |
|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------|---|-----|
|                          | Br. E. R. A. (1)    | VDE (2) i Szwajc. | Proponowane | Br. E. R. A.                                      | VDE |
| 3                        | 70                  | 60                | 85          | 10  | 25  |
| 6                        | 70                  | 60                | 84          | 9   | 24  |
| 10                       | 65                  | 50                | 80          | 11  | 40  |
| 20                       | 55                  | 50                | 70          | 14  | 29  |

(1) Temperatura ziemi  $t_G = 15^\circ\text{C}$

(2) " " "  $t_G = 25^\circ\text{C}$

## Pomiary wykonane na kablach

Pomiary, wykonane na kablu o przekroju  $3 \times 100 \text{ mm}^2$  na napięcie 6 kV przy pomocy termometrów oporowych między przewodami i na płaszczu ołowianym, dały wyniki, które pozwoliły na obliczenie wartości  $K_1$  i  $g$  w  $^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$  ze wzorów (3), (5), i (8) wyżej podanych (tabl. II). Oporności cieplne odzieży włóknistej  $K_2$  i  $K_3$  założono równe  $500 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ , przy czym aby otrzymać górną granicę  $g$  (w nawiasach) przeliczono tę wartość dla  $K_2 = K_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ .

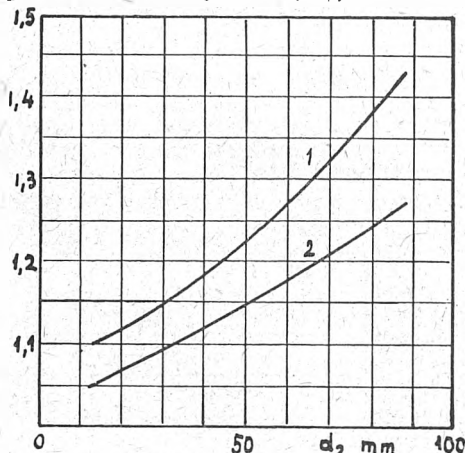
Tablica II

| Prąd            | Temperatura żyły $^\circ\text{C}$ | Oporność cieplna |             |
|-----------------|-----------------------------------|------------------|-------------|
|                 |                                   | izolacji $K_1$   | ziemi $g$   |
| 180             | 33,5                              | 427              | 33,7 (41,8) |
| 220             | 40,5                              | 440              | 33,0 (41,0) |
| 240             | 44,5                              | 440              | 33,9 (42,0) |
| Średnia wartość |                                   | 436              | 33,5 (41,6) |

Otrzymana średnia wartość dla  $K_1$  jest niższa niż ogólnie zakładane  $550 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ , natomiast wartość  $g$  dla kabla w piasku i z okryciem z betonu równa  $42 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$  jest zbliżona do wartości  $40 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$  przyjmowanych w Niemczech.

E. Evrard w referacie CIGRÉ 206 z roku 1937 podał wyniki pomiarów dla kabli na 6 kV i  $3 \times 120 \text{ mm}^2$  ułożonych w różnych warunkach.

Dla okrycia płytami betonowymi bez podsypki piaskowej przy temperaturze  $132^\circ\text{C}$   $g = 49(55)$ , dla kabla zaś bez



Rys. 5. Współczynnik poprawkowy dla przerywanych obciążeń według Tables of Current Rating of Brit. Stand. Cables

- 1 1 godz. przeciążenia po trwałym obciążeniu w 50%  
2 1 godz. przeciążenia po trwałym obciążeniu w 75%

osłony, natomiast z warstwami piasku pod i nad kablem przy temp.  $105^\circ\text{C}$   $g = 26(33) \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ , przy czym  $g$  obliczono dla dwu wartości kabla  $K_2$  i  $K_3$  jak poprzednio.

W Haifie wykonano szereg pomiarów na kablu zakopanym w piasku na głębokości ok. 95 cm. Kable  $3 \times 35$  i  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  grzane w ciągu 4 godzin. Wartość  $g$  otrzymana dla pomiarów wykonanych w miesiącu lutym wyniosła  $110 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ .

## Dopuszczalne obciążenia przerywane

Niektóre normy przewidują poprawki dla prądów przerywanych, które mogą być większe niż prądy ciągłe. Tabele prądów w przepisach szwajcarskich są np. ułożone dla dziennego obciążenia składającego się z 10 godzin obciążenia 100% i 14 godzin 70% (rys. 5).

## Ciepłne stałe czasu i krzywe doświadczalne przebiegu grzania

Obliczenie dopuszczalnych przeciążeń kabli są oparte bądź na stałych cieplnych czasu, bądź na charakterystykach cieplnych. Należy zwrócić uwagę, że wartości stałych czasu mają tendencję wzrastania przy dużych wielkościach prądów, gdy wzory teoretyczne oparte są na hipotezie,

że stałe czasu są niezmiennie dla wszelkich wartości prądów.

Wzór na grzanie ma postać następującą:

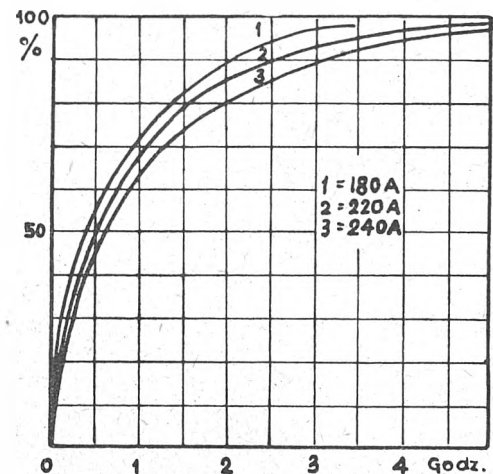
$$t - t_1 = RI^2 \cdot S_1 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right) \quad (12)$$

$$t - t_G = RI^2 (S - S_1) \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right) \quad (13)$$

gdzie  $T$  jest cieplną stałą czasu odpowiadającą cieplnej pojemności kabla  $C$  i cieplnej oporności izolacji  $S_1$  tak, że  $T = S_1 \cdot C$ ;  $T_G$  jest cieplną stałą czasu odpowiadającą pojemności  $C_G$  kabla ułożonego w ziemi i oporności cieplnej zewnętrznej tak, że  $T_G = (S - S_1) \cdot C_G$ .

Czas do chwili przerywania prądu o stałej wielkości  $I$  oznaczono literą  $\tau$ . Zmiany oporności  $R$  pominięto i do rachunku przyjęto oporność przy temperaturze końcowej.

Na rys. 6, na którym podano wyniki otrzymane z pomiarów wyżej opisanych na kablu  $3 \times 100 \text{ mm}^2 - 6 \text{ kV}$ , przy-



Rys. 6. Krzywa grzania i stygnięcia żyły kabla 3-fazowego na 6 kV,  $3 \times 100 \text{ mm}^2$  przy różnych obciążeniach

mując za każdym razem temp. końcową jako 100%, widzimy, że dla największego prądu grzania 240 A względny wzrost temperatury żyły jest powolniejszy niż dla prądów o mniejszej wartości, czyli wydaje się, że stałe czasu wzrastają, gdy prąd przybiera większą wartość, o czym wspomniano wyżej. Aby wyprowadzić stałe czasu równoważne, zakładamy, że wzór na ogrzewanie żyły jest uproszczony

$$100 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_1}}\right)$$

i że obliczyliśmy wartość  $e^{-\frac{\tau}{T_1}}$  z krzywych na rys. 6. Wykreślając wyniki w skali logarytmicznej dla prądów  $I = 180 \text{ A}$  i  $I = 120 \text{ A}$  na rys. 7 i oznaczając stałą czasu  $T_1$  wykreślnie (pochylenie linii prostej), widzimy, że na początku  $T_1$  jest zmienne, ale że po 30 do 45 minutach ustala się na wartościach:

$$\begin{aligned} \text{dla } 180 \text{ A} & \quad T_1 = 60 \text{ min.} \\ \text{„ } 240 \text{ A} & \quad T_1 = 96 \text{ „} \end{aligned}$$

Te stałe czasu są ważne dla długotrwałych okresów obciążeń; dla okresów krótszych będą one miały wartości podane w tabl. III.

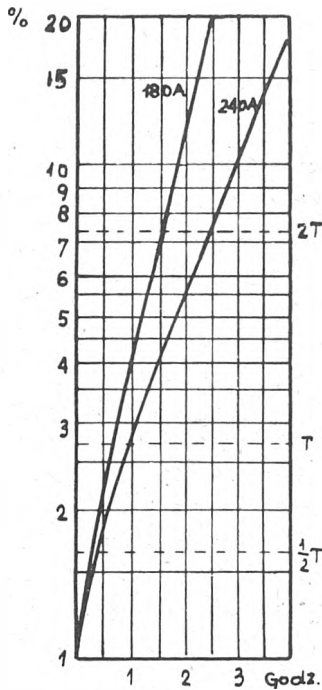
Tablica III

| Okresy w minutach   | 30 | 60 | 90 | 120 |
|---------------------|----|----|----|-----|
| $I = 180 \text{ A}$ | 37 | 46 | 48 | 150 |
| $I = 240 \text{ A}$ | 50 | 59 | 66 | 72  |

Różnica temperatur  $t - t_1$  między żyłą i płaszczem nie jest funkcją wykładniczą, a stała czasu przybiera wartość stałą dopiero po 30—60 min. osiągając wartości:

| prąd w amp. | $t$ w min. |
|-------------|------------|
| 180         | 30         |
| 220         | 40         |
| 240         | 105        |

Płaszcz ołowiany ogrzewa się według krzywej wykładniczej zgodnie ze wzorem (13) dla  $T_G = 72$  min. przy trzech wartościach prądu. Identyczne prawie stałe czasu otrzymane można z krzywych stygnięcia. Temperatura żyły jest



Rys. 7. Wykreślne wyznaczenie ciepłych stałych czasu z krzywych podanych na rys. 6

bliska temperatury płaszcza ołowianego i zmienia się według krzywej wykładniczej dla  $T = 75$  min. W wynikach pomiaru E. Evrarda dla kabla na 6 kV, ułożonego w ziemi bez osłony, stała czasu  $T_1$  dla żyły w ciągu pierwszych 10 godzin wynosi ok.  $T_1 = 12$  godz., a dla temperatury żyły i płaszcza ołowianego  $T = 7,5$  godz.; obydwie po tym osiągają wartość 16 godzin. Liczby te stosunkowo wysoki otrzymano przy dużym przeciążeniu  $I = 500$  amp. (prąd dopuszczalny według VDE 325 amp.).

W Haifie dla kabli na 6 i 22 kV, ułożonych w piasku, otrzymano stałe czasu:

|       |                      |       |               |
|-------|----------------------|-------|---------------|
| 6 kV  | 3×50 mm <sup>2</sup> | 150 A | $T = 27$ min. |
| 22 kV | 3×35 „               | 150 A | $T = 36$ „    |

L. Borone dla takich samych kabli otrzymał odpowiednio 26 i 39 min.

Na zasadzie powyższych rozważań wydawałoby się rzeczą słuszną uważać, że dla określenia dopuszczalnego krótkotrwałego przeciążenia należy wyprowadzić ciepłą stałą czasu z odpowiednich pomiarów.

Dopuszczalne przeciążenie kabla

Obliczenie dopuszczalnego prądu na podstawie wykresów obciążenia jak na rys. 8 i charakterystyk cieplnych jak

i temperatury ziemi otaczającej  $t_G$ °C współczynnik poprawkowy można wyznaczyć w sposób następujący:

$$I_p = a \cdot I_D$$

$$I_D^2 = A \cdot (t_D - t_G)$$

$$(a^2 - 1) I_D^2 = n \cdot A \cdot (t_p - t_D)$$

a dalej

$$(a^2 - 1) (t_D - t_G) = n (t_p - t_D)$$

$$(a^2 + n - 1) t_D - (a^2 - 1) t_G = n t_p$$

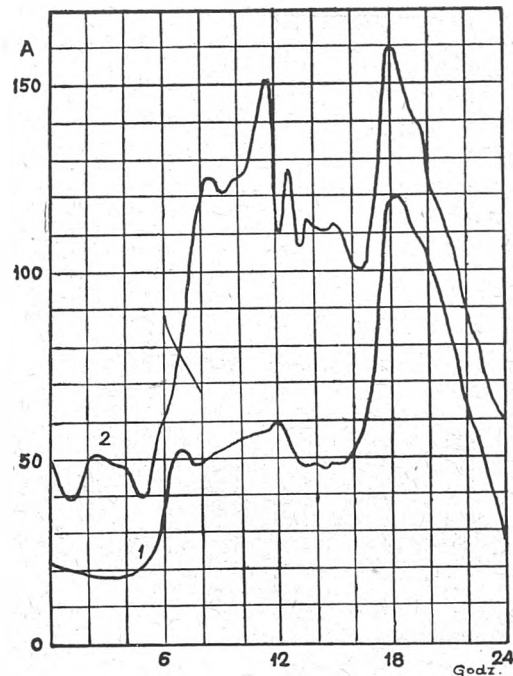
Ponieważ dopuszczalna temperatura żyły jest ograniczona do  $t^\circ C$  musi być zachowany warunek:

$$n (t_p - t_D) + t_D = t$$

$$n t_p + (1 - n) t_D = t$$

i wreszcie

$$t_D = \frac{t + (a^2 - 1) t_G}{a^2}$$



Rys. 8. Wykresy obciążenia dobowego dla różnych stopni wyzyskania

- 1 Współczynnik wyzyskania 44%
- 2 Współczynnik wyzyskania 59%

$$t_p = \frac{(a^2 + n - 1) + (a^2 - 1) (n - 1) t_G}{n a^2}$$

Temperatury końcowe żyły  $t_D$  i  $t_p$  odpowiadają odpowiednio prądom o stałej wartości  $I_D$  i  $I_p$ . Współczynnik poprawkowy jest równy

Tablica IV

|          | 7 g — 17 g    | 18 g — 19 g   | a    | b   | n    | $t_D$ | $t_p$ | F     | bF    |
|----------|---------------|---------------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| Wykres 1 | $I_D = 53$ A  | $I_p = 109$ A | 2,06 | 1,1 | 0,81 | 33,3  | 66,3  | 1,085 | 1,195 |
| Wykres 2 | $I_D = 116$ A | $I_p = 145$ A | 1,23 | 1,1 | 0,90 | 47,4  | 61,5  | 1,02  | 1,120 |

na rys. 6 można wykonać w sposób następujący. Określa się prąd dziennego obciążenia  $I_D$ , jako wartość średnią z 10 godzin przed szczytem obciążenia, i prąd w okresie szczytowym  $I_p$ . Jeżeli zmiany wielkości prądu nie są zbyt duże, można w praktyce przyjąć wartości średnie arytmetyczne.

W założeniu, że okres szczytowego obciążenia trwa 2 godziny, z krzywych na rys. 6 widać, że na końcu okresu dodatkowe ogrzanie osiąga 12% temperatury końcowej ( $n = 81-90\%$ ). Dla największej temperatury żyły  $t^\circ C$

$$F = \sqrt{\frac{t_p - t_G}{t - t_G}}$$

Rzeczywisty prąd największy  $I_m$  może być większy od  $I_p$

a więc

$$I_m = b I_p$$

$$I_m = b F \cdot I$$

Stosując te wzory do wykresów na rys. 8 dla  $t = 60^\circ C$  i  $t_G = 25^\circ C$  otrzymamy tabl. IV.



Wartości otrzymane dla  $bF$  nie różnią się bardzo od przedstawionych na rys. 5, jeżeli okres szczytowego obciążenia będzie trwał 2 godziny. Przy prądzie znamionowym kabla  $I = 250$  A, prąd największy  $I_m$  nie może przekroczyć 300 A dla krzywej 1 i 280 A dla krzywej 2.

Dla przeciążenia w okresie zimowym, kiedy temperatura ziemi  $T_G = 15^\circ\text{C}$  i prąd  $I = 280$  A, prąd największy dla krzywej 1 winien być ograniczony wielkością  $I_m = 335$  A, czyli 34% ponad wartość przewidywaną przez przepisy VDE.

Kabel musi się, oczywiście, znajdować w jednakowych warunkach cieplnych na całej długości.

Przykład wpływu omawianych powyżej czynników na wielkość prądów dopuszczalnych w kablu

Następujące obliczenia dotyczą kabla 3-fazowego  $3 \times 150$  mm<sup>2</sup> o żyłach sektorowych na 10 kV, wykonanego według VDE 34 i zakopanego w ziemi.

|  |     |     |
|--|-----|-----|
| 1. Prąd znamionowy według VDE ( $t = 50^\circ\text{C}$ ,<br>( $t_G = 25^\circ\text{C}$ , $L = 120$ cm, $g = 40^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ ) | 320 | 100 |
| 2. Prąd dopuszczalny w zimie ( $t_G = 15^\circ\text{C}$ )  | 378 | 118 |
| 3. Przeciążenie dzienne dopuszczalne w zimie<br>w ciągu godziny:   |     |     |
| po obciążeniu ciągłym 285 A  | 435 | 136 |
| " " " 190 A  | 463 | 145 |

Jeżeli zezwolić w razie wypadku na wzrost temperatury do  $80^\circ\text{C}$  w ciągu najwyżej 24 godzin w roku, jak to zakładaliśmy wyżej, można by dopuścić następujące przeciążenia:

|   |     |     |
|---|-----|-----|
| 4. Praca wyjątkowa w razie konieczności<br>( $t_G = 25^\circ\text{C}$ )           | 450 | 140 |
| 5. Praca wyjątkowa w razie konieczności w zi-<br>mie ( $t_G = 15^\circ\text{C}$ ) | 486 | 152 |
| 6. Przeciążenie wypadkowe dopuszczalne w zi-<br>mie w ciągu 1 godziny:            |     |     |
| po obciążeniu ciągłym 365 A   | 560 | 175 |
| " " " 243 A   | 597 | 186 |

Odpowiednie liczby obliczane dla takiego samego kabla według przepisów angielskich ERA są następujące:

|   |     |       |
|---|-----|-------|
| 1. Prąd znamionowy ( $t = 65^\circ\text{C}$ , $t_G = 15^\circ\text{C}$ ,<br>$L = 91,5$ cm, $g = 120^\circ\text{C}/\text{W}/\text{cm}^3$ ) | 317 | 100   |
| 2. Obciążenie w lecie ( $t_G = 25^\circ\text{C}$ )  | 283 | 89,5  |
| 3. Przeciążenie dzienne dopuszczalne w zimie<br>w ciągu 1 godziny:  |     |       |
| po obciążeniu ciągłym 238 A   | 365 | 115   |
| " " " 158 A   | 388 | 122,5 |
| 4. Praca wyjątkowa $t = 80^\circ\text{C}$ , $t_G = 15^\circ\text{C}$  | 350 | 111   |
| 5. Przeciążenie dopuszczalne wypadkowe w cią-<br>gu 1 godziny:  |     |       |
| po obciążeniu ciągłym 263 A   | 402 | 128   |
| " " " 175 A   | 429 | 136   |

Przykład powyższy pokazuje duże różnice spowodowane stosowaniem różnych podstawowych założeń i różnego oceniania temperatur żyły kabla, które można dopuścić bezpiecznie bez narażania ciągłości rozdziału energii elektrycznej.  
K. K.

## Udostępnianie czasopism technicznych pracownikom fachowym

Wyciąg z pisma okólnego PKPG z 12. VII. 49

Zagadnienie realizacji planu sześcioletniego oraz problemy rozbudowy i unowocześnienia przemysłu, transportu i łączności w ramach tegoż planu wymagają systematycznego wzrostu kwalifikowanych kadr oraz stałego podwyższania praktycznego i teoretycznego poziomu technicznych wiadomości tychże kadr.

Czasopisma techniczne winny być jednym z najbardziej efektywnych środków podnoszenia poziomu technicznego zarówno istniejących kadr technicznych, jak i nowych sił mających kadry te zasilić.

Czasopisma techniczne winny pogłębiać wiedzę techniczną tak inżyniera, technika i majstra jak i robotnika poprzez zwięźle artykuły, poruszające podstawowe i aktualne dla danego odcinka życia gospodarczego zagadnienia techniczne, produkcyjne, ekonomiczne, gospodarcze i organizacyjne.

Należy dołożyć starań, by poziom techniczny, dobór i sposób opracowania tematów odpowiadały potrzebom naszego życia gospodarczego, by powiększyć nakład czasopism, stworzyć dla nich mocną podstawę finansową, by dotrzeć z czasopismami technicznymi wydawanymi na niższym poziomie do ogółu niższego personelu inżyniersko-technicznego i kwalifikowanych robotników, zaś z czasopismami wydawanymi na poziomie wyższym do wszystkich inżynierów i techników.

Należy przyzwyczaić personel techniczny zakładów do systematycznego czytania czasopism technicznych. Realizacja tego zagadnienia wymaga aktywnego działania ze strony kierownictwa zakładu lub instytucji, stałej propagandy naszego piśmiennictwa, zwracania uwagi na ciekawsze, mogące zainteresować fachowców artykuły.

Dla udostępnienia czasopism technicznych ogółowi pracowników zakładów i instytucji poleca się co następuje:

a) Czasopisma techniczne na poziomie niższym winny być abonowane w takiej ilości, by jeden egzemplarz fachowego czasopisma wypadał na 50 pracowników produkcyjnych, zatrudnionych przy odpowiednich fachowych pracach (np. jeżeli w fabryce elektrotechnicznej pracuje 500 pracowników produkcyjnych, z nich 150 w działach mechanicznych, pozostali zaś w działach montażowo-elektrycznych, należy zaabonować 3 egzemplarze czasopisma

„Mechanik“ i 7 egzemplarzy czasopisma „Wiadomości Elektrotechniczne“).

Obecność dziesięciu ludzi pewnej specjalności w zakładzie zobowiązuje kierownictwo zakładu do zaabonowania dla nich odpowiedniego fachowego czasopisma.

b) Czasopisma techniczne na poziomie wyższym winny być abonowane w takiej ilości, by jeden egzemplarz odpowiedniego fachowego czasopisma wypadał na 20 inżynierów lub techników danej specjalności.

Obecność dwu inżynierów lub techników pewnej specjalności zobowiązuje kierownictwo zakładu lub instytucji do zaabonowania dla nich odpowiedniego fachowego czasopisma.

c) Wszystkie zakłady pracy i instytucje winny prenumerować conajmniej jeden egzemplarz czasopisma ogólnotechnicznego „Przeгляд Techniczny“.

d) Wszystkie zakłady pracy i instytucje winny abonować czasopismo popularyzujące problemy techniki p. n. „Horyzonty Techniki“ w ilości 1 egzemplarz na 100 pracowników zakładu i zwracać uwagę na rozpowszechnienie tego czasopisma wśród robotników i niższego personelu technicznego.

e) Zakłady pracy i instytucje winny prowadzić wśród personelu inżyniersko-technicznego i ogółu pracowników propagandę składającą do indywidualnego abonowania przez pracowników odpowiednich czasopism technicznych.

Zakłady pracy i instytucje winny ułatwiać pracownikom indywidualne abonowanie ważniejszych czasopism technicznych przez przeprowadzenie zbiorowych prenumerat poprzez zakłady pracy.

f) Czytelnie czasopism i świetlice istniejące na terenie zakładu pracy winny być zaopatrzone w ważniejsze czasopisma techniczne, w szczególności zaś w czasopisma przeznaczone dla robotników i niższego personelu technicznego.

Celem dostosowania treści, doboru i sposobu opracowania tematów w czasopismach technicznych do konkretnych potrzeb i bolączek naszych zakładów pracy, poleca się co następuje:

a) Zobowiązuje się zakłady pracy i instytucje oraz zatrudnionych w nich inżynierów, techników i pozostałych

pracowników technicznych, by pisemnie lub ustnie wyrażały redakcjom zainteresowanych czasopism swoje życzenia i uwagi odnośnie treści, doboru i sposobu opracowania tematów.

b) Zobowiązuje się komitety redakcyjne czasopism technicznych do omawiania wysuniętych przez zakłady pracy i pracowników propozycji i natychmiastowej realizacji słusznych wniosków.

## Wydawnictwa nadesłane

**LIS BRONISŁAW, inż. STRATY ENERGII W SIĘCIACH ELEKTRYCZNYCH.** Centralny Zarząd Energetyki. Komisja Badania Strat. 1950, Warszawa. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, 135 str., 42 rys., 15 tabl., cena zł 500. — Spis rzeczy: Wstęp. I. Straty energii w sieciach elektrycznych według statystyki. II. Straty energii w poszczególnych miesiącach roku a średnie straty roczne. III. Podział strat energii w sieci. IV. Pomiar strat energii. V. Źródła i analiza strat energii. A. Straty przy przesyłaniu energii: 1. Straty na nagrzewanie przewodów. 2. Obliczanie strat nagrzewania w przewodach. 3. Straty energii na wpływ i ulot. 4. Wpływ wysokości znamionowego napięcia na straty nagrzewania. 5. Wpływ współczynnika mocy na straty nagrzewania. 6. Wpływ obciążenia na straty nagrzewania. 7. Wpływ rozkładu obciążenia na straty nagrzewania. 8. Zniżenie strat energii w kablach zasilających. 9. Sposoby zmniejszenia strat przesyłania. — B. Straty przy przetwarzaniu energii: 1. Obliczanie strat w transformatorach. 2. Wpływ obciążenia na straty transformatora. 3. Wpływ zmiany napięcia na straty transformatora. 4. Wpływ współczynnika mocy na straty transformatora. 5. Niedociążenie transformatorów. 6. Zbędne stopnie transformacji. 7. Ekonomiczne warunki pracy transformatorów. 8. Roczne straty energii w transformatorach. 9. Zabiegi zmierzające do zmniejszenia strat przetwarzania. — C. Straty przy rozdzielaniu energii: 1. Wpływ wysokości znamionowego napięcia na straty rozdzielania. 2. Wpływ materiału przewodów na straty rozdzielania. 3. Wpływ stanu izolacji na straty rozdzielania. 4. Upięty energii w wadliwych instalacjach. 5. Zabiegi zmierzające do obniżenia strat rozdzielania. — D. Straty handlowe: 1. Ograniczniki i ryczałty. 2. Błędy w połączeniach liczników. 3. Oświetlenie uliczne zasilane z sieci rozdzielczej. 4. Wpływ liczników na straty handlowe. 5. Kradzieże energii. 6. Niewłaściwe odczytywanie liczników.

7. Odbiorcy nie ujęci ewidencją zakładu. 8. Straty uboczne. VI. Końcowe wnioski. VII. Przykład ustalenia procentu strat energii dla zakładu elektrycznego. VIII. Projekt kampanii o zmniejszenie strat. Literatura. Z przedmowy wydawcy: Książka przeznaczona jest dla personelu sieciowego zakładów elektrycznych o wyższym i średnim wykształceniu technicznym oraz dla studentów.

**NORMALIZACJA. Zarys zagadnień normalizacyjnych w związku z I kursem normalizatorów w PKN (10. I. do 19. II. 1949 r.).** Praca zbiorowa. Polski Komitet Normalizacyjny, 1949, Warszawa. Format A5, str. 397 + 3 nłb. Spis rzeczy: S. Witkowski. Pierwszy Kurs Normalizatorów. — W. Krajewski. Podstawy materializmu dialektycznego. — R. Piętkowski. Historia i stan normalizacji w dobie obecnej. — C. Oleszyński. Zasięg normalizacji. — S. Szulc. Naukowe podstawy normalizacji. — M. Skarbiński. Normalizacja jako czynnik organizacji pracy. — W. Strzeszewski. Organizacja, zadania i praca Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. — J. Oderfeld. Konstrukcja i układ normy. — C. Oleszyński. Komitety zagraniczne i Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna. — K. Wiśniewski. Wiadomości ze statystyki i rachunku prawdopodobieństwa. — J. Oderfeld. Statystyczna kontrola jakości. — A. T. Trokolewski. O polskim słownictwie technicznym. — W. Tacikowski. Podstawowe wiadomości z techniki poligraficznej. — Bibliografia. Uzupełnienia. — Z przedmowy: To skromne wydawnictwo, powstałe na tle i w związku z I kursem normalizatorów, jest niewątpliwie nowością w polskiej fachowej literaturze normalizacyjnej. Intencją wydawcy było oddanie do rąk czytelników fachowego kalendarza normalizacyjnego. Aczkolwiek „Normalizacja” nie odpowiada w obecnej szacie całkowicie wymaganiom tego rodzaju publikacji, spodziewać się należy, iż mimo to spopularyzuje wiedzę o ruchu normalizacyjnym.

## Wyciąg z listy najnowszych norm polskich

### 1. Elektrotechnika.

PN/E-37 Silniki trakcyjne prądu stałego. Cena 200 zł (brosz.).  
 PN/E-105 Przewody jezdne. Cena 120 zł (brosz.).  
 PN/E-106 Elektroenergetyczne przewody aluminiowe w odzieży włóknistej i w izolacji gumowej. Cena 200 zł (brosz.).

### 2. Budownictwo.

PN/B-166 Wyroby stolarskie budowlane. Cena 250 zł (brosz.).  
 PN/B-199 Uzupełnienie i poprawki do projektu normy „Konstrukcje żelbetowe, obliczenia statyczne”.  
 PN/B-201 Cement portlandzki 250. Warunki techniczne (PN/B-201 1948 r. unieważniono). Cena 80 zł (2 ark.).  
 PN/B-206 Cement portlandzki 400. Warunki techniczne (PN/B-206 1948 r. unieważniono). Cena 120 zł (3 ark.).  
 PN/B-209 Cement murarski 150. Warunki techniczne. Cena 80 zł (2 ark.).  
 PN/B-657 Kosztorys wzorcowy z analizą jednostkową robocizny i materiału. Roboty blacharsko-dekarskie (wydanie drugie przedruk.). Cena 550 zł.  
 PN/B-1721 Ściany zewnętrzne z murów podwójnych uodpornione na przemakanie. Wydanie II. Cena 40 zł.

### 3. Chemia.

PN/C-96022 Przetwory naftowe. Benzyny ekstrakcyjne. Warunki techniczne. Cena 40 zł (1 ark.).

### 4. Hutnictwo i odlewnictwo.

PN/H-74324 Rurociągi. Kołnierze do nawalcowania okrągłe, gładkie. Ciśnienie nominalne do 6 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-74325 Kołnierze do nawalcowania okrągłe z sztyką. Ciśnienie nominalne do 6 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-74326 Kołnierze do nawalcowania okrągłe z sztyką. Ciśnienie nominalne 10 + 16 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-74327 Kołnierze do nawalcowania okrągłe z sztyką. Ciśnienie nominalne 25 + 40 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-74328 Kołnierze do nawalcowania owalne z sztyką. Ciśnienie nominalne do 4 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-83110 Żeliwne odlewy handlowe. Skład chemiczny. Cena 120 zł (3 ark.).  
 PN/H-85020 Stal węglowa narzędziowa. Wydanie 2. Cena 80 zł (2 ark.).  
 PN/H-92321 Taśma stalowa zimno walcowana. Warunki techniczne. Cena 120 zł (3 ark.).

### 5. Technika pomiarowa.

PN/M-53107 Przybory pomocnicze do pomiarów z płytkami wzorcowymi. Komplet. Cena 40 zł.

**6. Technika warsztatowa.**

- PN/M-58960 Zdzieraki. Rozwiertaki nasadzane. (PN/M-175 z 1948 r. unieważnione). Cena 40 zł.  
 PN/M-60202 Uchwyty trójszczekowe do wiertel. Cena 40 zł.  
 PN/M-62612 Pokrętki nastawne do gwintowników i rozwiertaków. Cena 40 zł.  
 PN/M-62613 Pokrętki stałe kuliste do gwintowników i rozwiertaków. Cena 40 zł.  
 PN/M-63483 Przebijaki blacharskie okrągłe. Cena 40 zł.

**7. Motoryzacja.**

- PN/S-76056 Wtyczka gniazda. Elektryczne połączenie pojazdu z przyczepą. Cena 40 zł.  
 PN/S-76059 Obsada wtyczki zawierającej elektryczne połączenie pojazdu z przyczepą. Cena 40 zł.

- PN/S-76055 Gniazdo wtyczkowe, elektryczne połączenie pojazdu z przyczepą. Cena 40 zł.  
 PN/S-76057 Gniazdo wtyczkowe z wtyczką, elektryczne połączenie pojazdu z przyczepą. Zestawienie i potrzebna wolna przestrzeń. Cena 40 zł.  
 PN/S-76058 Wtyczka zwierająca, elektryczne połączenie pojazdu z przyczepą. Cena 40 zł.

**8. Rurociągi i armatura.**

- PN/H-74333 Kolnierze luzowane lub przypawane owalne gładkie. Ciśnienie nominalne do 6 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-74336 Kolnierze przypawane okrągłe z szyjką. Ciśnienie nominalne 6 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.  
 PN/H-74342 Kolnierze przypawane okrągłe z szyjką. Ciśnienie nominalne 64 + 100 kG/cm<sup>2</sup>. Cena 40 zł.



## KOMUNIKATY S. E. P.

**Kandydatury na członków SEP.** W myśl § 12 statutu SEP ogłasza się następującą listę kandydatów:

a) Na członków zwyczajnych Stowarzyszenia:

**ODDZIAŁ DZIERŻONIOWSKI**

Barczyński Henryk, Dzierżonów, D. Śl., Słowackiego 16 m. 6

**ODDZIAŁ GDAŃSKI**

Dragański Alfons, (T), Tczew, Wyspiańskiego 4  
 Góral Jan, (T), Malbork, Czwartaków  
 Jackowski Stanisław, (T), Gdańsk-Wrzeszcz, Śmiała 10 m. 3  
 Kankowski Jerzy, (T), Kwidziń, Braterstwa Narodów 23  
 Kaszuba Adam, Sopot, Czyżewskiego 1 m. 7  
 Marcinkowski Władysław, (T), Elbląg, Wiejska 39 m. 3  
 Nadrowski Józef, (T), Elbląg, Curie-Skłodowskiej 5  
 Nowak Kazimierz, Gdańsk-Oliwa, St. Wąsowicza 6 m. 1  
 Rajmański Aleksander, (T), Elbląg, Pocztowa 3  
 Szczepański Ferdynand, (T), Elbląg, Artyleryjska 23  
 Węglarczyk Roman, Sopot, Kopernika 3  
 Woźnikowski Jacek, Elbląg, Fałata 25.

**ODDZIAŁ JELENIOGÓRSKI**

Bednarowicz Rudolf, Jelenia Góra, Bogusławskiego 23 m. 7  
 Belowski Ryszard, Legnica, Batorego 2  
 Berezowski Bolesław-Marian, Legnica, Góralska 5  
 Broda Stanisław, Legnica, Długa 109  
 Faber Jan, Jelenia Góra, Drzymały 20 m. 5  
 Jezierski Franciszek, Legnica, Kasprowicza 56  
 Krac Abraham, Legnica, Ułańska 27 m. 10  
 Salkowski Adolf, Legnica, Senatorska 3, I p.  
 Schwertfeger Edmund, Legnica, Roosevelta 45  
 Ziębicz Bronisław, Legnica, Klonowicza 17

**ODDZIAŁ KRAKOWSKI**

Albrecht Stanisław, Rzeszów, Czwartaków 26 m. 5  
 Figiel Jan, Kraków, Barska 90  
 Poręba Piotr, Kraków, Pawła Popiela 21 m. 7  
 Puchalski Wiesław, Kraków, Batorego 5 m. 15  
 Urbanik Stanisław, Olkusz, Partyzantów 8

**ODDZIAŁ LUBELSKI**

Dybkowski Jerzy, Zamość, Zarwanica 5  
 Jabłonowski Wacław, Siedlce, Dom Kolejowy 30 m. 1  
 Kais Kazimierz, Lublin, Graniczna 6 m. 15  
 Kębukowski Zdzisław, Lublin, Wiejska 8 m. 1  
 Miturzyński Zbigniew, Lublin, Świętochowskiego 34  
 Najmoja Jerzy, Lublin, Wyszynskiego 12 m. 74  
 Ogrodnik Jerzy, Lublin, Obywatelska 3 m. 1  
 Pasieczny Władysław, Zamość, Tatarska 8  
 Pasierbiak Zygmunt, Lublin, Sierakowszczyzna 10  
 Przeździecki Zygmunt, Siedlce, Topolowa 20  
 Rychard Konstanty, Lublin, Pstrowskiego 10 m. 1  
 Stanecki Witold, Zamość, Wiśniowa 12  
 Strubczewski Józef, Lublin, Kunickiego 42 m. 5  
 Szewczyk Stanisław, Lublin, Rury, Św. Ducha 10  
 Więsyk Stanisław, Lublin, Słoneczna 6 m. 2  
 Wójtowicz Jan, Lublin, Królewska 8 m. 1  
 Żelubowski Władysław, Biała-Podlaska, Dreszera 30

**ODDZIAŁ ŁÓDZKI**

Denis Jerzy, Kozuski, Staszica 7  
 Lewandowski Henryk, Łódź, Żeligowskiego 22 m. 6  
 Zieliński Mirosław, Łódź, Sienkiewicza 20 m. 8  
 Karwat Jan, Łódź, Więckowskiego 39 m. 54

**ODDZIAŁ POMORSKI**

Cukrowski Ryszard, Toruń, Graniczna 6 m. 1  
 Czajkowski Edmund, Bydgoszcz, Krasieńskiego 15  
 Filipiak Stefan, Bydgoszcz, Krasieńskiego 4  
 Gajewski Paweł, Toruń, Wyspiańskiego 24  
 Janiszewski Kwiryn, Bydgoszcz, Plac Chełmiński 3  
 Karpinski Alfons, Bydgoszcz, Piotrowskiego 4 m. 3  
 Kawczyński Edmund, Inowrocław 3, Poznańska 333

Kawczyński Jan, Mątwy k. Inowrocławia „Solvay“  
 Kocieniewski Teofil, Bydgoszcz, Śniadeckich 25 m. 9  
 Luduski Kazimierz, Inowrocław, Grodzka 6 m. 6  
 Matuszak Stefan, Inowrocław, Gen. Sikorskiego 23  
 Pawlikowski Janusz, Toruń, Słowackiego 71  
 Reinke Bogdan, Toruń, Dekerta 3  
 Sadowski Kazimierz, Toruń, Kasprowicza 18  
 Sokołowski Czesław, Toruń, Wola Zamkowa 7/11 m. 4  
 Strażewski Maksymilian, Grudziądz, Sienkiewicza 39  
 Teliński Marian, Toruń, Wita Stwosza 13 m. 9  
 Zajączkowski Stefan, Toruń, Mickiewicza 23 m. 73  
 Zyla Stefan, Toruń, Podgórska 9

**ODDZIAŁ POZNAŃSKI**

Cychmerski Karol, Poznań, Daszyńskiego 41 m. 6  
 Geisler Jerzy, Poznań, Mazowiecka 10  
 Mikołajewski Jerzy, Poznań, Daszyńskiego 73 m. 5  
 Schreiber Olgierd, Poznań, Mazowiecka 10  
 Urbanik Kazimierz, Poznań, Przemysłowa 37 m. 8  
 Weiss Wojciech, Poznań, Plac Asnyka 3a m. 7  
 Wojciechowski Jerzy, Kościan, Garbarska 2

**ODDZIAŁ WARSZAWSKI**

Antoszewski Kazimierz, Jelonki k. Warszawy, p. Włochy, Krasieńskiego 24  
 Chylarecki Witold, (T), Warszawa, Lubelska 30 m. 32  
 Dąbrowski Witold, (T), Warszawa, Wileńska 25 m. 9  
 Fiułowski Witold, Grodzisk Mazowiecki, Harcerska 18  
 Findaisen Władysław, (T), Warszawa, Al. Niepodległości 130 m. 5  
 Gorczyński Tadeusz, Warszawa, Madalińskiego 35 m. 4  
 Jeske Waldemar, (T), Nowy Dwór Mazowiecki, Nowodworzańska 8a  
 Kamiński Jan, (T), Warszawa, Dobrogniewa 15  
 Kasztalski Zdzisław, (T), Piaseczno, Kościuszki 31  
 Kijak Stefan, (T), Kobyłka p. Warszawą, 17 Stycznia 7  
 Korcz Marek, (T), Warszawa, Sienna 55 m. 34  
 Kowalak Aleksander, (T), Dąbrowa Leśna 17, p-ta Łomianki k. Warszawy  
 Liwski Zdzisław, (T), Warszawa, Wolska 40 m. 36  
 Mioduszewski Stanisław, (T), Warszawa, Piękna 16 m. 10  
 Moczydłowski Henryk, (T), Zalesie Dolne, Matejki 3  
 Panek Józef, Warszawa, Szustra 46 m. 18  
 Pokrowski Leon, Warszawa, C. Śniegockiej 5 m. 9  
 Popiński Tadeusz, Zegrze Północne, Jedn. wojsk. 5562, p. Legionowo k. Warszawy  
 Ratyński Edward, (T), Warszawa, Strzelecka 10 m. 3  
 Różycki Michał, Warszawa, Berezynska 7a m. 3  
 Scheidinger Zygmunt, (T), Warszawa, Ładowa 5/11 m. 99  
 Siński Ryszard, (T), Warszawa, Pyłasińskiego 16 m. 4  
 Skarżyński Tadeusz, Warszawa, Krasieńskiego 43 m. 1  
 Stefański Hieronim, (T), Wawer, Halicka 28  
 Szabiewski Antoni, (T), Warszawa, Targowa 46 m. 21  
 Szymbel Wszewład, (T), Warszawa, Puławska 246  
 Włodarski Stefan, Warszawa, Ludwiki 1 m. 23

**ODDZIAŁ WROCŁAWSKI**

Adamski Wiesław, Wrocław, Swoboda 31/33  
 Iwanicki Michał, Wrocław, Pomorska 16 m. 7  
 Kijowski Bronisław, Wrocław, Partyzantów 82 m. 4  
 Kowalski Bronisław, Wrocław, Benedyktyńska 6 m. 7  
 Leśków Stanisław, Wrocław, Partyzantów 4 m. 1  
 Majewski Krzysztof, Wrocław, Daszyńskiego 78 m. 7  
 Miazga Bolesław, Wrocław, Dembowskiego 112 m. 3  
 Rowczenio Aleksander, Wrocław, Mickiewicza 97 m. 4  
 Tułcki Witold, Wrocław, Krakowska 47

**ODDZIAŁ ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO**

Dąbrowski Tadeusz, Sosnowiec, Wspólna 7a  
 Gołąb Władysław, Bytom, Krakowska 26 m. 4  
 Gruczyński Stefan, Gliwice, Świętojańska 34 m. 1  
 Kaczmarzyk Antoni, Zabkowice, Sienkiewicza 25  
 Moron Paweł, Łaziska Górne, Kol. Górnicza 11  
 Smitowski Jerzy, Katowice, Drzymały 3 m. 8

b) Na członka współdziałającego Stowarzyszenia:

**ODDZIAŁ ŁÓDZKI**

Szulec Ryszard, Piotrków Trybunalski, Piłsudskiego 71 m. 26a





# BIULETYN GŁÓWNEGO INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Rok IV — nr 24

Warszawa, Al. Niepodległości 222

Czerwiec 1950 r.

Zakład Techniki Świetlnej

## URZĄDZENIE DO SAMOCZYNNEGO DOKONYWANIA PRÓBY ŻARÓWEK NA TRWAŁOŚĆ

Zakład Techniki Świetlnej wykonywa na zlecenie Zakładów Wytwórczych Lamp Elektrycznych systematyczne próby żarówek, pochodzących z bieżącej produkcji krajowej, między innymi próbę na trwałość. Dla skrócenia czasu trwania tej próby jest ona dokonywana przy napięciu podwyższonym o 10% w stosunku do napięcia znamionowego badanych żarówek.

Aby z wyników próby dokonywanej przy podwyższonym napięciu można było określić rzeczywistą trwałość żarówek, należy zgodnie z obowiązującymi przepisami (PNE 21) wyłączać badane żarówki co pewien czas na okres 10 minut, a po ostygnięciu ich włączać je ponownie. Przepisy wymagają, aby żarówki były włączane pod napięcie znamionowe; potem dopiero można przejść na napięcie podwyższone. Wyłączanie żarówek przy napięciu probierczym, podwyższonym o 10% w stosunku do napięcia znamionowego, następuje według PNE 21 co 6 godzin, a przy napięciu podwyższonym o 12,5% co 4 godziny.

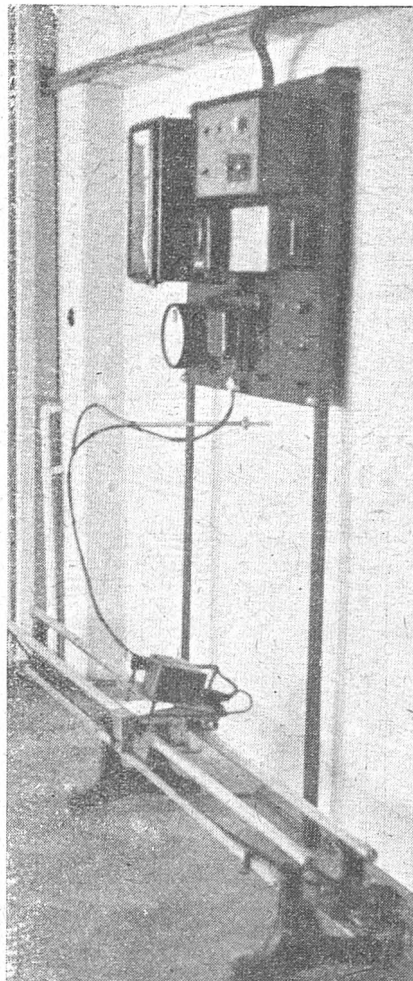
Ponieważ przez zimne włókno przepływa zwiększony prąd, większość żarówek przepala się bezpośrednio przy włączaniu. Jeżeli zatem próby trwałości żarówek mają być prowadzone bez przerw nocnych i świątecznych, wymagają one zorganizowania stałych dyżurów specjalnego personelu, który musi wykonywać wyżej opisane czynności wyłączania i włączania żarówek oraz regulowania napięcia, a także notować po każdym włączeniu cechy przepalanej żarówki i godzinę jej przepalenia.

Dyżury te stanowią wielkie obciążenie personelu technicznego Zakładu. Aby je usunąć, zaprojektowano i wykonano urządzenie (rys. 1), które samoczynnie co pewien czas (nastawiany w granicach od 1 do 24 godzin) wyłącza żarówki podlegające próbie i obniża napięcie do wartości znamionowej. Po 10 minutach urządzenie włącza żarówki z powrotem i podwyższa napięcie o 5, 10 lub 12,5%. Specjalny aparat fotograficzny o napędzie elektrycznym, jadąc na wózku, wykonywa wtedy z trzech położeń kolejno trzy zdjęcia poszczególnych części ramy z żarówkami i notuje równocześnie na tej samej taśmie filmowej datę i godzinę wykonywania zdjęć (rys. 2).

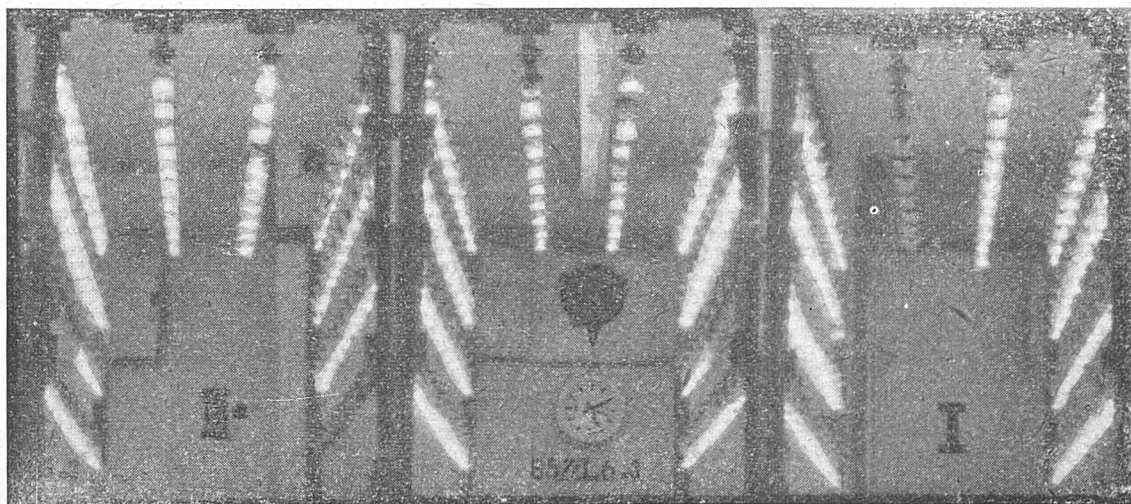
Samoczynne obniżanie i podwyższanie napięcia osiąga się dzięki wprowadzaniu lub zwieraniu oporu w obwodzie lampowego stabilizatora napięcia, który stabilizuje napięcie probiercze z dokładnością 0,1%.

Działanie urządzenia, którego schemat przedstawia rys. 3, jest następujące.

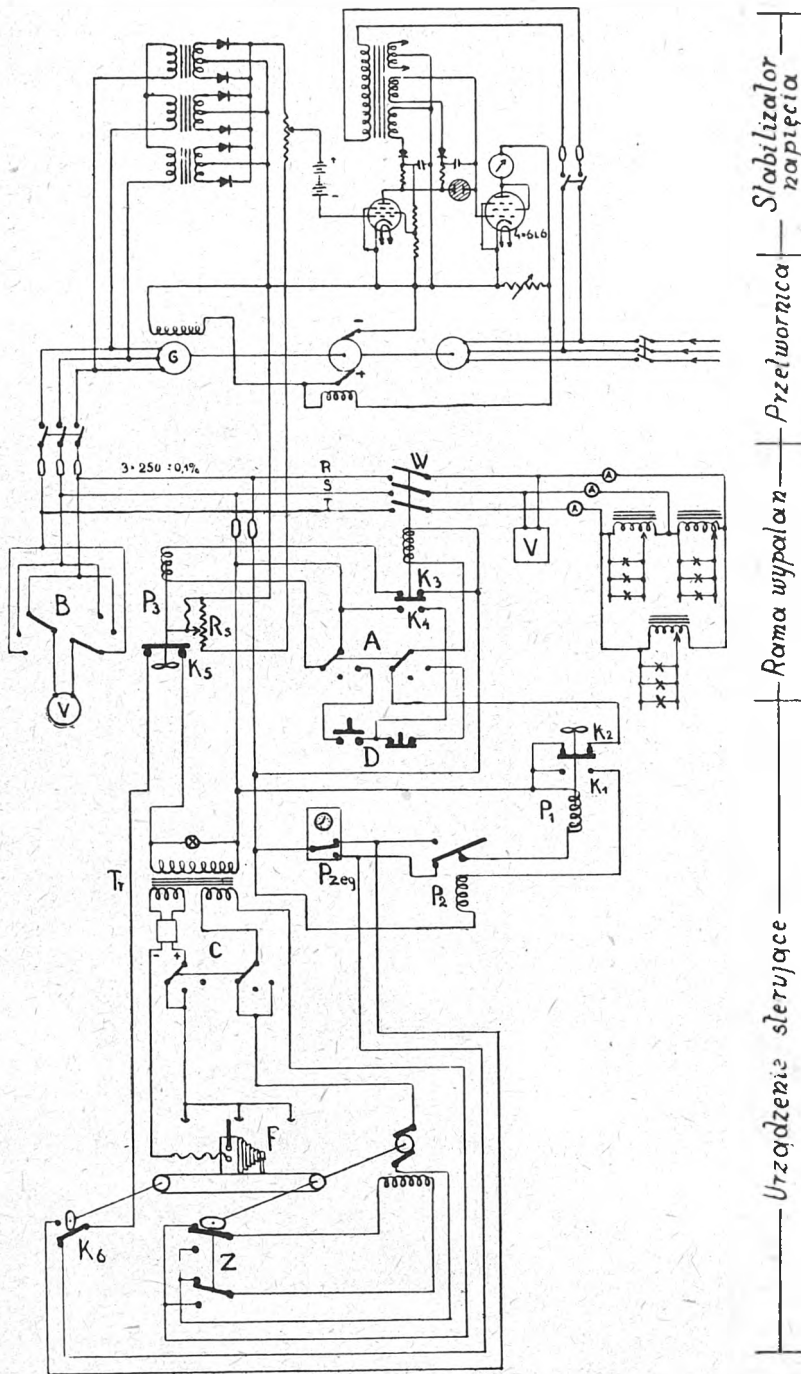
Elektryczny zegar sterujący przełącza co pewien czas (np. co 6 godzin) styki przełącznika  $P_{zeg}$ . Wtedy mamy



Rys. 1. Widok ogólny urządzenia



Rys. 2. Zdjęcie ramy dokonane samoczynnie



Rys. 3. Schemat urządzenia

zamknięty obwód: od przewodu R przez dolny styk przełącznika  $P_{zeg}$  i dolny styk przekaźnika  $P_2$ , dalej przez cewkę przekaźnika  $P_1$  do przewodu S. W tym momencie przekaźnik  $P_1$  rozwiera styki  $K_2$ , wyłączając obwód cewki sterującej wyłącznika olejowego W, przy czym następuje wygaszenie żarówek podlegających próbie. Jednocześnie przekaźnik  $P_1$  zwiiera styki  $K_1$ , zamykając obwód cewki przekaźnika  $P_2$ ; dźwignia przekaźnika  $P_2$  przechyliła się przy tym i przerywa obwód cewki przekaźnika  $P_1$ , przyłączając ją równocześnie do górnego styku przełącznika  $P_{zeg}$ . W ten sposób, cewka przekaźnika  $P_1$ , po wciągnięciu rdzenia, przełączeniu styków  $K_1$  i  $K_2$  i naciągnięciu sprężyny mechanizmu zegarowego, jest odłączona i gotowa do ponow-

no działania przy następnej zmianie przełącznika zegarowego  $P_{zeg}$ . Przy wyłączeniu styków roboczych wyłącznika W zwiierane są styki  $K_3$ , zamykające obwód cewki przekaźnika  $P_3$ . Dzięki temu następuje rozwarcie styków  $K_5$  oraz wtrącenie oporu  $R_S$  w obwód sterujący stabilizatora napięcia; daje to w wyniku obniżenie napięcia generatora, zasilającego próbę, do wartości odpowiadającej napięciu znamionowemu badanych żarówek.

Po upływie 10 minut mechanizm zegarowy przekaźnika  $P_1$  rozwiera styki  $K_1$  i zwiiera styki  $K_2$ , włączając wyłącznik W, przy czym żarówki zapalają się pod napięciem znamionowym. Równocześnie jednak następuje rozwarcie styków  $K_3$  w wyłączniku W, co pozbawia napięcia cewkę przekaźnika  $P_3$ . Powoduje to uruchomienie mechanizmu zegarowego, który zwiiera stopniowo opór  $R_S$ , podnosząc za pośrednictwem stabilizatora napięcie na zaciskach generatora aż do żądanej wartości przepięcia. Po całkowitym zwarceniu oporu  $R_S$  następuje zwarcie styków  $K_5$ , dzięki czemu włącza się pod napięcie pierwotne uzwojenie transformatora  $T_r$  przez przełącznik  $K_6$ .

Transformator ten posiada dwa uzwojenia wtórne, z których jedno zasilają bezpośrednio silniczek napędowy wózka aparatu fotograficznego F, drugie zaś połączone jest z prostownikiem, który w odpowiednich momentach zasilają mechanizm wykonujący zdjęcie. Silniczek napędowy poprzez reduktor ślimakowy i pędnię łańcuchową przesuwa wózek wraz z aparatem na prawy kraniec toru. Samoczynne działanie przełącznika krańcowego Z zmienia w tym położeniu wózka kierunek wirowania silniczka; wózek rozpoczyna w ten sposób po torze ruch w lewo. Odpowiedni wyłącznik, sterowany z pomocą umieszczonych wzdłuż toru garbów, trzykrotnie zamyka obwód elektryczny aparatury fotografującej, dzięki czemu zostają zarejestrowane na taśmie filmowej (16 mm) zarówno żarówka, jak i numer próby, data i godzina wykonania zdjęcia. Wózek, dojechawszy do lewego krańca toru, zawraca w prawo, przełącza styki przełącznika  $K_6$ , odłącza w ten sposób od sieci transformator  $T_r$  i zatrzymuje się.

Wzajemne położenie styków przełączników  $P_{zeg}$ ,  $P_2$  i  $K_6$  w końcowym położeniu wózka jest takie, że po przełączeniu przez mechanizm zegarowy przełącznika  $P_{zeg}$  nastąpi nowy, identyczny cykl czynności.

Samopiszący woltomierz, włączony do sieci zasilającej żarówki za wyłącznikiem W daje możliwość stałej kontroli działania urządzenia oraz obliczenia czasu trwania próby i ewentualnych przerw. Przełączniki A, B i C oraz przyciski D służą do ręcznego włączania próby, do kontroli działania urządzenia do przesuwania wózka i do przewijania filmu w aparacie fotograficznym.

Lech Czekański

## BIBLIOGRAFIA CZASOPISM ELEKTROTECHNICZNYCH

w opracowaniu

GŁÓWNEGO INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

NR 2

121 — 282

1950

*Porażenia elektryczne*

121 614.825(494)  
**Unfälle an elektrischen Starkstromanlagen in der Schweiz im Jahre 1947.** Sibling F., Rothenfluh W. — Statystyka wypadków w 1947 r. w Szwajcarii. Analiza danych statystycznych, podział wypadków zależnie od zawodu porażonego, napięcia, miejsca wypadku, przyczyny i skutków. Wykaz czasu niezdolności do pracy. Opis wypadków i ich przyczyn. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 18, str. 599—606, 7 tabl. A. M.

122 551.594.2:614.84  
**Ein interessanter Blitzschaden.** Webeli W. — Opis uszkodzeń, wywołanych uderzeniem pioruna w drewnianą stodołę. Możliwość wybuchu pożaru w kilka godzin po uderzeniu pioruna. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 22, str. 744—745, 5 rys. A. M.

*Źródła energii*

123 620.9  
**L'évolution probable de la production et de la distribution de l'énergie électrique.** Ailleret P. — Prawdopodobne kierunki rozwojowe wytwarzania i rozdziału energii elektrycznej. Analiza wzrostu światowej produkcji środków energetycznych (węgiel, nafta, gaz, energia elektr.). Źródła energii elektrycznej. Wyzyskanie obecne i przyszłe sił wodnych. Możliwość rozwoju produkcji energii elektrycznej: wzrost ciśnienia i temperatury pary, wzrost mocy turbogeneratorów. Możliwość rozwoju rozdziału energii elektrycznej. Obniżenie kosztów przesyłania. Nowe źródła energii — energia ciepła morską, energia fal wodnych, przepływów morską, energia wiatru, energia atomowa. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 80, str. 173—183, 5 rys. A. M.

124 061.3:620.9  
**Die Teiltagung der Weltkraftkonferenz über Brennstoff- und Energiewirtschaft.** Etienne E. H. — Sprawozdanie z obrad Międzynarodowej Konferencji Energetycznej 2—9 września 1947 r. w Hadze. Źródła energii: energia atomowa, węgiel, płynne paliwo, gaz, energia elektryczna. Przesyłanie energii elektrycznej, przesyłanie energii cieplnej. Zużycie energii: elektryczne ogrzewanie lokali, zagadnienia energetyczne w szpitalach i budynkach użyteczności publicznej, trakcja elektryczna. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 11, str. 355—362, 1 tabl. A. M.

*Kotły*

125 621.181.5  
**Kotły parowe z paleniskami na płynny żużel.** Keh Z. — Dawniejsze kotły na pył węglowy. Konstrukcja kotłów na płynny żużel i korzyści ich stosowania. Stosowanie kotłów z płynnym odzuzaniem w warunkach polskich oraz możliwości i zamierzenia w ich budowie. — Przegl. Elektr., 1948, nr 3, str. 50—54, 6 rys. J. W.

*Silniki wodne*

126 621.2  
**L'influence de l'autorégulation et du temps d'amortissement sur le PD<sup>2</sup> des groupes hydroélectriques.** Stein Th. — Możliwość praktyczne zmniejszenia wielkości momentu bezwładności generatorów i turbin wodnych. Analiza regulacji własnej (zmiana mocy odbiorców przy zmianie obrotów generatora) i jej udziału w regulacji obrotów generatora. Czas tłumienia, jego określenie i znaczenie w pracy regulatorów. Streszczenie wyników. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 78, str. 93—103, 6 rys. A. M.

*Ogólne podstawy elektrotechniki*

127 621.3.01/09  
**Priwiedienie složnych sietiej k prostiejszym ekwiwalentnym schiemam.** Gorew A. A., Kostienko M. P. — Upraszczanie zastępczych schematów sieci. Przekształ-

cenie czworokąta. Przekształcenie pięciokąta z przekątnymi w pięciokąt bez przekątnych. Zastosowanie. — Elektr. czestwo, 1948, nr 3, str. 40—43, 10 rys. A. M.

128 621.3.01  
**Détermination pratique de la tension inverse et de la tension directe d'un système triphasé dont on connaît les tensions composées.** Couetoux du Tertre P. — Określenie wielkości składowej kolejności ujemnej napięcia w układzie trójfazowym przy użyciu wykresu. Analiza granic stosowalności wykresu i stopnia dokładności. — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 12, str. 493—494, 3 rys. A. M.

129 621.3.014.7  
**Obliczanie prądów zwarcia niesymetrycznego metodą składowych symetrycznych.** Myślicki A. — Charakterystyczne wielkości prądu zwarcia. Ogólne zasady obliczania prądów zwarcia w sieciach trójfazowych metodą składowych symetrycznych. Obliczanie prądu zwarcia w dowolnej chwili przy pomocy krzywej zanikania. Schematy zastępcze dla składowych symetrycznych prądu zwarcia. Analiza poszczególnych elementów obwodu zwarcia: transformatory, linie napowietrzne i kablowe, dławiki, generatory i silniki. Przykłady liczbowe. Analiza prądów i napięć w miejscu zwarcia. Literatura. — Przegl. Elektr., 1948, nr 9, str. 315—324, 1 tabl., 17 rys. J. W.

130 621.316.1.014  
**L'équilibrage dans les réseaux de distribution à basse tension.** Villiers Ch. — Równoważenie obciążenia w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Krótka teoria rozważania stopnia asymetrii sieci przy pomocy składowych symetrycznych. Przyczyny pojawiania się składowych kolejności ujemnej i zerowej w układach niesymetrycznych. Wpływ układu połączeń uzwojeń transformatorów na stopień asymetrii. — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 12, str. 491—493, 1 rys. A. M.

131 621.3.017.22  
**Investigation of the eddy-current anomaly in electrical sheet steels.** Brailsford F. — Rozbieżności pomiędzy stratami na prądy wirowe w blachach transformatorowych obliczonymi teoretycznie i wyznaczonymi doświadczalnie. Doświadczalny dowód znikomości wpływu zniekształcenia strumienia wywołanego magnetyczną niejednorodnością uwarstwienia pakietu blach. Znaczący wpływ zniekształcenia strumienia w granicach poszczególnych warstw (prądy wirowe i kształt charakterystyki magnesowania) na zależność strat na histerezę (w ciągu okresu) od częstotliwości. Zanikanie rozbieżności w przypadku pola wirującego, kiedy zniekształcenie strumienia nie występuje. Wpływ wzrostu strat na histerezę w poszczególnych blachach (zniekształcenie strumienia sinusoidalnego oraz niezgodność faz  $B$  i  $H$ ) na rozbieżność pomiędzy obliczonymi stratami na prądy wirowe i wyznaczonymi drogą rozdziału strat. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 43, str. 38—48, 2 tabl., 14 rys. Z. S.

132 621.3.025.0012  
**Bestimmung der Nullkomponente des symmetrischen Systems in einem unsymmetrischen Drehstromsystem.** Schär F. — Sposób określania wielkości składowej symetrycznej zerowej w niesymetrycznym układzie trójfazowym. Krótkie wprowadzenie teoretyczne. Zastosowanie metody do obliczenia przesunięcia punktu zerowego trójfazowego układu niesymetrycznego. Obliczenie prądu cewki kompensacyjnej. Zabezpieczenie generatora oparte na zasadzie powstawania składowej zerowej napięcia przy zwarcia wewnętrznych uzwojenia. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 21, str. 706—709, 7 rys. A. M.



- 133 621.3.042.14  
**The effects of overlapping joints in laminated magnetic cores on the m. m. f. and power required for their a. c. magnetization.** **Buttler O. I., Mang C. Y.** — Wpływ wzajemnego przesunięcia punktów styku w warstwach rdzeni uwarstwionych na siłę magnetomotoryczną i moc pochłanianą przy magnesowaniu prądem zmiennym. Obliczenie strumienia podłużnego w płytkach i poprzecznego w niemagnetycznych szczelinach. Straty mocy od obu strumieni. Wzrost strat wywołany stykami. Wpływ zjawiska histerezy. Zastosowanie praktyczne otrzymanych wzorów. Wyniki otrzymane przy próbach z rdzeniami uwarstwionymi z mumetalu i stali krzemowej (4%). Ustalenie średniej indukcji, przy której procentowy wzrost siły magnetomotorycznej i mocy magnesowania osiąga maksimum oraz wpływ częstotliwości. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 43, str. 15—24, 8 rys. Z. S.
- 134 621.3.042.14  
**The predetermination of the magnetic properties of ferromagnetic laminae at power and audio frequencies.** **Butler O. I., Mang C. Y.** — Teoretyczne ustalenie wpływu zmian przenikalności i pętli histerezy w poszczególnych częściach uwarstwowionego rdzenia (w zależności od maksymalnej indukcji) na jego własności magnetyczne. Zastosowanie metody rozkładu na harmoniczne przy obliczaniu zależności pomiędzy siłą magnetomotoryczną i indukcją magnetyczną. Wpływ wyższych harmonicznych na wielkość strat w zależności od częstotliwości i indukcji. Możliwość rozbieżności faz pomiędzy siłą magnetomotoryczną i indukcją. Straty dodatkowe. Wpływ kształtu krzywej magnesowania na granice stosowalności wzorów na straty w żelazie. Badania na próbkach z „mumetalu“ i stali krzemowej. Wnioski z rozbieżności pomiędzy teorią i wynikami pomiarów. Zależność strat na histerezę i prądy wirowe od grubości płytek i przenikalności. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 43, str. 25—37, 1 tabl., 16 rys. Z. S.
- Gospodarka elektryfikacyjna*
- 135 621.311  
**Sostojanie i perspektywy rozwoju sielskiej elektryfikacji SSSR.** **Gusłoparow G. K.** — Stan i możliwości rozwoju elektryfikacji wsi w ZSRR. Zarys rozwoju elektryfikacji gospodarstw wiejskich w okresie powojennym. Budowa małych elektrowni wodnych i ciepłych. Charakterystyczne dane liczbowe. Zagadnienie eksploatacji elektrycznych urządzeń wiejskich. Badania naukowe w zakresie elektryfikacji wsi. Elektryfikacja wsi w świetle obecnego pięciolecia. — *Elektricitestwo*, 1948, nr 2, str. 3—6. A. M.
- 136 621.311(494)  
**Der Verbrauch elektrischer Energie für Haushalt und Gewerbe in der Schweiz in den Jahren 1944 und 1945.** **Vom Sekretariat des VSE. Jahn K.** — Statystyka spożycia energii elektrycznej w Szwajcarii do celów gospodarstwa domowego i rzemiosła w latach 1944 i 1945. Porównanie zapotrzebowania energii przez rozmaite rodzaje odbiorników w latach 1931—1945. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 1, str. 1—8, 4 tabl., 11 rys. A. M.
- 137 31:621.311(494)  
**Der Verbrauch elektrischer Energie in Haushalt, Gewerbe und Landwirtschaft in der Schweiz im Jahre 1946.** **Jahn K.** — Dane statystyczne zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, rzemiosle i rolnictwie w Szwajcarii w 1946 roku. Analiza porównawcza danych z 1946 r. i z okresu (1931—1946). Dane statystyczne ilości i typów odbiorników (kuchenki domowe, kuchnie, warki, grzejniki, małe silniki, lampy, piekarniki i lodówki typu domowego i przemysłowego). — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 21, str. 699—706, 5 tabl., 11 rys. A. M.
- 138 31:621.311(494)  
**Die Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz im Betriebsjahr 1946/47.** — Sprawozdanie statystyczne produkcji i zużycia energii elektrycznej w Szwajcarii w okresie 1946/47. Statystyka produkcji energii elektrycznej w latach 1930—1947. Analiza zużycia energii przez poszczególne grupy odbiorców. Wykresy obciążenia w poszczególnych miesiącach. Gospodarka finansowa. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 4, str. 97—111, 8 tabl., 10 rys. A. M.
- 139 621.311(485):627.8.09(495)  
**Wasser- und Elektrizitätswirtschaft Schwedens.** **Etienne E. H.** — Gospodarka wodna i elektryczna Szwecji. Krótki zarys zasobów energetycznych Szwecji ze szczególnym uwzględnieniem sił wodnych. Przegląd zarządzeń i praw, regulujących zagadnienia energetyki w Szwecji. Organizacja elektroenergetyki szwedzkiej. Charakterystyka produkcji i zużycia energii elektrycznej w roku 1946. Przesyłanie energii i wymiana z zagranicą. Projekty rozbudowy energetyki. Zagadnienia gospodarcze — koszty wytwarzania, cena energii, taryfy. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 24, str. 783—791, 3 tabl., 4 rys. A. M.
- 140 621.311.1  
**L'électrification de la France.** **Parodi H.** — Elektryfikacja Francji. Kierunki rozwoju energetyki francuskiej w związku z przewidywanym wyczerpaniem się złóż węglowych. Możliwości wyzyskania energii wodnej. Porównanie stanu zagadnienia w innych krajach. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 7, str. 265—271, 2 rys. A. M.
- 141 621.311.1  
**La production et la distribution de l'énergie électrique en Suède.** **Larsson J.** — Produkcja i rozdział energii elektrycznej w Szwecji. Organizacja energetyki szwedzkiej. Opis elektrowni wodnych i ciepłych. Zasoby energetyczne Szwecji. Sieci przesyłowe najwyższych napięć. Praca równoległa. Elektryfikacja wsi. Koszty inwestycyjne i taryfy. Organizacja projektów i budowy. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 6, str. 223—233, 1 tabl., 6 rys. A. M.
- 142 621.311.154  
**Méthode graphique de contrôle de l'approvisionnement en énergie électrique d'une entreprise de production et de distribution.** **Dufour E.** — Graficzna metoda kontroli stanu zaopatrzenia zakładu wytwórczego i rozdzielczego w energię elektryczną. Trudności energetyki szwajcarskiej w ostatnich latach i związana z tym potrzeba stałej kontroli energii wodnej. Metoda kontroli stanu posiadania zapasów energetycznych. Wykres przewidywanego zapotrzebowania energii. Metoda graficzna kontroli. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 13, str. 427—430, 3 rys. A. M.
- 143 621.311.161  
**Le réseau d'interconnexion électrique de la Grande-Bretagne (Le Grid anglais).** **Marshall C. W.** — Krótki opis sieci przesyłowych angielskich. Opis sieci i jej konstrukcji. System zabezpieczeń. Przebudowa sieci na podstawie danych eksploatacyjnych. Dane liczbowe dotyczące sieci. Projekty rozwoju. Literatura. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1948, nr 77, str. 5—15, 2 tabl., 1 rys. A. M.
- 144 621.311.2(7°)  
**Amerikanische Kraftwerkbauten.** **Howard W.** — Uzupełnienie artykułu W. Wängera, zamieszczonego w *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 12, str. 323—339, o kierunkach rozwoju amerykańskiej energetyki. Opis kotłowni, elektrowni wodnych, urządzeń rozdzielczych napięciowych i transformatorów. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 9, str. 304—307, 10 rys. A. M.
- 145 621.311:31  
**The applications of statistical methods to electricity supply problems.** **Schiller P.** — Zastosowanie podstawowych zasad statystyki do grupy zagadnień związanych z zaopatrzeniem w energię elektryczną. Wyjaśnienie metod i pojęć stosowanych w statystyce. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 44, str. 161—174, 4 tabl., 17 rys. Z. S.
- 146 621.311:65  
**Elementy planowania produkcji w energetyce. Część gospodarcza.** **Bartnicki M.** — Planowanie zatrudnienia. Wydajność pracy i sposoby jej podniesienia. Zagadnienia płac i premiowania. Planowe zaopatrzenie materiałowe. Obliczanie kosztów własnych i sposoby ich obniżenia. Literatura. — *Przeegl. Elektr.*, 1948, nr 3, str. 59—65, 3 tabl. J. W.

147 621.311.65  
**Elementy planowania produkcji w energetyce. Część techniczna.** Bartnicki M. — Właściwości planowania energetycznego. Schemat i wytyczne planowania. Zależność między produkcją energii elektrycznej a produkcją przemysłu. Planowe zapotrzebowanie energii elektrycznej u odbiorców i kontrola zapotrzebowania. Określenie możliwości produkcyjnych zakładów wytwórczych. Planowanie remontów. Bilans mocy. Planowanie bilansu energetycznego elektrowni. — *Przeegl. Elektr.*, 1948, nr 1/2, str. 16—28, 2 tabl., 16 rys. J. W.

*Elektrownie wodne*

148 621.311.21  
**Le barrage et l'usine génératrice de Génissiat.** Delatre P., Robert A. — Opis zapory wodnej i elektrowni Génissiat na Rodanie. Warunki terenowe, dane dotyczące stanu wody. Opis prac przygotowawczych i budowlanych, rozplanowanie siłowni i zapory. Wyposażenie siłowni. Szczegóły konstrukcyjne montażu turbin i ich wyposażenia. Dane generatorów i transformatorów. Wyposażenie rozdzielni. Schemat elektryczny i jego opis. Zabezpieczenia, zasilanie pomocnicze prądu zmiennego prądu stałego. Opis nastawni i tablic rozdzielczych. Opis pomieszczeń i urządzeń pomocniczych (sawnice, kompresornia, akumulatornia, pompownia, urządzenia klimatyzacyjne, oświetlenie itp.). — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 2, str. 45—74, 21 rys. A. M.

149 621.311.21:624.034.3  
**Das Unterwasserkraftwerk im Vergleich zu einem Flusskraftwerk in Kaplanbauweise.** Christallener H. — Porównanie projektów elektrowni wodnej szwajcarskiej z turbinami Francis i Kaplana. Analiza gospodarcza, techniczna i eksploatacyjna obu rozwiązań. Literatura. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 24, str. 801—804. A. M.

*Elektrownie cieplne*

150 621.311.22  
**L'usine génératrice thermique de „Yainville II“.** Bidauld E. — Opis projektowanej elektrowni cieplnej „Yainville II“. Rozplanowanie elektrowni, szkice i opis. Krótka charakterystyka części cieplnej i części elektrycznej. Stan prac w kwietniu 1948. — *Electricité*, 1948, nr 140, str. 103—106, 5 rys. A. M.

151 621.311.22:621.17  
**Poglądy na wybór parametrów pary wielkich nowoczesnych elektrowni (kondensacyjnych).** Ney W. — Termodynamiczny punkt widzenia na podwyższanie parametrów parowych. Zależność obliczeń teoretycznych od doskonałości tablic pary wodnej. Przegrzewanie międzystopniowe. Wpływ wilgotności pary i wielkości strumienia na sprawność turbiny. Warunki wytrzymałościowe stawiane materiałom pracującym w wysokich temperaturach i ciśnieniach. Charakterystyki nowych stopów amerykańskich. Gospodarcza strona zagadnienia. Normalizacja parametrów parowych. Literatura. — *Przeegl. Elektr.*, 1948, nr 10/11, str. 379—393, 4 tabl., 21 rys. J. W.

*Maszyny elektryczne*

152 621.313.048  
**Profilaktičeskije ispytania izolacji elektriceskich maszyn.** Zalesski A. M. — Profilaktyczne badania izolacji maszyn elektrycznych. Znaczenie badań. Dawne metody badania i metody nowe. Analiza poszczególnych metod. Wytyczne profilaktycznego badania maszyn niskiego i wysokiego napięcia. — *Elektricesstwo*, 1948, nr 2, str. 38—43, 3 rys. A. M.

153 621.313.36.072.6  
**Kollektornyj generator pieremiennowo toka z regulowaniem częstoty, niezawisimym ot skorosti wraszczenia.** Kostienko M. P. — Prądnicza komutatorowa prądu zmiennego z regulacją częstotliwości niezależną od obrotów. Własności ogólne prądnicy komutatorowej. Układy połączeń prądnicy. Uzwojenie prądnicy. Analiza siły elektromotorycznej. Wzbudzenie prądnicy komutatorowej. Moc maszyny. Zastosowanie prądnicy. Układy specjalne, pozwalające na utrzymanie niezależności częstotliwości i liczby obrotów. Wyniki doświadczeń. Literatura. — *Elektricesstwo*, 1948, nr 2, str. 7—27, 34 rys. A. M.

154 621.313.2  
**Beitrag zum Entwurf von Hochstrommaschinen.** Dick E. — Przyczynek do projektowania maszyn elektrycznych o dużych natężeniach prądu. Zagadnienie komutacji jako podstawowy problem w maszynach o dużych natężeniach prądu i metody rozwiązania tego problemu. Uzwojenia maszyn. Przykład obliczania maszyny na 150 350 V, 11000 A, 250 obr./min. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 3, str. 71—78, 8 rys. A. M.

155 621.3.015.33:621.313  
**Phénomènes transitoires dans une machine électrique soumise à une tension de choc de front de durée finie.** Jalla F. — Zjawiska przejściowe w maszynach elektrycznych, poddanych działaniu napięcia udarowego. Rozkład napięcia udarowego o czole prostokątnym w pierwszej chwili (charakter elektrostatyczny) i okres drgań obwodu (charakter elektromagnetyczny). Wzory teoretyczne i analiza wyników. Fale napięcia udarowego o określonej strumieniu czoła. Analiza wielkości naprężenia pola. Porównanie wyników otrzymanych na podstawie teorii fal biegnących i fal stojących. Literatura. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 23, str. 755—762, 14 rys. A. M.

156 621.313.322-82:621.317.722  
**Considérations sur les régulateurs des groupes générateurs hydroélectriques de basse chute.** Dejou A. — Rozważania nad regulatorami generatorów elektrowni wodnych. Możliwości zastosowania rozmaitych typów regulatorów i ich układów celem poprawy stateczności pracy. Załączniki: teoria pracy układów regulacyjnych. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 8, str. 315—322, 12 rys. A. M.

157 621.313.332-82  
**The design of large vertical-shaft water-turbinedriven a. c. generators.** Johnson E. M., Holder C. P. — Charakterystyka napędu przy pomocy turbin wodnych i jego wpływ na konstrukcję prądnic (zależność obrotów od obciążenia, wały pionowe, wpływ sprawności turbiny). Konstrukcja prądnicy z punktu widzenia napędu i obciążenia (wymiar prądnicy, wirnik, układ i konstrukcja łożysk, chłodzenie łożysk, wentylacja, hamowanie, stojan, uzwojenia). Maszyny pomocnicze (wzbudnica, regulator). Charakterystyczne własności elektryczne i warunki pracy: spadek napięcia, oporności (przejściowa wstępna, przejściowa główna, synchroniczna podłużna), współpraca z linią długą. Dyskusja. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 48, str. 757—780, 2 tabl., 10 rys. Z. S.

158 621.313.333.017-573  
**Starting losses in windings of double squirrel-cage motors.** Schuisky W. — Zasadnicze różnice pomiędzy stratami w uzwojeniach silnika indukcyjnego jedno- i dwukłatkowego (przy rozruchu, hamowaniu). Równość całkowitych strat w wirniku w obu typach silników. Nierównomierny rozkład strat pomiędzy obydwa uzwojenia wirnika w silniku dwukłatkowym. Straty w stojanie. Wzory matematyczne do obliczenia poszczególnych strat. Czynniki wpływające na rozkład strat w uzwojeniu wirnika i stojana. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 45, str. 325—327, 2 rys. Z. S.

159 621.313.333.042.13 + 621.313.323.042.13  
**Induction and synchronous motors with unlaminated rotors.** Gibbs W. J. — Silniki indukcyjne i synchroniczne (w czasie rozruchu) jako typ silników z masowym żelazem wirnika. Wpływ oporności pozornych wtórnych zaleźnych od poślizgu na kształt charakterystyk. Zależność związku pomiędzy opornością pozorną a poślizgiem od zmiennej przenikalności magnetycznej. Podstawy teoretyczne wyznaczania równoważnych oporności pozornych przy dowolnym poślizgu. Zachowanie się silników przy rozruchu i w pracy. Wpływ przenikalności i oporności materiałów obwodu wtórnego. Wpływ dodania miedzi (w postaci prętów lub pierścieni czołowych) do masowego żelaza i warunki pracy silników tego rodzaju. Porównanie warunków pracy, obwody równoważne i wykresy prądowe. Zastosowanie otrzymanych wyników dla silników z biegunami wydatnymi i masowymi nabiegunkami przy obliczaniu oporności podłużnych i poprzecznych. Zależność oporności pozornych od obecności miedzianych pierścieni czołowych względnie żłobków w na-

biegunnikach. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 46, str. 411—422, 1 tabl., 20 rys. Z. S.

160 621.313.048

**Die Wicklungsisolierung im Grossmaschinenbau. Beldi F.** — Izolacja uzwojeń wielkich maszyn elektrycznych. Zagadnienia termo-elektryczne i starzenia się materiałów izolacyjnych. Wpływ wyładowań elektrycznych na stan materiałów izolacyjnych. Oszczędności materiałowe osiągnięte przez stosowanie nowoczesnej izolacji maszyn elektrycznych. Wyniki eksploatacyjne. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 10, str. 329—335, 13 rys. A. M.

161 621.313:621.333

**Postęp amerykański w budowie i izolacji silników trakcyjnych. Figurzyński Z.** — Ujednostajnienie typów silników. Postępy w budowie silników szybkoobrotowych. Cechy konstrukcyjne nowych silników. Stosowanie nowych materiałów izolacyjnych. Izolacje krzemowe. — Przegl. Elektrycz., 1948, nr 1/2, str. 13—16, 1 tabl., 3 rys. J. W.

162 621.313.017.71

**O obliczaniu nagrzewania się maszyn elektrycznych. Kozłowski H.** — Dotychczasowe metody obliczania nagrzewania się maszyn elektrycznych. Metoda obliczania nagrzewania się maszyn seryjnych z wentylacją osiową. Przykład obliczania stojana silnika. Obliczanie przy pomocy przyrządu elektrycznego. Dodatkowe urządzenia w aparacie obliczeniowym. Dokładność obliczeń przy pomocy aparatu. — Przegl. Elektrycz., 1948, nr 10/11, str. 354—358, 2 rys. J. W.

#### Transformatory elektryczne

163 621.314.222.011.3:517

**K teorii raszczota indukcyjności rozproszenia transformatorów. Pietrow G. N.** — Obliczanie indukcyjności rozproszenia transformatorów. Sposób oparty na zastosowaniu średnich geometrycznych odległości. Obliczanie średniej geometrycznej odległości uzwojeń. Literatura. — Elektryczestwo, 1948, nr 3, str. 30—35, 17 rys. A. M.

164 621.314.222.012

**Schiema ekwiwalentnaja trechobmotocznomu transformatoru. Kałantarow P. L.** — Schemat zastępczy transformatora trójuzwojeniowego przy uwzględnieniu prądu magnesowania. Analiza schematu i dopuszczalne jego uproszczenia. — Elektryczestwo, 1948, nr 3, str. 36—39, 6 rys. A. M.

165 621.314.222-181

**Obobsczonnyje usłowia sorazmiernosti i optimalnaja geometria transformatorow. Trapeznikow W. A.** — Analiza właściwych wymiarów transformatorów. Ogólne warunki optymalnego doboru wymiarów ze względów gospodarczych. Porównanie kosztów różnych typów transformatorów. Omówienie przypadków odstępstwa od warunków gospodarczych. Porównanie analizy teoretycznej z danych typowych transformatorów. — Elektryczestwo, 1948, nr 2, str. 28—37, 12 rys. A. M.

166 621.314.2.026.6.448

**Le transformateur triphasé de 100 000 kilovolts-ampères du poste d'interconnexion de Mazingarbe (Pas-de-Calais). Clugnet J.** — Opis transformatora trójfazowego o mocy 100 MVA, 220/150/15 kV, zainstalowanego w podstacji Mazingarbe. Opis obwodu magnetycznego (rdzeń pięciokolumnowy) uzwojeń, zakresu regulacji. Opis działania przełącznika pod obciążeniem, wyposażenie transformatora. Chłodzenie. Zabezpieczenia. — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 12, str. 485—491, 9 rys. A. M.

167 621.314.2.026.6.448

**Les transformateurs de 70 000 kilovolts-ampères et 220 kilovolts de l'usine génératrice de Génissiat. Clugnet M.** — Opis transformatorów trójfazowych o mocy 70 MVA na napięcie 230/15 kV, wykonanych przez Société Savoisiennne. Dane elektryczne, szczegóły konstrukcyjne. Transport transformatorów (230 t). — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 6, str. 238—240, 4 rys. A. M.

168 621.314.2:621.315.613.7

**Transformateurs au quartz. Goris R.** — Transformatory o izolacji kwarcowej (piasek kwarcowy). Wymagania

stawiane transformatorom kopalnianym. Zasada i konstrukcja transformatora izolowanego piaskiem kwarcowym. Zalety stosowania izolacji kwarcowej. Charakterystyka transformatora. Odporność na zwarcia i przeciążenia. Zalety i wady transformatorów o izolacji kwarcowej. — Electricité, 1948, nr 142, str. 147—150, 8 rys. A. M.

169 621.314.21

**Considérations d'un constructeur sur les qualités du "transformateur", son comportement en service, les avaries et l'examen de quelques causes. Dessarzin R.** — Zagadnienia konstrukcji transformatorów, ich zachowanie się w eksploatacji. Opis typowych uszkodzeń. Obwód magnetyczny: budowa rdzenia transformatora. Izolacja zwojów i izolacja cewek: materiały izolacyjne, stosowane w transformatorach. Uzwojenia i przyczyny uszkodzeń elektrycznych i mechanicznych. Zwarcia i ich skutki. Regulacja napięcia. Olej izolacyjny i gospodarka olejowa. Uszkodzenia wywołane przez wybuch oleju. Zagadnienie chłodzenia transformatora. Transport wielkich transformatorów. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 83, str. 345—370, 38 rys. A. M.

170 621.314.222.3

**Calculation of errors in three-winding voltage transformers. Waterhouse T.** — Układ transformatorów napięciowych z podwójnym uzwojeniem wtórnym do zasilania dwóch obciążeń. Wykresy wektorowe dla stanu jałowego i stanu obciążenia. Wyrażenia dla uchybów procentowych i kątowych w zależności od danych transformatora. Wzajemne oddziaływanie na uchyby obu obciążeń po stronie wtórnej. Zmniejszenie uchybów przy podwójnym uzwojeniu wtórnym w stosunku do jednego uzwojenia w przypadku jednakowego obciążenia strony wtórnej transformatora. Zakres stosowności. Porównanie uchybów obliczonych i powierzonych w różnych warunkach obciążenia. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 43, str. 71—78, 2 tabl., 7 rys. Z. S.

171 621.314.2:33

**Transformer economic efficiency. Calvert B.** — Wprowadzenie pojęcia rocznej sprawności ekonomicznej transformatora. Uwzględnienie rocznych kosztów transformacji w stosunku do rocznych kosztów dostarczania energii elektrycznej. Warunek największej sprawności ekonomicznej przy uwzględnieniu kosztów strat w transformatorze. Krzywe sprawności. Współczynnik jednoczesności, rodzaje taryf i ich wpływ na sprawność ekonomiczną. Porównanie transformatorów ze względu na ich sprawność ekonomiczną. Pojęcie sprawności średniej przy zmiennym współczynniku zapotrzebowania obciążenia. Wzór dla procentowego udziału rocznych kosztów transformacji w kosztach dostawy energii (iloczyn deklarowanego największego zapotrzebowania obciążenia oraz sumy opłat za kVA tego obciążenia i za zużyte kWh przyjęto dla danego odbiorcy jako stały) jako podstawa do określenia dobroci ekonomicznej transformatora. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 48, str. 683—694, 18 tabl., 8 rys. Z. S.

172 621.314.2:621.3.015.3

**The lightning strength of power transformers. Norris E. T.** — Zachowanie się uzwojeń transformatora mocy poddanych działaniu przepięć piorunowych lub łączeniowych. Metody analizy (fala stojąca, fala wędrowna) dla różnych typów i mocy transformatora przy różnych kształtach fali udarowej (czoła i grzbietu). Rozkład naprężeń w uzwojeniu transformatora. Przypadek uzwojenia nie jednorodnego. Odbicie fal na końcu uzwojenia. Pierwotny rozkład naprężeń pochodzących od udaru napięciowego i czynniki wpływające na ten rozkład. Ekranowanie elektrostatyczne. Wypadkowa wytrzymałość udarowa uzwojeń transformatora i sposoby jej powiększania. Podział prób udarowych: rozkład naprężeń udarowych przy niskim udarze napięciowym, sprawdzenie w rzeczywistych warunkach przepięciowych (nawet do uszkodzenia transformatora). Opis przykładów i wnioski co do uzupełnienia przepisów. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 46, str. 389—406, 25 rys. Z. S.

#### Przekształtniki

173 621.314.6:621.318.7.018.3

**Elimination des résonances harmoniques dues aux redresseurs au moyen de shunts résonants très amortis.**



**Laurent P.** — Zastosowanie filtrów celem zmniejszenia wielkości prądów harmonicznych w sieci zasilającej prostowniki. Praktyczne korzyści zastosowania bocznikującego filtru o dużym oporze omowym. Dobór najodpowiedniejszych wartości R, L i C filtru. Uwagi ogólne na temat stosowania filtrów bocznikujących. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 78, str. 72—76, 6 rys. A. M.

174 621.314.6.018.3;621.33

**Atténuation des harmoniques renvoyés au réseau d'alimentation par les redresseurs de grande traction. Demontvignier M.** — Zmniejszenie harmonicznych, wytwarzanych w sieci zasilającej przez prostowniki trakcyjne wielkiej mocy. Stan zagadnienia w świetle literatury fachowej. Analiza zmniejszania się harmonicznych w układzie dwóch podstacji. Wpływ względnego przesunięcia faz na wielkość harmonicznych. Rozważania w przypadku czterech podstacji. Wpływ układu połączeń sieci na wielkość prądów harmonicznych. Przykład liczbowy. Zestawienie wyników teoretycznych i wskazówki praktyczne. Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 78, str. 61—71, 2 tabl., 12 rys. A. M.

175 621.314.6.06;621.313.126

**Schaltung eines Gleichstromgenerators zur Erzielung einer geknickten Stromkennlinie ohne bewegte Schaltkontakte. Förster S.** — Opis połączeń prądniczy prądu stałego z układem prostowników i obcym zasilaniem, umożliwiających otrzymanie załamanej charakterystyki prądu maszyny w funkcji prądu zasilania obcego. Zastosowanie praktyczne. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 6, str. 176—178, 7 rys. A. M.

176 621.314.67

**Fonctionnement des soupapes ioniques. Kouskoff G.** — Działanie wentyli jonowych. Zasada działania i analiza wielkości napięć i prądów wielofazowego wentyla jonowego. Charakterystyki wentyli. Obszerna i szczegółowa analiza teoretyczna pracy wentyli. — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 3, 4 i 5, str. 105—113, 162—172, 204—215, 14 tabl., 18 rys. A. M.

177 621.314.6

**Postęp w konstrukcji prostowników dużej mocy w Europie i Stanach Zjednoczonych. Figurzyński Z.** — Zarys rozwoju konstrukcji prostowników. Prostowniki pojedynczo-anodowe. Prostowniki chłodzone powietrzem. Określenie mocy zaworu prostownikowego. Zapłon zwrotny prostownika. Wyłączniki anodowe. Łączenie prostowników przy bardzo dużych mocach instalowanych. — Przegl. Elektr., 1948, nr 10/11, str. 358—367, 8 rys. J. W.

178 621.314.623.025.4.018.3

**A new method for improving the waveforms of rectifier equipments — the phase-doubled 12-phase connection. Read J. C.** — Opis układu prostowników trzęciowych, w którym uzwojenie wtórne transformatora międzyfazowego połączone jest ze specjalnym urządzeniem prostowniczym. Otrzymanie kształtów fal odpowiadających układowi 24-fazowemu z układu 12-fazowego bez zasadniczej rozbudowy układu (eliminacja zniekształceń i wyższych harmonicznych po stronie prądu zmiennego i stałego). Teoria zdwojonego obwodu 12-fazowego i możliwości jego otrzymania. Badania doświadczalne. Rodzaje zdwojonych układów 12-fazowych (transformator międzyfazowy w układzie autotransformatora, 3 jednofazowe transformatory międzyfazowe, dodatkowe transformatory międzyfazowe). — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 44, str. 218—224, 1 tabl., 17 rys. Z. S.

*Przesył i rozdział energii elektrycznej*

179 621.315:621.316.729

**Fonctionnement hors synchronisme des réseaux de transport. Henriot P.** — Analiza pracy sieci elektrycznych przesyłowych o dwóch punktach zasilających w przypadku wypadnięcia z synchronizmu. Założenia i metoda obliczeń. Wartości chwilowe prądów i napięć. Elektryczny środek ciężkości sieci. Analiza zmian wielkości mocy wzdłuż linii i w czasie. Oporność linii. Analiza pracy sieci o trzech punktach zasilających. Zastosowanie wyników. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 78, str. 79—92, 18 rys. A. M.

180

**L'emploi de conducteurs en faisceaux pour l'armement des lignes à très haute tension. Cahen F., Pélistier R.** — Zastosowanie przewodów wiązkowych w liniach bardzo wysokich napięć. Zagadnienie doboru właściwego przewodu dla uniknięcia strat na ulot w liniach bardzo wysokich napięć. Opis stacji doświadczalnej o napięciu 500 kV w Chevilly. Układ elektryczny wysokiego napięcia, aparatura pomiarowa. Analiza teoretyczna wielkości strat na ulot w przewodach wiązkowych. Natężenie pola na powierzchni przewodów. Wpływ układu przewodów. Wpływ przewodów uziemiających. Opis prób i pomiarów wykonanych na stacji badawczej. Wyniki pomiarów. Wpływ warunków atmosferycznych i układu przewodów roboczych i odgromowych. Podział strat. Analiza sił mechanicznych, działających na przewody. Zaburzenia radiofoniczne. Zestawienie wyników. Analiza matematyczna natężenia pola elektrycznego na powierzchni przewodów wiązkowych. Obliczenie sił elektrodynamicznych i elektrostatycznych, działających na przewody. Literatura. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 79, str. 111—159, 4 tabl., 57 rys. A. M.

181

**Die praktische Berechnung des Spannungsabfalls von Wechselstromleitungen. Widmer P.** — Metoda przybliżonego obliczenia spadków napięć w sieciach prądu zmiennego. Obliczenia analityczne i wykresne. Przykład liczbowy. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 23, str. 766—769, 5 rys. A. M.

182

**Stromwärmeverluste (Skineffekt) an Leitern und Isolatoren mit leitender Oberflächenschicht. Dällena Bach.** — Straty ciepłe (zjawisko naskórkowości) w przewodnikach i izolatorach z warstwą powierzchniową przewodzącą. Teoria rozkładu gęstości prądu oraz strat mocy w przewodnikach i izolatorach, posiadających przewodzącą warstwę powierzchniową. Rozważania ogólne. Przypadek przewodnika jednorodnego o nieskończonych wymiarach i płaskiej powierzchni. Przypadek przewodnika jednorodnego z przewodzącą powierzchnią z innego materiału. Przypadek jednorodnego materiału izolacyjnego z powierzchnią przewodzącą. Przykłady liczbowe. Uogólnienie wzorów. Warstwa dielektryku o małej przewodności na powierzchni materiału dobrze przewodzącego. Literatura. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 14, str. 439—446, 2 tabl., 1 rys. A. M.

183

**Points de vue modernes sur les problèmes de l'élimination des défauts dans les réseaux à haute tension. Waldvogel P.** — Nowoczesne poglądy na zagadnienia eliminacji uszkodzeń w sieciach wysokiego napięcia. Uziemienie bezpośrednie, kompensacja i automatyczne ponowne włączenie jako środki eliminujące zwarcia. Analiza najważniejszego rozwiązania dla sieci różnych napięć. — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 6, str. 257—259. A. M.

184

**Essais sur des lignes de transmission d'énergie à haute tension pour la détermination des harmoniques de courant et de tension engendrés par l'effet de couronne. Burlando F.** — Badania, przeprowadzone na liniach przesyłowych wysokiego napięcia, mające na celu określenie harmonicznych prądu i napięcia, wywołanych przez zjawisko ulotu. Opis urządzenia badawczego. Wyniki prób. Próba przedstawienia analitycznego wyników. — Rev. Gén. Electr., 1948, nr 1, str. 33—37, 5 rys. A. M.

185

**Die Wirtschaftlichkeit von Drehstrom-Hochleistungsübertragungen mit Betriebsspannungen von 110—440 kV. Senn E.** — Zagadnienia gospodarcze przesyłania wielkich mocy prądem zmiennym o napięciu 110—440 kV. Uwagi ogólne. Obliczenie kosztów inwestycyjnych i kosztów przesyłania dla rozmaitych napięć i przekrojów przewodów. Koszty roczne. Wykresy kosztów rocznych obliczonych dla rozmaitych napięć i przekrojów przewodów w zależności od mocy przesyłanej. Wykresy kosztów jednostkowych w funkcji mocy przesyłanej. Zestawienie i analiza wyników. Literatura. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 23, str. 762—766 4 rys. A. M.

- 186 621.315.1.027.3.017  
**Les pertes de puissance dans les lignes à haute tension continue par l'effet des gouttes d'eau pendantes.** P a u t h e n i e r M., D e m o n L., D u h a u t G. — Wyniki badań nad stratami mocy w liniach wysokiego napięcia stałego wywołanych przez zwisające krople wody. Opis urządzenia badawczego i wyników badań laboratoryjnych. Literatura. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 82, str. 301—303, 7 rys. A. M.
- 187 621.315.17  
**Koordinacja wytrzymałości mechanicznej przewodów i linki ziemionej.** S z r e m o w i c z M. — Sposób sprawdzenia przekroju linki ziemionej „na stopień bezpieczeństwa”. — Przegl. Elektr., 1948, nr 3, str. 76—77. J. W.
- 188 621.315.1.17  
**Reconstruction d'une ligne électrique aérienne franchissant la Seine maritime entre Port-Jérôme et Quilleboeuf.** P e y r o u x J. — Opis skrzyżowania linii 30-kilowoltowej z Sekwaną o długości przęsła 543 m i wysokości słupów 95 i 113 m. Opis zniszczeń wywołanych przez działania wojenne oraz rekonstrukcji słupów i ich montażu. — Rev. Gén. Électr., 1948, nr 6, str. 233—238, 5 rys. A. M.
- 189 621.315.21:621.317.333.4  
**Révue des méthodes américaines de recherche des défauts sur les câbles souterrains.** B a r o n Y. — Zarys metod wykrywania miejsc uszkodzeń kabli, stosowanych w Ameryce. Opis aparatu Lundin, opartego na zasadzie wykrywania pola elektromagnetycznego prądu w zwartym obwodzie kabla. Pomiarzy przy zwarciu o małej oporności. Wyszukiwanie przerwy w przewodzie izolowanym. Zwarcia o wielkiej oporności. Literatura. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 392—396, 8 rys. A. M.
- 190 621.315.21:621.317.333.4  
**Recherche des défauts dans les câbles en cas de discontinuité et de faible isolement.** D u p u i s L. — Wyszukiwanie uszkodzeń w kablach w przypadku przerwy i słabej izolacji. Opis metody opartej na pomiarze straty mocy prądu w obwodzie zwartym. Opis metody opartej na pomiarze napięć indukowanych w pozostałych żyłach. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 417—418. A. M.
- 191 621.315.21:621.317.333.4  
**Recherche des défauts dans les câbles souterrains.** A s c h e r e H. — Wyszukiwanie uszkodzeń w liniach kablowych. Analiza przyczyn uszkodzeń. Rodzaje uszkodzeń. Ustalenie rodzaju uszkodzenia. Metody wyszukiwania miejsca uszkodzenia. Opis metody pętli. Wskazówki praktycznego stosowania. Przeliczenie w przypadku kabli niejednorodnych. Metoda spadku napięcia. Pomiarzy pojemności przy przewodach przerwanych bez zwarcia. Zwarcia trójfazowe. Metody wykrywania miejsc zwarć trójfazowych przy użyciu przewodu pomocniczego. Metoda wykrywania miejsca zwarcia przez utworzenie pola magnetycznego. Metoda oparta na wykryciu drgań ziemi w miejscu zwarcia. Metody oparte na zasadzie fal udarowych, zbliżone do działania radaru. Analiza przypadków praktycznych. Uwagi i dyskusja. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 397—416, 20 rys. A. M.
- 192 621.315.21:621.317.333.4  
**Recherche des défauts sur les câbles basse-tension.** P h i l i p p e Ch. — Metody wykrywania uszkodzeń w kablach niskiego napięcia, stosowane przez Towarzystwo Kolei Francuskich. Opis sieci kablowej sygnalizacyjnej, telefonicznej i energetycznej kolei francuskich. Opis metody opartej na zasadzie pola elektromagnetycznego o częstotliwości akustycznej. Zastosowanie metody w różnych przypadkach uszkodzeń. Wykrywanie osi linii kablowej, głębokości zakopania kabla i właściwego kabla w przypadku większej liczby kabli ułożonych w rowie. Opis aparatu do wykrywania uszkodzeń i metody pomiaru. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 439—450, 9 rys. A. M.
- 193 621.315.21:621.317.333.4  
**Détection, par vibration du sol, des défauts dans les câbles souterrains.** M a r c h a n d E. — Wykrywanie miejsc uszkodzenia kabli przy pomocy pomiaru drgań ziemi w miejscu uszkodzenia. Opis urządzenia badawczego i wyniki eksploatacyjne. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 433. A. M.
- 194 621.315.21:621.317.333.4  
**Application de la méthode du pont de Sauty au repérage des défauts sur les câbles de grande longueur.** J o s e M., T e l l i e r R. — Uwagi nad zastosowaniem metody pomiaru mostkiem de Sauty'ego dla wykrycia miejsca uszkodzenia linii kablowych znacznej długości. Określenie dokładności metody w zależności od długości badanego odcinka kabla. Obliczenie poprawki. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 427—429, 3 rys. A. M.
- 195 621.315.21:621.317.333.4  
**Application de la méthode des impulsions à la localisation des défauts dans les câbles.** L e P a r q u i e r G. — Metoda wykrywania uszkodzeń w kablu oparta na zasadzie impulsów. Zasada metody impulsów (radar). Zastosowanie metody do linii elektrycznych. Opis aparatu do wykrywania zwarć. Opis prób i analiza wyników. Ocena metody wykrywania uszkodzeń opartej na zasadzie impulsów. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 434—438, 21 rys. A. M.
- 196 621.315.21:621.317.333.4  
**Recherche des défauts dans les câbles souterrains.** R o g e r M. — Opis metod i aparatów pomiarowych dla wykrywania miejsca uszkodzenia kabli, stosowanych przez „Le Centre de Distribution de Paris-Électricité”. Dane sieci kablowej. Opis generatorów prądu stałego do badania kabli, mostków pomiarowych stosowanych do wykrywania miejsc uszkodzeń oraz aparatu opartego na zasadzie badania pola elektromagnetycznego, wytwarzanego przez urządzenia zasilające o częstotliwości akustycznej. Wyniki eksploatacyjne. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 419—426, 13 rys. A. M.
- 197 621.315.21:621.317.333.4  
**Localisation des défauts dans les câbles souterrains.** B o n n e m a i n J. — Metody wyznaczania miejsc uszkodzeń w kablach. Wyniki badań przeprowadzonych przy pomocy różnych metod pomiarowych. Krótki opis metod pomiarowych, ze szczególnym uwzględnieniem metod opartych na użyciu fal udarowych. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 84, str. 387—391, 5 rys. A. M.
- 198 621.315.21.011.2  
**La détermination des écarts d'impédance locaux dans un câble et de la fonction de corrélation de ces écarts.** C o t t e M. — Określenie zmian wielkości oporności falowej wzdłuż kabla wskutek lokalnych zmian wymiarów geometrycznych i własności dielektrycznych. Rozważania teoretyczne nad wielkością odchyłań od wartości średniej. — Bull. Soc. Franç. Électr., 1948, nr 77, str. 16—22, 1 rys. A. M.
- 199 621.316.313  
**Raszczotnyj stoł pieremiennowo toka.** B r u k J. S., C z u g u n o w S. S., L i b k i n d M. S. — Opis analizatora prądu zmiennego wykonanego w Instytucie Energetycznym Akademii Nauk ZSRR, pracującego przy częstotliwości 400 c/s. Opis ogólny analizatora oraz jego elementów składowych. Dokładność odwzorowania. Opis tablicy połączeń oraz układu pomiarowego. Opis jednostek odwzorujących generatory oraz elementy  $R$ ,  $L$  i  $C$ . Układ zasilający. Literatura. — Električestwo, 1948, nr 1, str. 37—44, 7 rys. A. M.
- 200 621.315:621.311  
**Wyniki pierwszych miesięcy eksploatacji linii Śląsk—Łódź.** Z a d r z y ń s k i E. — Opis łódzkiego węzła energetycznego: liczba elektrowni, ich moc, bilans mocy. Wpływ linii 110-kilowoltowej Śląsk—Łódź na energetykę węzła łódzkiego. Techniczne cechy współpracy sieci śląskiej i łódzkiej. Dotychczasowe wnioski eksploatacyjne. — Przegl. Elektr., 1948, nr 7/8, str. 287—289, 2 rys. J. W.
- 201 621.315.1  
**Założenia techniczne projektu linii elektrycznej Śląsk—Łódź o napięciu 220 kV na tle projektu linii Śląsk—Łódź—Warszawa.** P r z a n o w s k i K. — Rys historyczny linii Śląsk—Łódź—Warszawa. Założenia energetyczne, trasa i elementy linii oraz schemat przesyłania z opisem urzą-

dzeń rozdzielczych i przesyłowych. Szczegóły techniczne odcinka Śląsk—Łódź: trasa, słupy, fundamenty, przewód roboczy i linka ochronna uziemienia, ochrona linii od przepięć atmosferycznych, przeplecenie linii oraz rozpiętość przeset, drgania i „taniec” przewodów. — *Prze gl. Elektr.*, 1948, nr 7/8, str. 211—220, 1 tabl., 9 rys. J. W.

#### Materiały izolacyjne

- 202 621.315.61  
**Englische Arbeiten auf dem Gebiete der Isoliertechnik unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten der Electrical Research Association (ERA). Meier A.** — Badania angielskie w dziedzinie techniki izolacyjnej. Powstanie i rozwój ERA. Zakres prac stowarzyszenia. Podstawy teoretyczne materiałoznawstwa elektrycznego izolacyjnego. Nowe materiały izolacyjne — „polythen”, sylikony, materiały ceramiczne. Spawanie materiałów izolacyjnych. Opis urządzeń badawczych. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 12, str. 392—395, 2 rys. A. M.
- 203 621.316.616  
**Revue des principaux isolants synthétiques nouveaux. Leprêtre R.** — Krótki przegląd najnowszych materiałów izolacyjnych sztucznych. Sylikony płynne, ich własności i zastosowanie. Kauczuk syntetyczny. Materiały plastyczne, ich budowa chemiczna, własności elektryczne i zastosowanie. Zestawienie własności elektrycznych wytrzymałościowych i fizycznych najważniejszych materiałów izolacyjnych. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 9, str. 356—360, 1 tabl. A. M.
- 204 621.315.61  
**Elektrische Isolierstoffe. Imhof A.** — Materiały izolacyjne. Przegląd ogólny techniki izolacyjnej. Podział materiałów izolacyjnych na konstrukcyjne (mat. ceramiczne, sztuczne żywice itp.), otaczające (papier, preszpan, mika i pochodne, laki, guma itp.) oraz wypełniające (gazy, oleje). Krótka analiza osiągniętych wyników w dziedzinie ulepszenia własności elektrycznych i mechanicznych. Wymagania, stawiane materiałom izolacyjnym. Nowe kierunki rozwojowe. Wyniki ostatnich lat. Nowe materiały izolacyjne. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 5, str. 129—140, 25 rys. A. M.
- 205 621.315.61.0014  
**Prüfung und Bewertung von Isoliermaterialien. Zürcher M.** — Badanie i ocena materiałów izolacyjnych. Własności materiałów izolacyjnych. Napięcie przebicia. Oporność właściwa. Oporność powierzchniowa. Stała dielektryczna i kąt stratności. Nasiąkliwość. Starzenie się materiałów izolacyjnych. Pomiary. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 12, str. 395—397. A. M.
- 206 621.315.612.6  
**Résultats obtenus en France par l'emploi des textiles de verre dans la construction électrotechnique. Nouvion F.** — Zastosowanie tkanin szklanych jako izolacji elektrycznej. Wyniki badania izolacji maszyn elektrycznych. Stanowisko kolei francuskich w sprawie stosowania materiałów izolacyjnych o podstawie włókna szklanego. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 8, str. 272—278, 6 tabl., 1 rys. A. M.
- 207 621.315.612.6  
**Caractéristiques et fabrication des textiles de verre utilisés comme isolants en électrotechnique. Gaulis J.** — Produkcja włókna szklanego i jego własności. Zależność własności mechanicznych włókna szklanego od jego grubości i temperatury. Metody wyciągania i skręcania włókna. Własności elektryczne izolacji szklanej. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 8, str. 267—272, 10 rys. A. M.
- 208 621.315.616.5  
**Les caoutchoucs de silicone et leurs emploi comme isolants en électrotechnique. de Buccar M.** — Zastosowanie sylikonów w elektrotechnice. Budowa chemiczna grupy sylikonów o własnościach elastycznych. Własności mechaniczne, cieplne, elektryczne i wytrzymałościowe, odporność na starzenie materiału „silastic” (produkcji amerykańskiej). Wyniki prób i pomiarów. Literatura. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 3, str. 93—102, 6 tabl., 6 rys. A. M.
- 209 621.315.616.96  
**Bedeutung einiger Neustoffe für die Starkstrom- und Hochspannungstechnik. Caflisch Ch.** — Opis własności szeregu nowych materiałów i ich zastosowanie w technice prądów silnych i technice wysokich napięć. Wpływ wilgotności na wytrzymałość izolacji. Zjawiska powierzchniowe. Analiza fizyczna utrzymywania się kropli wody na powierzchni rozmaitych materiałów izolacyjnych. Absorpcja wody przez materiały izolacyjne. Przepuszczalność pary wodnej przez błony z materiałów izolacyjnych. Dopuszczalna temperatura pracy materiałów izolacyjnych. Wpływ temperatury na własności dielektryczne i mechaniczne. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 9, str. 299—304, 3 tabl., 5 rys. A. M.
- 210 621.315.616.96  
**Quelques matières plastiques nouvelles utilisées dans les isolants électriques. de Senarclens G.** — Nowe materiały izolacyjne plastyczne. Zarys historyczny rozwoju materiałów plastycznych. Materiały plastyczne dające się wulkanizować. Sztuczny kauczuk i jego własności. Materiały plastyczne nie podlegające wulkanizacji i ich własności. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 5, str. 140—147, 8 rys. A. M.
- 211 621.315.618.011.5  
**Nouvelles recherches sur la rigidité diélectrique des gaz comprimés. Félicy N., Marchal Y.** — Wyniki badań nad wytrzymałością elektryczną gazów pod ciśnieniem. Wyniki badań, wykonanych w „Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du Metal, du Centre national de la Recherche scientifique” w Grenoble. Opis aparatury i metod pomiaru. Wyniki pomiarów. Wpływ materiału katody przy dużych ciśnieniach. Literatura. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 4, str. 155—162, 6 tabl., 1 rys. A. M.
- 212 621.315.612  
**Sylikony — nowe materiały izolacyjne. Skowroński J.** — Nietrwałość w wysokich temperaturach organicznych materiałów izolacyjnych, dotychczas stosowanych. Pochodzenie sylikonów, ich natura, różnorodność, odporność na wysoką temperaturę oraz ich własności dielektryczne. Zakres stosowania sylikonów. Literatura. — *Prze gl. Elektr.*, 1948, nr 1/2, str. 10—12, 5 rys. J. W.
- 213 621.315.615  
**Niepalne płyny izolacyjne jako materiały zastępcze dla oleju mineralnego. Seidel S.** — Rodzaje płynów izolacyjnych, porównanie ich własności z olejem mineralnym oraz omówienie zakresu ich stosowalności. — *Prze gl. Elektr.*, 1948, nr 6, str. 174—176, 2 tabl. J. W.
- Isolatory liniowe*
- 214 621.315.622  
**Die Entwicklung der Freileitungsisolatoren. Kläy H.** — Rozwój techniki izolatorów linii napowietrznych. Rys. historyczny zmian kształtu izolatorów liniowych. Oporność powierzchniowa i rozkład pola elektrycznego na izolatorach kłozowych i szyszkowych. Zalety stosowania izolatorów szyszkowych. Dyskusja. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 12, str. 387—391, 16 rys. A. M.
- 215 621.315.622  
**Wyrób izolatorów liniowych. Gardziejewski J. i Bogusławski S.** — Opis konstrukcji izolatora kołpakowego typu K3. Opis produkcji izolatorów. Kontrola fabrykacji. Dostawy i odbiory okucia. Wewnętrzna kontrola gotowych ogniwi. Dane charakterystyczne izolatorów K3. — *Prze gl. Elektr.*, 1948, nr 7/8, str. 237—240, 3 tabl., 9 rys. J. W.
- 216 621.315.653  
**Sprzęt zawieszniowy i ochronny do przewodu roboczego i linki uziemionej. Stępniewski T.** — Warunki techniczne dla sprzętu. Opis konstrukcji zawieszenia przelotowego, odciągowego i półodciągowego dla przewodu roboczego oraz przelotowego i odciągowego dla linki uziemionej. Zestawienie materiałów i przebieg wykonywania sprzętu. Organizacja i kontrola produkcji. — *Prze gl. Elektr.*, 1948, nr 7/8, str. 241—245, 1 tabl., 12 rys. J. W.



## Słupy elektryczne

217 621.315.668.1  
**Gittertragwerke mit ausbetonierten Stahlrohren. Gönzenbach R.** — Słupy z rur stalowych, wypełnionych betonem. Opis nowej techniki konstrukcji słupów, opracowany przez tow. Motor-Columbus (Baden). Zalety słupów z rur stalowych, wypełnionych betonem, w porównaniu ze słupami stalowymi z kątówek. Zmniejszenie wagi stali, zmniejszenie kosztów budowy linii. Opis badań wytrzymałościowych, dokonanych na próbnym słupie linii na 380 kV. Opis linii wykonanych z zastosowaniem słupów z rur stalowych wypełnionych betonem. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 22, str. 738—741, 7 rys. A. M.

218 621.315.668  
**Wykonanie fundamentów i uziemień słupów. Kaczmarewski Z.** — Opis fundamentów wykonywanych i w szczególności użytych materiałów. Uziomy rurowe i taśmowe. Organizacja robót, podział na grupy techniczne, plan pracy grupy. Organizacja dostaw materiałowych. — Przegl. Elektr., 1948, nr 7/8, str. 245—248, 1 tabl., 6 rys. J. W.

219 621.315.668.2  
**Wykonanie słupów w wytwórniach. Porzeziński T.** — Rysunki warsztatowe i zamówienia stali w hutach. Kottwy. Organizacja produkcji słupów. Słup próbny. Produkcja słupów. — Przegl. Elektr., 1948, nr 7/8, str. 224 do 230, 1 tabl., 9 rys. J. W.

## Złącza kablowe

220 621.315.687  
**Behaviour of high-voltage solid-type cable accessories in service. Armstrong C. J., Sutton C. T. W.** — Zasadnicze cechy konstrukcyjne złączy kablowych (pojedynczych i potrójnych), muf kablowych i głowic kablowych. Wymagania stawiane przy wypełnianiu głowic zatapianych i muf kablowych (właściwe ciśnienie). Badania stanu wyposażenia kablowego po dłuższym okresie pracy (naprawa i odnawianie). Zjawisko przesuwania się masy kablowej pomiędzy mufą złącza i kablem (do chwili osiągnięcia równowagi ciśnień) i jego skutki. Niebezpieczeństwo działania ciśnienia atmosferycznego na mufę kablową. Przedostawanie się wody do kabla przez złącze wypełnione masą bitumiczną. Czynniki wpływające na zjawisko przesuwania się masy kablowej i środki zaradcze. Wskazówki co do konstrukcji. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 47, str. 523—545, 2 tabl., 15 rys. Z. S.

## Sieci i podstacje

221 621.316:63  
**Wybór napięcia sieci rozdzielczych. Kahl T. i Mejro Cz.** — Obliczenie charakterystycznych wielkości dla idealnej sieci rozdzielczej przy różnych gęstościach powierzchniowych spożycia. Wpływ napięcia sieci na jej zasięg oraz na całkowite koszty rozdziela energii. Obliczenie kosztów inwestycyjnych i strat na przykładowej sieci teoretycznej. Wnioski dotyczące wyboru napięcia sieci rozdzielczej. — Przegl. Elektr., 1948, nr 4/5, str. 117—125, 20 rys. J. W.

222 621.316.262  
**Opis tymczasowych podstacji na 110 kV w Łagiszy i Janowie. Przanowski K.** — Zasadnicze założenia i schemat przesyłania; opis aparatury, transformatora, zabezpieczeń, telefonii i izolacji. Opisy podstacji w Łagiszy i Janowie: fundamenty i konstrukcje, uziemienia, tablice nastawcze, zabezpieczenia odgromowe, urządzenia pomocnicze. Połączenie podstacji w Janowie z elektrownią łódzką. — Przegl. Elektr., 1948, nr 7/8, str. 270—274, 8 rys. J. W.

## Urządzenia rozdzielcze

223 621.316.57.064.24/26:621.315.051:621.3.016.36  
**Wykluczenie nienagrużonych linii wysokowonapięzenia maslanym wykluczacielem z kameroj dutja. Akopjan A. A.** — Wyłączanie linii wysokiego napięcia w stanie jałowym wyłącznikami olejowymi z komorą gaszącą. Mechanizm procesu wyłączania. Badania laboratoryjne i eksploatacyjne. Wyniki badań. Ochrona wyłączników

olejowych przy wyłączaniu linii w stanie jałowym. — Elektrichestwo, 1948, nr 2, str. 49—57, 13 rys. A. M.

224 621.316.52  
**The design of contactors with regard to their industrial application. Feldbauer B.** — Opis nowoczesnych konstrukcji styczników. Wpływ wielkiej różnorodności zastosowań styczników w obwodach sterujących na ich konstrukcję. Styczniki w obwodach sterujących silników indukcyjnych klatkowych. Szczegółowy opis konstrukcji styczników. Zjawisko łuku i jego gaszenie w stycznikach dla prądu stałego i zmiennego. Styki. Styczniki zanurzone w oleju. Styczniki do obwodów wysokiego napięcia. Specjalne konstrukcje styczników. Styczniki do pieców oporowych. Łączniki pomocnicze w obwodach styczników. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1948, cz. II, nr 46, str. 439—451, 1 tabl., 19 rys. Z. S.

## Urządzenia regulacyjne

225 621.316.7:621.383  
**Stabilizacja napięzenia w fotoelektryczeskich urządzeniach promyslennoj awtomatiki. Filipowicz B. J.** — Stabilizacja napięcia i prądu w układach fotoelektrycznych. Wpływ wartości napięcia na pracę układów. Wymagania stawiane stabilizatorom napięcia. Barretery. Układy mostkowe z opornościami nieliniowymi. Stabilizatory rezonansowe. Opis układów stabilizujących. Literatura. — Elektrichestwo, 1948, nr 3, str. 15—23, 8 rys. A. M.

226 621.316.7.013.8:621.313.322  
**Les dynamos amplificatrices. L'amplidyne. Valentin A.** — Amplidyna — zasada działania i zastosowanie. Analiza szybkości regulacji napięcia. Wykresy charakterystyczne i ich opis. Analiza krzywych. Schematy układów amplidynowych. Zastosowanie praktyczne. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 82, str. 304—328, 29 rys. A. M.

227 621.24-531.9:621.316.728  
**Der Escher-Wyss-Leistungsregler. Wirkungsweise und Betriebsergebnisse. Hirt M. i Seeberger F.** — Opis zasady działania i konstrukcji nowego typu regulatora mocy. Zastosowanie regulatora przy pracy równoległej sieci. Utrzymywanie w stałej mocy oddawanej niezależnie od częstotliwości lub niezależnie w ustalonym zakresie częstotliwości. Opis prób dokonanych w elektrowni w Innerskirchen. Wyniki doświadczeń. Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 22, str. 731—738, 17 rys. A. M.

228 621.3.016.32:621.311.21(494.24)  
**Studie über den Parallelbetrieb der Kraftwerke der Bernischen Kraftwerke A. G. Jean-Richard Ch.** — Zastosowanie automatycznej regulacji napięcia i mocy biernej w sieci na 150 i 45 kV okręgu berneńskiego. Opis układu sieci i elektrowni. Rozmieszczenie regulatorów i zasada ich działania. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 6, str. 174—175, 1 rys. A. M.

## Urządzenia zabezpieczające

229 621.316.26:621.316.99  
**Compte-rendu de la XVIII semaine de discussion. 4-e section. Construction et exploitation des réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique.** — Dyskusja nad artykułem G. Bodier o bezpieczeństwie personelu i zagadnieniach uziemień w podstacjach rozdzielczych. Niebezpieczeństwo porażenia. Wielkość prądu niebezpiecznego w zależności od drogi przepływu prądu przez ciało ludzkie, od rodzaju prądu i częstotliwości. Zależność natężenia prądu niebezpiecznego od czasu trwania przepływu. Własności elektryczne ciała ludzkiego. Wykresy napięć krokowych dla rozmaitych uziemień. Uziemienie podstacji, graniczne wielkości oporności. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 81, str. 255—278, 10 rys. A. M.

230 621.316.93  
**Ob ocenkie nadiożnosti grozozaszczity podstancij wysokowo naprjażenia. Kostienko M. W., Naszaty W. M., Szczerbaczew O. W.** — Ocena skuteczności zabezpieczenia podstacji wysokiego napięcia przed skutkami uderzeń pioruna. Zabezpieczenie przed bezpośrednim uderzeniem pioruna w części samej podstacji oraz odcinka linii, w których przepływa prąd. Dobór charakterystyk udarowych aparatury. Dobór długości odcinka linii zabezpieczonego i charakterystyki ochronników wydmucho-

wych. Dobór układu przewodów odgromowych i oporności uziemień stupów. — *Elektrichestvo*, 1948, nr 2, str. 44—48, 4 rys. A. M.

231 621.316.992:614.8

**Wlijanie zaziemlenja nejtrali sietiej niskowo napriazhenja na uslowia bezopasnosti. P o d o l s k i L. P.** — Wpływ uziemienia punktu zerowego sieci niskiego napięcia na warunki bezpieczeństwa. Oporność ciała ludzkiego. Analiza matematyczna zagadnienia i jej wyniki. Bezpieczeństwo pożarowe. Uziemienie punktu zerowego sieci trójfazowej trzy- i czteroprzewodowej. — *Elektrichestvo*, 1948, nr 2, str. 64—66. A. M.

232 621.313.322:621.316.925

**Mietod raszczota zaszczyty generatorow ot zamykanja na ziemi. Barzam A. B.** — Sposób obliczenia zabezpieczenia generatorów od zwarc z ziemią. Układy zabezpieczeń. Doświadczalne wyznaczanie wartości prądu asymetrii. Wnioski praktyczne. Literatura. — *Elektrichestvo*, 1948, nr 2, str. 58—63, 7 rys. A. M.

233 621.316.99(494)

**Schutz-, Betriebs- und Sondererdungen als Schutzmassnahmen in den elektrischen Erzeugungs- und Verteilungsanlagen. Sibler F.** — Uziemienie ochronne, uziemienie ruchowe i specjalne uziemienia jako środki bezpieczeństwa w elektrycznych urządzeniach wytwórczych i rozdzielczych w świetle przepisów szwajcarskich. Uziemienia w elektrowniach i stacjach transformatorowych. Omówienie możliwości połączenia poszczególnych uziemień. Wymiary uziomów i ich oporności — przekroje przewodów uziemiających, największe wielkości oporności. Uziemianie głowic kablowych. Uziemianie części napędów odłączników napowietrznych. Zerowanie — wykorzystanie płaszczki ołowianego kabla. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 3, str. 65—71, 1 rys. A. M.

234 621.315.2:621.357

**Dispositifs de mesure et de contrôle employés dans la protection des canalisations souterraines contre l'électrolyse. Guery F.** — Zabezpieczenie instalacji podziemnych przed elektrolizą. Opis urządzeń pomiarowych i kontrolnych. Pomiar oporności złącz izolujących. Pomiar prądów błądzących. Opis i wyniki pomiarów dokonanych w sieci gazowej. Pomiar okresowe do celów kontrolnych. Pomiar prądów błądzących w okresie jazdy tramwajów i w czasie przerwy w ruchu tramwajowym. Pomiar różnic potencjałów po obu stronach złącza izolującego oraz pomiędzy różnymi przewodami w ziemi. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 8, str. 303—309, 6 rys. A. M.

235 620.191.2

**La protection cathodique. Mayor Y.** — Zabezpieczenie podziemnych instalacji przed korozją (zabezpieczenie katodowe). Przyczyny i przebieg zjawiska korozji. Zasada zabezpieczenia katodowego. Dopuszczalne różnice potencjałów pomiędzy urządzeniem zabezpieczeniowym i ziemią. Wytyczne rozmieszczenia elektrod. Dobór źródła napięcia potrzebnego do zabezpieczenia instalacji. Przykłady zastosowania zabezpieczenia do przewodów wodnych, zbiorników, kabli elektrycznych. Literatura. — *Electricité*, 1948, nr 143, str. 165—170, 5 rys. A. M.

236 621.314.2:621.316.925

**À propos de la sélection par verouillage entre les protections de transformateurs et les protections de lignes. Savatier J.** — Zagadnienie koordynacji działania przekładników zabezpieczających linie elektryczne i transformatory. Zastosowanie metody blokowania. Przykłady zastosowania. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 3, str. 102—104, 3 rys. A. M.

237 621.316.268-78

**L'organisation de la sécurité dans une exploitation de transformation et de répartition d'énergie électrique. Jumiér M.** — Organizacja bezpieczeństwa pracy w francuskim zakładzie rozdzielczym. Metody zabezpieczania przed wypadkami w podstacjach — tablice ostrzegawcze, zamknięcie celek wysokiego napięcia, sposoby uziemiania. Zabezpieczenie przed błędnym połączeniem schematu — oznaczenia aparatury rozdzielczej, układ napędów aparatury. Sprzęt specjalny — drążki izolacyjne, chodniki, rękawice gumowe, wskaźniki neonowe, uziemiacze. Organi-

zacja pracy w urządzeniach elektrycznych wysokiego napięcia. Opis procedury zlecenia pracy. Sprawdzanie wskaźników neonowych na specjalnych aparatach. Opis tych aparatów. Organizacja pracy w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia. Statystyka wypadków w okresie 1943—1946. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 9, str. 351—355, 1 tabl. A. M.

#### Miernictwo elektryczne

238 621.317.081

**O sistemach jedinice izmerenja elektricheskich i magnitnykh wielichyn. Kałantarow P. L.** — Układy jednostek wielkości elektrycznych i magnetycznych. Określenie jednostki. Układy jednostek. Wzory zależności pomiędzy wielkościami elektrycznymi i magnetycznymi, wyrażone w rozmaitych układach jednostek. Układy bezwzględne (CGSE i CGSM) i praktyczne. Literatura. — *Elektrichestvo*, 1948, nr 1, str. 17—26. A. M.

239 621.317.785:621.3.017.6

**O poteriach elektroenergii w swiazi z pogriesznostiami priborow uczoła u bytowych potrebitielej. Serbinowski G. W., Jochwidow E. S.** — Analiza strat energii, związanych z uchybami liczników u odbiorców przy przeciążeniach i obniżonym napięciu. Orientacyjne obliczenie strat. Sposoby uniknięcia niewłaściwego działania liczników. — *Elektrichestvo*, 1948, nr 1, str. 52—55, 5 rys. A. M.

240 621.317.39

**Les extensomètres à résistance électrique. Goethals R.** — Tensometry oporowe. Zasada działania przyrządu do pomiaru sił mechanicznych. Opis rozwiązań praktycznych. Sposób dokonywania pomiarów. Układy pomiarowe. Zastosowanie tensometrów oporowych. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 9, str. 375—379, 9 rys. A. M.

241 621.317.39:621.317.733

**Adaptation du pont de Wheatstone aux mesures faites avec les jauges d'effort. Zelbstein U.** — Zastosowanie mostku Wheatstone'a do pomiarów, dokonywanych tensometrami oporowymi. Dobór elementów mostku: czułość i oporność galwanometru, oporności gałęzi mostku. Oporności tensometrów. Wytyczne dla pomiarów statycznych i dynamicznych. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 8, str. 337—340, 2 rys. A. M.

242 621.317.7:621.311.176

**Schalttafel-Messinstrumente für Kommandoräume. Grezlet R.** — Rozwój konstrukcji aparatów pomiarowych przeznaczonych dla nastawni. Wybór zasady działania przyrządu. Wymiary przyrządu z punktu widzenia wyzyskania miejsca. Przyrządy profilowe i kwadratowe. Przyrządy wieloskalowe. Przyrządy rejestrujące. Wygląd nowoczesnej nastawni. Przykłady właściwego nowoczesnego rozplanowania pól nastawni. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 25, str. 827—831, 12 rys. A. M.

243 621.317.715

**Galvanomètre immergé antivibratoire. Picard M.** — Opis specjalnego typu galwanometru odpornego na drgania mechaniczne. Zasada uodpornienia — zanurzenie układu pomiarowego w płynie ( $C_2Cl_4$ ). Szczegóły konstrukcyjne. Wyniki badania układu optycznego, czułości, dokładności i tłumienia. Zastosowanie przyrządu. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 4, str. 141—146, 12 rys. A. M.

244 621.317.733

**Emploi du pont de Wheatstone pour la mesure et la régulation des températures: application au chauffage des immeubles. Rives J.** — Zastosowanie mostku Wheatstone'a do pomiaru i regulacji temperatury. Elektryczne metody pomiaru temperatur, oparte na zasadzie zmiany oporności elektrycznej i zjawiska termoelektryczności. Metoda oporowa pomiaru. Dobór właściwego materiału sondy. Zastosowanie mostku Wheatstone'a w układach pomiarowych. Czułość układów mostkowych. Urządzenia regulacyjne sterowane układem mostkowym. Zastosowania regulacyjne. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 5, str. 181—189, 6 rys. A. M.

245 621.317.788

**Dynamomètre électromagnétique pour l'enregistrement des variations instantanées des efforts de coupe. Ru-**

**dolph M.** — Opis zasady działania i konstrukcji dynamometru elektromagnetycznego dla badania szybkich zmian sił. Zasada działania oparta na zjawisku magnetostrykcji. Opis aparatu pomiarowego, składającego się z właściwego dynamometru, wzmacniacza i urządzenia rejestrującego. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 1, str. 24—26, 5 rys. A. M.

246 621.317.788

**Dynamomètre piézoélectrique pour l'enregistrement des variations des efforts de coupe.** **Naslin P.** — Opis zasady działania i konstrukcji dynamometru piezoelektrycznego. Własności piezoelektryczne kwarcu. Wytrzymałość mechaniczna płytek kwarcu. Trudności praktycznego zastosowania: zagadnienie izolowania, pomiaru b. niewielkich ładunków i stateczności amplifikatora. Opis przyrządu piezoelektrycznego — dynamometr piezoelektryczny, wzmacniacz, urządzenie pomiarowe, oscylograf. Wyniki prób i działania przyrządu. Zakres zastosowania. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 9, str. 361—364, 5 rys. A. M.

247 621.315.5.018.44

**Méthode rapide de mesure de faibles chutes de tension en courant alternatif; application à l'étude de l'effet pelliculaire.** **Renau d J.** — Zagadnienie związane ze zjawiskiem naskórkowości. Urządzenia pomiarowe dla badania bardzo małych spadków napięć zmiennych. Rozważania teoretyczne i sprawdzenie doświadczalne rozplywu prądów. Analiza teoretyczna i badania doświadczalne nad zjawiskiem naskórkowości w przewodach. Rozkład prądu w przekroju przewodnika przy bardzo dużych gęstościach prądów. Teoria i przykład liczbowy. Wyniki doświadczalne rozkładu prądu w szynach miedzianych. Rozkład prądu w przewodach równoległych i wpływ wzajemnego kierunku przepływu. Zastosowanie wyników rozważań do konstrukcji aparatury na duże natężenia prądów. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 1, str. 5—23, 28 rys. A. M.

248 621.3.017.3:621.317

**Iron-loss measurements by a. c. bridge and calorimeter.** **Greig J., Kayser H.** — Metody kalorymetryczne pomiaru strat magnetycznych: metoda szybkości wzrostu temperatury kalorymetru, metoda pomiaru całkowitej ilości ciepła, metoda adiabatyczna, metoda temperatury końcowej (statyczna), kalorymetr różnicowy, metoda przepływu cieczy. Opis kalorymetru i pomiarów kalorymetrycznych. Źródła błędów: położenie elementu grzejnego (dla kalorymetru), izolacja, wzajemne oddziaływanie próbki i kalorymetru, przewody zasilające, chłodzenie, zjawiska wtórne. Opis układu kalorymetru. Pomiar strat w żelazie przy pomocy mostka Owena (wpływ wyższych harmonicznych). Porównanie wyników z obu metod pomiarowych. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 44, str. 205—217, 2 tabl., 9 rys. Z. S.

249 621.317.32

**A voltmeter for the measurement and comparison of peak and r. m. s. values of recurrent voltage waves.** **Garfitt D. E. M.** — Opis obwodu woltmierzowego do pomiaru napięcia stałego (uwzględnienie współczynnika tętnienia) oraz wartości szczytowej i skutecznej napięcia zmiennego (50 c/s). Rozszerzenie zakresu przyrządu (200—1000 V) do 120 kV przy pomocy dzielnika napięcia. Części składowe: przyrząd elektrostatyczny, dioda prostownicza i kondensator. Cechowanie woltmierz i dzielnika napięcia. Dokładność: dla prądu stałego  $\pm 2\%$ , dla 50 c/s  $\pm 3\%$ , dla współczynnika szczytu  $\pm 1\%$ , dla napięć tętniących 10% różnicy pomiędzy wartością najmniejszą i największą. Wnioski. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 46, str. 407—410, 2 rys. Z. S.

#### Taryfy elektryczne

250 621.317.8

**Comment doit-on tenir compte de la puissance et de l'énergie réactives dans la tarification de l'énergie électrique.** **Iliovici A.** — Zagadnienie energii i mocy biernej w taryfach. Moc bierna i metody jej pomiaru w układach jedno-, dwu- i trójfazowych. Dobór taryfy, uwzględniającej pobór mocy biernej. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 7, str. 277—286, 6 rys. A. M.

251 621.317.8

**Nouvelle formule de tarification de l'énergie électrique en fonction du facteur de puissance instantané de la charge.** **Sorez E., Guerre L.** — Nowa taryfa uwzględ-

nijąca wielkość mocy chwilowej obciążenia. Zasada taryfy. Opis układu pomiarowego i zasady jego działania. Znaczenie gospodarce nowej taryfy. Zestawienie stosowanych taryf, uwzględniających wpływ współczynnika mocy. Opłacalność stosowania kompensacji. Zestawienie wyników. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 4, str. 135—140, 2 tabl., 8 rys. A. M.

252 621.317.8

**Nowy rodzaj taryfy elektrycznej (taryfa kwadratowa).** **Steinhaus H.** — Omówienie dotychczas stosowanych taryf elektrycznych. Pojęcie nacisku taryfy. Istota taryfy kwadratowej i jej zastosowanie w typowych przypadkach odbioru energii elektrycznej. Obliczenia zapłaty przy taryfie kwadratowej na drodze mechanicznej. Obliczenie ceny średniej. Wymiana i sprzedaż wzajemna. Zagadnienie zapłaty za energię bierną. Przegląd zalet taryfy kwadratowej. Literatura. — *Przegl. Elektr.*, 1948, nr 9, str. 305—312, 3 tabl., 1 rys. J. W.

253 621.317.8

**Taryfa kwadratowa w świetle możliwości praktycznego jej zastosowania.** **Klärner T.** — Podstawowe założenia taryfy. Rozdział kosztów własnych między odbiorców a wartości energii dla odbiorcy. Wyrównanie krzywej produkcji. Taryfa kwadratowa dla odbioru przemysłowego. Klauzula  $\cos \varphi$  w taryfie kwadratowej. Rozliczenia międzyzakładowe. Umowna jednostka pomiarowa. Technika wystawiania rachunków. Wnioski ze statystyki taryfy kwadratowej i jej możliwości zastosowania. — *Przegl. Elektr.*, 1948, nr 9, str. 312—315, 2 tabl. J. W.

#### Magnesy i cewki

254 621.318.2:517

**Raszczot elektriczeskich cepiej z ucetom gisterczisa.** **Bessonov L. A.** — Metody analitycznego ujęcia krzywej magnesowania i pętli histerezy. Zarys historyczny zagadnienia. Metody autora i ich zastosowanie do obliczania układów z uwzględnieniem pętli histerezy. Literatura. — *Elektriczestwo*, 1948, nr 1, str. 45—51, 8 rys. A. M.

255 621.318.34.018.3

**Urawnienia harmonicznych složnoj kriwoj toka w cepi z żelezom.** **Woskresenski A. A.** — Analityczne przedstawienie krzywej prądu w obwodach z żelazem. Obliczenie wartości indukowanej siły elektromotorycznej. Przykład liczbowy. — *Elektriczestwo*, 1948, nr 1, str. 55—57. A. M.

256 621.318.22

**Polarization phenomena in nickel-iron alloys, and the effective elimination.** **Butler O. I.** — Magnetyzm szczątkowy i polaryzacja magnetyczna stopów żelazo-niklowych. Własności krzywej magnesowania blachy (warstwy) z „mumetalu“ o grubości 0,524 mm i zmienność w czasie wartości chwilowej i średniej podstawowej harmonicznej indukcji magnetycznej (w danym punkcie warstwy). Wartość szczytowa podstawowej harmonicznej indukcji. Zmiana rozkładu przestrzennego indukcji magnetycznej w czasie przy częstotliwości 50 i 5000 c/s. Wartość szczytowa harmonicznych indukcji magnetycznej. Wpływ wyższych harmonicznych natężenia pola na daną harmoniczną indukcji w danym punkcie warstwy (skutkiem zmiennej przenikalności warstwy). Zależność wyższych harmonicznych indukcji od prądów wirowych. Metody rozmagnesowania stopu żelazo-niklowego: przy częstotliwości technicznej (regulator napięcia, autotransformator o zmiennej przekładni), przy częstotliwości malejącej (przetwornica dwumaszynowa), przy niskiej częstotliwości i przy zmiennym kierunku prądu stałego. Porównanie metod rozmagnesowania i różnice pomiędzy rozmagnesowywaniem blachy krzemowej i stopu żelazo-niklowego. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 47, str. 627—635, 8 rys. Z. S.

#### Trakcja elektryczna

257 621.331

**Réalisations et idées nouvelles en traction électrique.** **Garreau M.** — Trakcja elektryczna we Francji. Opis podstacji elektrycznych i taboru. Dobór mocy podstacji i rozmieszczenie podstacji wzdłuż trasy. Zagadnienia eksploatacyjne. Stan liczbowy personelu podstacji i automatyzacja rozrządu. Opis automatyzacji podstacji. Zasilanie podstacji wysokim napięciem. Przetwornice i prostowniki.



Opis centralnej nastawni podstacji. Krótki opis kilku podstacji trakcyjnych. Charakterystyka lokomotyw elektrycznych i wagonów silnikowych. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1948, nr 77, str. 23—34, 11 rys. A. M.

258 621.331

**The electrification of the Warsaw railway junction.** **Podolski J.** — Porównanie pomiędzy warunkami komunikacyjnymi węzła warszawskiego przed i po elektryfikacji (przez firmy angielskie) w latach 1933—38. Źródła mocy. Podstacje: aparatura łączeniowa wysokiego napięcia, prostowniki, aparatura łączeniowa prądu stałego, zabezpieczenia, sterowanie itp. Podział linii zelektryfikowanej na chronione (wyłączniki szybkie) odcinki. Linia napowietrzna: opis i warunki pracy. Lokomotywy elektryczne i wagony silnikowe; opis konstrukcji i wyposażenia. *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 47, str. 505—522, 5 tabl., 7 rys. Z. S.

259 621.331.5.025.1

**Aperçu sur le problème de la traction électrique par courant monophasé à la fréquence de 50 Hertz.** **Garreau M.** — Uwagi nad zagadnieniem traktacji elektrycznej o zasilaniu jednofazowym na 50 okr./sek. Stan obecny traktacji elektrycznej francuskiej (prąd stały, 1500 V). Zalety stosowania prądu zmiennego. Zagadnienia techniczne, związane z zastosowaniem prądu zmiennego: zasilanie, zakłócenia w sieci telefonicznej, trudności związane z komutacją. Przekształcanie prądu zasilającego. Opis prototypów lokomotyw elektrycznych. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 7, str. 271—275. A. M.

260 621.332.31

**Recherche des densités de courant admissibles dans les lignes de contact pour tramways électriques ou trolleybus.** **Albert L.** — Badanie dopuszczalnej gęstości prądu w przewodach jezdnych tramwajowych lub trolejbusowych. Analiza strat ciepła przez promieniowanie i konwekcję. Wpływ szybkości wiatru i działania promieni słonecznych. Zestawienie granicznych wielkości gęstości prądu, podanych w literaturze, w funkcji przekroju. Zależność wytrzymałości od dopuszczalnej temperatury największej dla różnych materiałów przewodowych. Zestawienie wyników. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 7, str. 293—300, 4 rys. A. M.

261 621.332.3

**L'usure des fils de contact des lignes de tramways ou de trolleybus.** **Albert L.** — Zużycie przewodów sieci górnej tramwajów i trolejbusów. Badanie ścieralności przewodów. Wyniki badań, przeprowadzonych w sieci paryskiej w okresie 1925—1935. Analiza wpływu rodzaju uchwyty na długość życia przewodu. Wpływ sztywności przewodu. Dobór wielkości rozpiętości przęsła. Metoda obliczania mechanicznego przewodów. Analiza stanu przewodu i uchwyty w chwili przesuwania się zbieracza prądu. Wpływ wielkości natężenia prądu odbieranego na stan zużycia przewodów. Możliwości normalizacji konstrukcji przewodów sieci tramwajowej i trolejbusowej na podstawie obecnej znajomości zagadnienia. — *Rev. Gén. Electr.*, 1948, nr 9, str. 365—375, 22 rys. A. M.

262 621.335.11

**Die Ausnützung der Adhäsion neuerer schweizerischer Elektrolokomotiven grosser Leistung.** **Kummer W.** — Analiza wyzyskania przyczepności nowych szwajcarskich lokomotyw elektrycznych wielkiej mocy w ruchu towarowym. Porównanie wielkości charakterystycznych danych technicznych 12 typów lokomotyw. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 11, str. 367—369, 1 rys. A. M.

263 621.337.522

**The theory and practice of regenerative braking of d. c. locomotives, with particular reference to multiple-unit operation.** **Hahn O. H.** — Ogólna charakterystyka i zasady hamowania w traktacji elektrycznej. Idealne warunki hamowania odzyskowego w lokomotywach elektrycznych traktacji prądu stałego. Zastosowanie przekształtników (inwertorów). Charakterystyka hamowania odzyskowego: zależność pomiędzy prądem twornika i prądem wzbudzącym (krzywa regulacji). Linia stabilizacyjna określająca wartość stosunku obu prądów przy stałych obrotach. Obwody hamowania odzyskowego z wzbudzeniem własnym. Praca silnikowa przy układzie hamowania odzyskowego.

Zagadnienie równomierności obciążenia w układach o większej liczbie silników (w układzie hamowania odzyskowego) pracujących jako prądnice na sieć. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1948, cz. II, nr 43, str. 85—92, 18 rys. Z. S.

264 34:629.113.62(494)

**Législation et normalisation du trolleybus.** **Bourgeois R.** — Ustawodawstwo i normalizacja w dziedzinie komunikacji trolejbusowej. Stan ustawodawstwa trolejbusowego szwajcarskiego. Analogia z ustawodawstwem kolejowym. Znaczenie normalizacji. Projekt normalizacji trolejbusów z punktu widzenia ich przeznaczenia dla komunikacji miejskiej i dalekobieżnej. Charakterystyczne dane techniczne wozów. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 2, str. 40—43. A. M.

265 629.113.62.003

**Motifs d'ordre technique et économique justifiant le choix de moyens de transport publics.** **Remy X.** — Wybór właściwego rodzaju środków transportowych komunikacji pasażerskiej. Analiza przypadku zastosowania trolejbusu w komunikacji międzymiastowej Fryburg—Favagny i przyczyny zastąpienia trolejbusu przez autobus. Porównanie tramwajów i trolejbusów w komunikacji miejskiej Fryburga. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 2, str. 43—47. A. M.

266 629.113.62.003

**Betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Grundprobleme des Personentransportes im Ortsverkehr.** **Werdenberg W.** — Zadania komunikacji miejskiej. Podstawy techniczne racjonalnej komunikacji. Szybkość handlowa i jej wpływ na zapotrzebowanie ilości środków transportowych. Analiza czynników, od których zależy szybkość handlowa. Ilość miejsc. Wpływ ilości wagonów na czas postojów. Porównanie tramwaju i trolejbusu. Omówienie i porównanie danych technicznych nowoczesnych tramwajów i trolejbusów. Analiza kosztów opłacalności. Omówienie zasady i zastosowania napędu żyroskopowego (gromadzenie energii w kole zamachowym). — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 2, str. 30—39, 23 rys. A. M.

267 629.113.62.003

**Betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Grundprobleme des Ueberland-Trolleybusbetriebes für die Personen- und Güterbeförderung.** **Storrer W.** — Zagadnienia techniczne i gospodarcze komunikacji międzymiastowej trolejbusowej osobowej i towarowej. Uwagi ogólne o komunikacji międzymiastowej. Techniczne zagadnienia komunikacji trolejbusowej międzymiastowej. Niebezpieczeństwo porażenia przy wysokim napięciu zasilającym i sposoby uniknięcia porażenia. Zagadnienia gospodarcze — szybkość jazdy, pojemność wozów. Zastosowanie komunikacji trolejbusowej do przewozu bagażu, poczty, zwierząt i towarów. Przykłady zastosowania. Zagadnienia kosztów trolejbusowej komunikacji międzymiastowej. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1948, nr 2, str. 47—58, 23 rys. A. M.

### Napęd elektryczny

268 621.34:621.316.7.07.-58

**Régulation de vitesse et marche automatique des machines d'extraction.** **Carton E.** — Zagadnienia regulacji szybkości i automatyzacji napędu maszyn wyciągowych. Ogólna charakterystyka pracy maszyn wyciągowych. Opis i własności układu o napędzie ręcznym. Urządzenie regulacji szybkości. Automatyzacja napędu. Opis urządzenia wyciągowego kopalni w Amermont. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1948, nr 77, str. 44—52, 11 rys. A. M.

269 621.34:621.316.7.07.-58

**Perfectionnement au couplage Ward-Leonard pour machines d'extraction par l'emploi d'une excitation amplidyne.** **Junger R.** — Zastosowanie układu wzbudzenia amplidyne do maszyn wyciągowych w układzie Ward-Leonarda. Korzyści stosowania układu Leonarda. Opis amplidyne i jej zalety w porównaniu ze zwykłym układem wzbudzącym: znacznie większa szybkość regulacji, mniejsza moc własna. Zastosowanie amplidyne jako regulatora. Schemat wzbudzenia układu Ward-Leonarda. Wy-

niki zastosowania amplitudyny. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 77, str. 35—43, 1 tabl., 1 rys. A. M.

### Grzejnictwo elektryczne

270 621.364  
**Nauczno-techniczne problemy przemysłowej elektrotermii.** Sisojan G. A. — Zagadnienia naukowo-techniczne elektrotermii przemysłowej w Związku Radzieckim. Zagadnienia związane z zasilaniem; przebiegi obciążeń w czasie; regulacja sieci, moce bierne i współczynnik mocy, zagadnienie łuku elektrycznego. Zagadnienia związane z eksploatacją transformatorów, wartości niskich napięć i ilości zaczepek. Elektrody, konstrukcja zacisków, automatyka regulacji, zagadnienia technologiczne. — Elektrichestwo, 1948, nr 3, str. 3—7. A. M.

271 621.364.15  
**Le chauffage par induction à haute fréquence. Application à la théorie des fours de fusion.** Renouard M. — Ogrzewanie indukcyjne wielką częstotliwością. Teoria zjawisk elektromagnetycznych w przewodach, poddanych działaniu pola wielkiej częstotliwości. Równania Maxwella. Obliczenie teoretyczne mocy pola elektr. Wpływ wymiarów i oporności metalu na skuteczność ogrzewania. Zasada działania pieca wielkiej częstotliwości. Obliczenie oporności zastępczej. Poprawa współczynnika mocy. Wykres pracy. Zmiana oporności pieca podczas pracy topienia metalu. Sprawność pieca wielkiej częstotliwości. Analiza strat elektrycznych i cieplnych. Sprawność energetyczna. Przykłady danych charakterystycznych pieców. Rev. Gén. Electr., 1948, nr 8, str. 322—337, 1 tabl., 10 rys. A. M.

272 621.364.3  
**Beispiel einer elektrischen Strahlungsheizung.** Hofstetter H. — Opis urządzenia ogrzewania elektrycznego budynku szkolnego. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 9, str. 307—308, 1 rys. A. M.

### Elektronika

273 621.385.832:778.5  
**Ueber die Eignung der Kathodenstrahlröhre mit Fluoreszenzschirm für die Fernsehprojektion in Kinotheatern.** Fischer F. — Rozważania nad przydatnością rur katodowych świetlających do aparatów projekcyjnych w kinoteatrach. Rozważania nad wielkościami charakterystycznymi oświetlenia kinoteatrów. Własności ekranu, zapotrzebowanie światła, ostrość obrazu. Obliczenia matematyczne. Zestawienie porównawcze wielkości charakterystycznych dla 12 dużych kinoteatrów. Rozważania nad barwą światła. Dobór właściwej barwy światła. Analiza teoretyczna własności rur świetlających. Schemat urządzenia obiektywu. Zasady optyki rury Brauna. Dyskusja podanych wzorów i wyniki praktyczne. Wykaz literatury przedmiotu. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 15, str. 468—480, 11 rys. A. M.

274 621.385.833  
**Les applications du microscope électronique.** Déribère M. — Zastosowania mikroskopu elektronowego. Opis sprzętu pomocniczego do mikroskopii elektronowej. Przygotowywanie preparatów mikroskopowych. Badanie powierzchni metali, preparatów organicznych i biologicznych. Różne inne zastosowania specjalne. Literatura. — Électricité, 1948, nr 137, str. 51—55, 11 rys. A. M.

### Telekomunikacja

275 621.398.2  
**Mietod dinamiczeskoj kompensacji w awtomatike i telemechanike.** Temnikow F. E. — Kompensacja dynamiczna w automacie i telemechanice. Sumowanie przy zastosowaniu systemu kompensacji dynamicznej. Zastosowanie do rejestracji. Układy specjalne do „zapamiętywania” wartości mierzonych. Zastosowanie w urządzeniach do pomiaru i napędu zdalnego. — Elektrichestwo, 1948, nr 3, str. 8—14, 8 rys. A. M.

276 621.396.9  
**Radar i jego zastosowanie.** Miączyński A. — Podstawy fizyczne radaru. Nadajnik i odbiornik i ich działanie. Skala elektroniczna. Długość stosowanych fal. Nor-

malna stacja radarowa. Zastosowanie radaru w czasie wojny i pokoju. — Przegl. Elektr., 1948, nr 6, str. 185—188, 8 rys. J. W.

277 621.398  
**Urządzenia telekomunikacyjne dla potrzeb polskiej sieci energetycznej.** Kühn H. — Obecny stan telekomunikacji w Polsce. Plan nowej sieci telekomunikacyjnej. System odcinkowy połączeń. Zasady działania połączeń telekomunikacyjnych. Urządzenia sprzęgające. Urządzenia nadawczo-odbiorcze wielkiej częstotliwości. Aparatura do wywoływania zdalnego. Urządzenia telemetryczne, telekontrolne i dalekopisowe. Urządzenia do wybiórczego zabezpieczenia linii. Konstrukcja urządzeń. Łącznica automatyczna, jej opis i zasada działania. Urządzenia zasilające. Literatura. — Przegl. Elektr., 1948, nr 1/2, str. 28—40, 21 rys. J. W.

278 621.398:621.311  
**Projekt ogólnokrajowego rozrządu elektroenergetycznego w Polsce.** Fischer W. — Zadania projektowanej komunikacji zdalnej. Charakterystyka układu energetycznego w Polsce oraz jego tendencje rozwojowe. Pierwszy etap realizacji telemetrii dla celów rozrządu. Ogólna charakterystyka meldunku o stanie wyłączników według systemu Ericssona. Podział Polski na okręgi rozrządowe. Wyposażenie rozrządnictwa. Zespoły zasilające urządzenia telekomunikacyjne wielkiej częstotliwości. Rozrząd elektroenergetyczny a plan sześciolletni. — Przegl. Elektr., 1948, nr 10/11, str. 393—403, 4 tabl., 8 rys. J. W.

279 621.398.2  
**Die Fernwirkanlage Waltensburg-Ilanz.** König W., Walder E., Masshardt H. — Opis urządzenia sterowania zdalnego i telemetrii, zainstalowanego na podstacji sprzęgającej 55/8,5 kV w Ilanz. Schemat elektryczny podstacji, wykaz wielkości mierzonych i przekazywanych do elektrowni Waltensburg. Zestawienie możliwych przełączeń, sterowanych z elektrowni Waltensburg. Schemat urządzenia wysokiej częstotliwości. Opis techniczny urządzenia i zasada działania. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1948, nr 19, str. 635—640, 7 rys. A. M.

### Spawanie elektryczne

280 621.791  
**Elektriceskaja swarka i riezka pod wodoj.** Hrenow K. K. — Elektryczne spawanie i cięcie metali pod wodą; opis rozwoju badań prowadzonych w Moskiewskim Instytucie Elektrotechnicznym im. Dzierżyńskiego od 1932 roku. Proces spawania pod wodą. Własności wytrzymałościowe spawu, skład chemiczny materiału, sposoby spawania. Cięcia metali pod wodą. Opis postępowania, dane charakterystyczne szybkości cięcia, zużycia elektrod oraz natężenia prądu w zależności od grubości materiału. Opis elektrod i uchwytów do elektrod, przystosowanych do pracy pod wodą. Zagadnienia bezpieczeństwa pracy. Literatura. — Elektrichestwo, 1948, nr 1, str. 27—36, 11 rys. A. M.

### Oświetlenie

281 628.9:03  
**Nomenclature photométrique dans le monde d'après-guerre.** Moon P., Spencer E. — Słownictwo oświetleniowe w okresie powojennym. Projekt normalizacji słownictwa oświetleniowego. Porównanie wielkości charakterystycznych, przyjętych przez C. I. E. (1938), I. E. S. (1941) oraz projekt autorów (1946). Normalizacja budowy słownictwa (końcówki charakterystyczne słów). Zestawienie tabelaryczne wielkości charakterystycznych w językach francuskim, angielskim, włoskim, hiszpańskim, portugalskim, niemieckim i rosyjskim. Literatura. Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, nr 85, str. 466—474, 6 tabl. A. M.

282 628.93  
**Moderne Beleuchtungsanlagen in Industrie, Handel und Gewerbe.** Kessler H. — Nowoczesna technika oświetleniowa w przemyśle, handlu i rzemiośle. Zadania, cele i właściwości oświetlenia sztucznego. Porównanie dawniej zalecanych i obecnie stosowanych jasności. Charakterystyka nowych źródeł światła. Wytyczne właściwego oświetlenia. Przykłady zastosowania lamp fluoryzujących. — Bull. Schweiz. Elektr. Ver., 1949, nr 3, str. 68—75, 8 str., 8 rys. A. M.

Uwagi do niniejszego projektu należy nadsyłać pod adresem Centralnego Zakładu Elektrotechniki PKN (Warszawa, Al. Stalina 27) w terminie do dnia 15 września 1950 roku.

Projekt opracowała XIV Komisja Przyrządów Grzejnych. W pracach Komisji brali udział: F. Ciborowski, J. Cieśliewicz, O. Klose (referent), Z. Liżewski, M. Mazur, Z. Pawłowski, T. Schwartz (przewodniczący), T. Skrzypek, B. Sochor, F. Sondij.

## **POLSKIE NORMY ELEKTROTECHNICZNE PN/E-06201**

# **ELEKTRYCZNE URZĄDZENIA GRZEJNE OPOROWE NISKIEGO NAPIĘCIA Z METALOWYMI ELEMENTAMI GRZEJNYMI (PRZEMYSŁOWE)**

### **PRZEPISY OGÓLNE\*)**

#### **1. POSTANOWIENIA OGÓLNE**

##### **1.1. Przedmiot normy.**

Przedmiot normy stanowią przepisy ogólne na elektryczne urządzenia grzejne oporowe, niskiego napięcia, z metalowymi elementami grzejnymi, do temperatur znamionowych nie przekraczających 1350° C, do użytku w laboratoriach, przemyśle, rzemiośle lub rolnictwie.

##### **1.2. Określenia.**

1.2.1. Elektryczne urządzenie grzejne jest to urządzenie składające się z grzejnika elektrycznego i jego wyposażenia.

1.2.2. Grzejnik elektryczny jest to przyrząd służący do wytwarzania ciepła z energii elektrycznej.

1.2.3. Element grzejny jest to część grzejnika służąca do przetwarzania energii elektrycznej w energię cieplną.

Element grzejny wymienny jest to element dający się wymienić przy pomocy narzędzi, bez uszkodzenia urządzenia.

Element grzejny łatwo wymienny jest to element dający się wymienić bez użycia narzędzi.

1.2.4. Wyposażenie grzejnika jest to zespół przyrządów i przyborów, służących do włączania, przelączania, wyłączenia i zabezpieczenia oraz do regulacji i kontroli grzejnika elektrycznego, łącznie z transformatorami i urządzeniami napędowymi w przypadku ich zastosowania.

1.2.5. Regulator temperatury (termoregulator) jest to przyrząd służący do utrzymywania określonej temperatury grzejnika.

\*) Wszelkie prawa przedruku zastrzeżone przez Polski Komitet Normalizacyjny.

Rozróżnia się regulatory temperatury:  
ręczne — wymagające obsługi,  
samoczynne — nie wymagające obsługi.

Wśród regulatorów samoczynnych rozróżniamy:

- a) z punktu widzenia działania:  
bezpośrednie — działające bez pośrednictwa przekaźników,  
pośrednie — działające za pośrednictwem przekaźników;
- b) z punktu widzenia zakresu temperatur:  
jednostopniowe — tj. mogące utrzymać tylko jedną temperaturę, na którą zostały zbudowane,  
nastawne — tj. umożliwiające nastawienie temperatury, którą mają utrzymywać,  
programowe — utrzymujące przebieg temperatury w czasie według z góry określonego planu.

1.2.6. Bezpiecznik cieplny jest to przyrząd samoczynnie wyłączający trwale grzejnik po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury.

1.2.7. Napięcie znamionowe grzejnika jest to napięcie, na które grzejnik został zbudowany i oznaczony.

1.2.8. Prąd znamionowy grzejnika jest to natężenie prądu, obliczone na podstawie mocy znamionowej i napięcia znamionowego.

1.2.9. Temperatura grzejnika jest to temperatura wnętrza użytkowego lub powierzchni użytkowej grzejnika.

1.2.10. Temperatura znamionowa grzejnika jest to najwyższa temperatura grzejnika, na którą został on zbudowany i oznaczony.

1.2.11. Temperatura robocza jest to temperatura panująca w określonym miejscu urządzenia grzejnego podczas ustalonej pracy grzejnika.

1.2.12. Czas rozgrzewu grzejnika jest to czas od chwili włączenia pod napięcie znamionowe suchego grzejnika o temperaturze otoczenia do chwili osiągnięcia temperatury znamionowej grzejnika, przy czym grzejnik znajduje się w normalnych warunkach pracy, lecz nie oddaje ciepła do celów użytkowych (np. grzejnik komorowy zamknięty i bez wsadu).

1.2.13. Praca ustalona jest to praca grzejnika przy ustalonym stanie temperatur roboczych.

1.2.14. Czas stygnięcia grzejnika jest to czas od chwili wyłączenia grzejnika do chwili zrównania się temperatur grzejnika i otoczenia.

1.2.15. Czas do półszczytu jest to czas od chwili wyłączenia grzejnika, nagrzanego w normalnych warunkach pracy do temperatury znamionowej, lecz nie oddającego ciepła do celów użytkowych, do chwili obniżenia się nadwyżki temperatury grzejnika ponad temperaturę otoczenia do połowy jej pierwotnej wartości.

1.2.16. Energia rozgrzewu grzejnika jest to energia (w kWh) zużyta w ciągu czasu rozgrzewu grzejnika.

1.2.17. Moc grzejnika zimnego jest to największa moc pobierana przez grzejnik w chwili jego włączenia przy napięciu znamionowym i temperaturze grzejnika równej temperaturze otoczenia ( $20 \pm 5^\circ \text{C}$ ).

1.2.18. Moc grzejnika gorącego jest to największa moc pobierana przy napięciu znamionowym przez grzejnik o temperaturze znamionowej.

1.2.19. Moc średnia rozgrzewu grzejnika jest to iloraz energii rozgrzewu grzejnika przez czas rozgrzewu.



1.2.20. Moc pracy jałowej grzejnika jest to średnia moc potrzebna do utrzymania suchego grzejnika w temperaturze znamionowej i w stanie ustalonym przy napięciu znamionowym i temperaturze otoczenia około 20°C, przy czym grzejnik znajduje się w normalnych warunkach pracy, lecz nie oddaje ciepła do celów użytkowych (np. grzejnik komorowy zamknięty i bez wsadu). Moc pracy jałowej mierzy się jako iloraz wskazań licznika energii elektrycznej przez odpowiadający tym wskazaniom okres czasu.

1.2.21. Moc znamionowa grzejnika jest to moc podana na tabliczce znamionowej grzejnika. Za moc znamionową uważa się moc grzejnika gorącego (1.2.18.).

1.2.22. Moc przyłączowa urządzenia grzejnego jest to największa moc pobierana przez urządzenie grzejne, a więc grzejnik i przyrządy stanowiące jego wyposażenie (wentylatory, napędy itp.), przy napięciu znamionowym.

1.2.23. Ciepło akumulacyjne grzejnika jest to energia (w kWh) nagromadzona w masie grzejnika znajdującego się w normalnych warunkach pracy, lecz nie oddającego ciepła do celów użytkowych w stanie pracy ustalonej, przy znamionowej temperaturze grzejnika i normalnej temperaturze otoczenia.

1.2.24. Pojemność całkowita komory grzejnika jest to objętość obliczona z wymiarów geometrycznych ogrzewanej przestrzeni grzejnika.

1.2.25. Pojemność użytkowa komory grzejnika jest to wielkość określająca największe dopuszczalne wymiary lub ciężar wsadu w komorze grzejnika.

1.2.26. Grzejnik odporny na wilgoć jest to grzejnik dostosowany do pracy w pomieszczeniach wilgotnych (wg PN/E-10).

1.2.27. Grzejnik wodoszczelny jest to grzejnik dostosowany do pracy w wodzie.

1.2.28. Grzejnik komorowy jest to grzejnik, którego ogrzewana przestrzeń jest odgraniczona od otoczenia ścianami izolującymi cieplnie i kórego elementy grzejne są związane konstrukcyjnie z tymi ścianami.

1.2.29. Piec elektryczny jest to grzejnik komorowy przeznaczony do procesów technologicznych, polegających na zmianie stanu skupienia (np. topienie), bądź na zmianie struktury (np. obróbka cieplna), bądź na reakcjach chemicznych (np. spalanie).

1.2.30. Ciepłarka jest to grzejnik komorowy przeznaczony do utrzymania w jego wnętrzu temperatury, stanowiącej czynnik katalizujący dla procesu odbywającego się w komorze (np. do wylęgania, sterylizacji, kielkowania).

1.2.31. Suszarka jest to grzejnik komorowy zaopatrzony w urządzenie wentylacyjne i przeznaczony do procesów odparowywania i suszenia.

1.2.32. Ogrzewacz jest to grzejnik nie posiadający przestrzeni ograniczonej ścianami izolującymi cieplnie, oddający wytworzoną energię cieplną na zewnątrz.

1.2.33. Ogrzewacz płytowy jest to grzejnik o powierzchni grzejnej płaskiej (np. do fabrykacji płyt bakielitowych, sklejanie dykty, odpuszczania stali taśmowej).

1.2.34. Ogrzewacz rurowy jest to grzejnik o powierzchni grzejnej w kształcie rury o dowolnym profilu (np. grzejnik nurkowy, kaloryfer, grzejniki do pras bakielitowych, wulkanizatorów i in.).

1.2.35. Ogrzewacz otokowy jest to grzejnik o kształcie pierścienia lub o powierzchni grzejnej obejmującej ogrzewane powierzchnie

od zewnątrz (np. ogrzewacz destylator, kociołek do topienia laku, ogrzewacz walców, palarka kawy).

1.2.36. Grzejniki specjalne są to grzejniki dostosowane do specjalnych procesów cieplnych bądź stanowiące część składową urządzenia maszyny lub przyrządu (np. do form do kapeluszy, kociołki odlewnicze do linotypów, do ogrzewania cechownic do opakowań, do ogrzewania pistoletów natryskowych, do odmrażania rur wodociągowych i in.).

### 1.3. Cechowanie.

1.3.1. Grzejnik. Na grzejniku należy podać w sposób trwały i czytelny następujące dane:

- a) nazwę lub znak wytwórni;
- b) oznaczenie typu;
- c) numer fabrykacyjny;
- d) znak ~ jeżeli grzejnik jest przeznaczony wyłącznie na prąd zmienny, zaś znak = jeżeli grzejnik jest przeznaczony wyłącznie na prąd stały; brak odpowiedniego znaku wskazującego rodzaj prądu oznacza, że grzejnik może być stosowany na prąd zarówno stały jak i zmienny;
- e) znak Y lub  $\Delta$  na grzejnikach trójfazowych;
- f) napięcie znamionowe lub granice napięć znamionowych (V);
- g) moc znamionową lub — w przypadku podania granic napięć znamionowych — granice mocy znamionowych (W, kW);
- h) temperaturę znamionową;
- i) schemat połączeń na grzejnikach przełączalnych na różne napięcia i na grzejnikach, których montaż lub obsługa wymaga znajomości układu połączeń;
- j) głębokość zanurzenia na grzejnikach zanurzalnych.

1.3.2. Elementy grzejne. Na elementach grzejnych wymiennalnych i łatwo wymiennalnych należy podać w sposób trwały i czytelny następujące dane:

- a) nazwę lub znak wytwórni,
- b) napięcie znamionowe,
- c) moc znamionową,
- d) temperaturę znamionową.

### 1.4. Normy związane.

- |           |  |
|-----------|--|
| PN/E-5    | Elektroenergetyczne przewody miedziane                         |
| PN/E-10   | Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego   |
| PN/E-40.1 | Przybory instalacyjne na napięcia do 500 V. Bezpieczniki.      |
| PN/E-40.2 | Przybory instalacyjne na napięcia do 500 V. Łączniki puszkowe. |

## 2. WYMAGANIA TECHNICZNE

### 2.1. Normalne napięcia znamionowe.

Urządzenia grzejne mają być budowane na następujące napięcia znamionowe: 4, 6, 12, 24, 42, 110, 127, 220, 2×220, 380 woltów, przy czym 2×220 V dotyczy tylko prądu stałego z uziemionym punktem zerowym, a 380 V tylko prądu zmiennego z uziemionym punktem zerowym.

### 2.2. Wytrzymałość na odchylenia napięcia roboczego.

Urządzenie grzejne powinno wytrzymywać bez uszczerbku dla jego dalszej używalności trwałe podwyższenie napięcia roboczego o 10% napięcia znamionowego, jeżeli normy szczegółowe nie postanawiają inaczej.

### 2.3. Prąd upływowy.

Prąd upływowy między zaciskami przyłączowymi a obudową metalową grzejnika nie może przekroczyć wartości:

3 mA w grzejnikach o mocy znamionowej nie przekraczającej 3 kW,  
1 mA na każdy kW mocy w grzejnikach o mocy znamionowej większej od 3 kW.

### 2.4. Wytrzymałość elektryczna.

Grzejnik musi wytrzymać w ciągu 1 minuty bez przeskoku i przebiecia napięcie zmienne na 50 c/s, praktycznie sinusoidalne, o wartości:

500 V — jeżeli napięcie znamionowe grzejnika nie przekracza 40 V,  
1500 V — jeżeli napięcie znamionowe grzejnika przekracza 40 V.

### 2.5. Dopuszczalne odchyłki poboru mocy.

Przy napięciu znamionowym i przy temperaturze znamionowej dopuszczalne odchyłki od znamionowego poboru mocy nie mogą przekroczyć: 20% w grzejnikach o mocy znamionowej nie przekraczającej 125 W, 10% w grzejnikach o mocy znamionowej ponad 125 W do 5 kW, 5% w grzejnikach o mocy znamionowej ponad 5 kW.

### 2.6. Materiały.

2.6.1. Materiały izolacyjne muszą być trwale odporne na temperatury co najmniej takie, jakie powstają przy próbie na przeciążenie (3.5.7.).

Ponadto materiały izolacyjne, stykające się z częściami będącymi pod napięciem, muszą zachować przy określonych wyżej temperaturach dostateczne własności izolacyjne pod względem elektrycznym.

Materiały izolacyjne ceramiczne mają odpowiadać wymaganiom PN/E-...

2.6.2. Stosowanie topliwej zalewy izolacyjnej jest dopuszczalne jedynie w tych miejscach urządzenia grzejnego, gdzie temperatura w czasie pracy grzejnika nie może osiągnąć temperatury topnienia zalewy.

2.6.3. Metale. Połączenia wewnętrzne w obrębie grzejnika muszą być wykonane z takiego materiału i w taki sposób, aby nie ulegały uszkodzeniom pod wpływem temperatury, przy której normalnie pracują.

Stal i aluminium mogą być stosowane jedynie w temperaturze nie przekraczającej 100°C, a miedź i mosiądz w temperaturze nie przekraczającej 200°C.

Złącza stałych i rozłącznych nie należy wykonywać z aluminium.

### 2.7. Budowa.

2.7.1. Bezpieczeństwo dla otoczenia. Grzejniki muszą być tak zbudowane, aby w czasie ich pracy nie powstawało żadne niebezpieczeństwo dla otoczenia, a więc ani niebezpieczeństwo pożaru lub wybuchu, ani niebezpieczeństwo oparzenia lub porażenia.

Urządzenia grzejne, przy których pracy wydzielają się opary lub wyciegi przykre albo szkodliwe dla otoczenia, muszą być wyposażone w odpowiednie urządzenia zapewniające skuteczne odprowadzenie tych oparów lub wycieków.

Urządzenia grzejne, przy których pracy tworzą się substancje mogące eksplodować, muszą być wyposażone w odpowiednie urządzenia wentylacyjne lub wykonane w sposób zabezpieczający przed skutkami mogącej nastąpić eksplozji. Na grzejnikach takich lub w ich bezpośredniej bliskości musi być umieszczona czytelna i łatwo zrozumiała instrukcja obsługi lub odpowiedni znak ostrzegający o możliwości eksplozji.

2.7.2. Wytrzymałość mechaniczna. Grzejniki muszą być tak wykonane, aby wskutek ich użytkowania, rozgrzewania i innych

wpływów występujących przy normalnej pracy grzejnika nie nastąpiło uszkodzenie lub zniszczenie istotnych części konstrukcyjnych, np. obluźowanie, szkodliwe przesunięcie, spaczenie, przekrzywienie.

### 2.8. Bezpieczeństwo dotyku.

Części urządzenia grzejnego będące pod napięciem muszą być chronione od dotyku.

Polakierowanie ani poemaliowanie nie stanowi dostatecznej ochrony przed niebezpieczeństwem dotyku.

Jeżeli dotknięcie części będących pod napięciem jest możliwe po zdjęciu osłony grzejnika, osłona ta musi być tak umocowana, aby jej zdjęcie nie było możliwe bez użycia narzędzi.

Jeżeli przy pracy grzejnika komorowego jest możliwe dotknięcie wsadem lub narzędziami używanymi przy obsłudze przewodów elektrycznych wewnątrz komory, to grzejnik powinien być wyposażony w urządzenie wyłączające samoczynnie elementy grzejne w chwili otworzenia drzwi lub zdjęcia zasłony. Na małych grzejnikach nie mających drzwi ani zasłony należy umieścić wyraźny, trwały i widoczny przy obsłudze napis nakazujący wyłączenie elementów grzejnych w czasie wykonywania wszelkich czynności wewnątrz komory.

Wszystkie dostępne dla dotyku części metalowe urządzenia grzejnego, które podczas pracy mogą przypadkowo znaleźć się pod napięciem, muszą być metalicznie połączone ze sobą oraz z zaciskiem uziomowym.

### 2.9. Wprowadzenie i przyłączenie przewodów.

2.9.1. Wprowadzenie przewodów. Otwory do wprowadzenia przewodów przyłączowych do grzejników ruchomych i przenośnych muszą być tak wykonane, aby przewód nie był narażony na zginanie pod ostrym kątem. Jako ochrony przed zginaniem nie należy stosować węzłów metalowych. Jeżeli stosuje się metalową spiralę ochronną, to średnica jej w świetle musi wynosić co najmniej 10 mm, a długość ma być co najmniej 50 mm, lecz nie więcej niż 100 mm. Spirala ochronna nie może mieć ostrych krawędzi. Jeden koniec spirali ochronnej musi być umocowany w otworze do wprowadzenia przewodów przyłączowych w sposób dobrze zabezpieczający przed obluźowaniem. Jeżeli luźny koniec spirali jest wyposażony w tulejkę, to tulejka ta musi być dobrze przymocowana do spirali i wytrzymała mechanicznie.

2.9.2. Przyłączenie przewodów. Grzejniki nieruchome muszą być wyposażone w zaciski do przyłączenia przewodów.

Grzejniki ruchome i przenośne albo ich ruchome lub przenośne części muszą być wyposażone w trwale umocowany ruchomy przewód przyłączeniowy, bądź w kołki urządzenia wtykowego.

Żyłki przewodów przyłączowych ruchomych muszą być na obu końcach odciążone mechanicznie, przy czym żyły i opłot przewodów muszą być zabezpieczone przed przekręcaniem lub zsuwaniem się.

Miejsca przyłączenia przewodów, w których są umieszczone zaciski lub kołki wtykowe, muszą być osłonięte w sposób zabezpieczający je przed przypadkowym dotykiem, uszkodzeniem z zewnątrz, zalaniem lub zasypaniem. Ponadto miejsca te powinny być zabezpieczone przed nagraniem do temperatury szkodliwej dla izolacji przewodów lub przed innymi szkodliwymi wpływami.

Zaciski powinny być tak wykonane, aby było możliwe przyłączenie przewodów o przekroju odpowiadającym prądowi znamionowemu urządzenia grzejnego (wg PN/E-10) oraz o następnym większym przekroju.

Zaciski przewodów przyłączowych nie powinny być umieszczane w miejscach, w których temperatura może przekroczyć 150°C.

Wszystkie śruby, za pomocą których tworzą się styki, muszą być osadzone w gwincie metalowym. Przewody muszą być zaciskane między powierzchnie metalowe. Łby, nakrętki lub podkładki, którymi są zaciśnięte przewody, muszą być dostatecznie duże lub tak ukształtowane, aby zapewniały dobry i trwały styk oraz aby nie powodowały uszkodzenia przewodów przy ich dociskaniu.

Najmniejsze wymiary gwintu śrub zaciskowych w zależności od prądu znamionowego grzejnika są podane w tablicy 2—1.

Tablica 2—1. Najmniejsze wymiary gwintu śrub zaciskowych

| Prąd znamionowy<br>A | Śruby mosiężne<br>i miedziane | Śruby stalowe*) |
|----------------------|-------------------------------|-----------------|
| Do 6                 | M 3                           | M 4             |
| powyżej 6 „ 15       | M 4                           | M 6             |
| „ 15 „ 25            | M 5                           | M 8             |
| „ 25 „ 60            | M 6                           | M 10            |
| „ 60 „ 100           | M 8                           | M 12            |
| „ 100 „ 160          | M 10                          | M 16            |
| „ 160 „ 200          | M 12                          | M 20            |

\*) Dopuszczone na okres przejściowy.

Urządzenia wtykowe i wtyczkowe zastosowane do przyłączenia urządzenia grzejnego lub do połączenia między sobą poszczególnych elementów urządzenia grzejnego muszą odpowiadać wymaganiom norm PN/E-40.3 i PN/E-....

## 2.10. Połączenia wewnętrzne.

2.10.1. Izolacja elektryczna przewodów wewnętrznych musi być wykonana z materiału odpornego na temperaturę, na którą przewód jest narażony.

Zaleca się stosowanie izolacji ceramicznej.

2.10.2. Przekroje przewodów łączących elementy grzejne powinny być tak dobrane, aby przewodność przewodów łączących była co najmniej dwukrotnie większa od przewodności przewodów oporowych elementów grzejnych, jeżeli temperatura przewodów oporowych nie przekracza 200°C, oraz co najmniej czterokrotnie większa, jeżeli temperatura przewodów oporowych wynosi 200°C lub więcej.

2.10.3. Łączenie przewodów może być wykonane przez lutowanie, spawanie oraz za pomocą złączek, zacisków śrubowych lub urządzeń wtykowych.

Do lutowania lub spawania części wiodących prąd mogą być używane tylko materiały odporne na temperaturę, na którą są narażone miejsca połączenia. Lutowanie miękkie części wiodących prąd, pracujących normalnie w temperaturze przekraczającej 150°C, jest niedopuszczalne.

Wyjątek stanowią przypadki, w których lutowanie miękkie jest stosowane jako zabezpieczenie cieplne grzejnika lub jego części (np. grzejnika nurkowego); lutowanie jest jednak wówczas dozwolone tylko pod warunkiem, że w razie stopienia się połączenia nie będzie mogło nastąpić zwarcie bezpośrednie lub łukowe, ani zetknięcie się przewodów z częściami wykonanymi z materiału przewodzącego.

Zacisków śrubowych można używać do łączenia przewodów oporowych i łączących w temperaturze nie przekraczającej 180°C przy zastosowaniu odpowiedniego materiału na śruby (2.6.3).

Docisk śrub łączących nie może być przenoszony na ich izolację. Przewody muszą być zaciskane między powierzchnie metalowe. Śruby i połączenia metalowe, służące równocześnie do łączenia części wiodących prąd i do umocowania części konstrukcyjnych, muszą być szczególnie zabezpieczone przed obluźwaniem.

Wszelkie złącza przewodów oporowych z zaciskami przewodów przyłączowych muszą być wykonane w sposób wzmocniony pod względem przewodności elektrycznej; takie samo wykonanie zaleca się przy połączeniach przewodów oporowych między sobą.

2.10.4. Przejścia przewodów przez przewodzące, a przede wszystkim metalowe części konstrukcji grzejników (np. ścianki, przegrody itp.), jeżeli temperatura tych miejsc przekracza 100°C, muszą być zaopatrzone w tuleje przepustowe izolacyjne z materiału ceramicznego.

2.10.5. Dostępność połączeń wewnętrznych w grzejnikach z wymiennymi elementami grzejnymi. Połączenia przewodów wewnętrznych, prowadzących do kołków wtykowych lub zacisków i przewodów przyłączowych w grzejnikach z wymiennymi elementami grzejnymi, muszą być łatwo dostępne po zdjęciu osłony zewnętrznej.

## 2.11. Przewody przyłączowe.

2.11.1. Rodzaj przewodów. Przewody przyłączowe muszą być wykonane wg PN/E-5.

2.11.2. Izolacja elektryczna przewodów przyłączowych grzejnika powinna być odporna na temperaturę roboczą przestrzeni, w których się znajdują.

2.11.3. Przekroje przewodów przyłączowych mają odpowiadać wymaganiom PN/E-10, przy czym najmniejszy dopuszczalny przekrój przewodu przyłączowego grzejników nieprzenośnych jest 1 mm<sup>2</sup>, a grzejników przenośnych lub ruchomych 0,75 mm<sup>2</sup>.

2.11.4. Prowadzenie przewodów w obrębie urządzenia grzejnego ma odpowiadać wymaganiom PN/E-10.

## 2.12. Bezpieczniki topikowe.

Bezpieczniki topikowe, stosowane jako ochrona przed przetężeniem, nie mogą być umieszczane wewnątrz grzejników lub w urządzeniach wtykowych. Bezpieczniki takie muszą być umieszczone poza grzejnikiem lub na grzejniku w takim miejscu, aby temperatura oprawy bezpiecznika nie mogła przekroczyć 50° C.

Bezpieczniki topikowe muszą być łatwo dostępne dla obsługi.

Bezpieczniki topikowe wkrętkowe muszą odpowiadać wymaganiom PN/E-40.1.

## 2.13. Regulatory temperatury i bezpieczniki cieplne.

2.13.1. Wymagania ogólne. Regulatory temperatury i bezpieczniki cieplne muszą być wykonane i wbudowane w urządzenie grzejne w taki sposób, aby zmiany temperatury, wstrząsy i inne wpływy działające w czasie normalnej pracy urządzenia grzejnego nie mogły zmienić ich nastawienia.

Regulatory temperatury muszą być tak zbudowane, aby w chwili zamykania obwodu przez styki regulatora nie mogły powstawać drgania powodujące wielokrotne otwieranie i zamykanie obwodu prądu.

2.13.2. Oznaczenie sposobu nastawiania. Na nastawnych regulatorach temperatury przeznaczonych do nastawiania przez obsługę muszą być podane oznaczenia wskazujące, w jaki sposób należy



je przestawiać, aby obniżyć lub podwyższyć temperaturę, przy której regulator ma zadziałać.

2.13.3. Obciążenie regulatora temperatury powinno być dostosowane do jego prądu znamionowego.

#### 2.14. Wyłączniki i przełączniki.

2.14.1. Ochrona przed nagrzewaniem. Wyłączniki i przełączniki należy umieszczać w miejscach urządzenia grzejnego jak najmniej narażonych na nagrzewanie. Do pracy w temperaturze przekraczającej 60°C należy stosować wyłączniki o konstrukcji dostosowanej do temperatury miejsca pracy.

2.14.2. Rozpoznawalność stanu włączenia. Każde położenie wyłącznika lub przełącznika ma być oznaczone napisem, liczbą lub znakiem; jeżeli użyto liczb, położenie odpowiadające największemu poborowi mocy powinno być oznaczone największą liczbą, a położenie odpowiadające wyłączeniu — zerem.

#### 2.15. Odstępy.

Najmniejsze dopuszczalne odstępy podane w tabelicy 2-2 mają być zachowane we wszystkich grzejnikach, jeżeli przepisy szczegółowe nie postanawiają inaczej.

Tabela 2-2. Najmniejsze dopuszczalne odstępy

| Wyszczególnienie  | Przy napięciu znamionowym |       |
|---|---------------------------|-------|
|   | do 220 V                  | 380 V |
|   | mm                        | mm    |
| Najmniejszy odstęp, mierzony na powierzchni części izolującej:  |                           |       |
| a) między częściami będącymi pod napięciem o różnej biegunowości  | 4                         | 6     |
| b) między częściami będącymi pod napięciem o różnej biegunowości, jeżeli są całkowicie zabezpieczone przed wilgocią i zanieczyszczeniem   | 3                         | 4,5   |
| c) między częściami wiodącymi prąd a niez izolowaną obudową   | 3                         | 4,5   |
| Najmniejszy odstęp w powietrzu:   |                           |       |
| a) między częściami będącymi pod napięciem o różnej biegunowości  | 3                         | 4,5   |
| b) między częściami wiodącymi prąd a niez izolowaną obudową   | 4*)                       | 6*)   |
| *) Odstępy 4 i 6 mm mogą być zmniejszone odpowiednio do 3 i 4,5 mm, jeżeli przez odpowiednią konstrukcję urządzenia grzejnego jest unieemożliwione przesuwanie się części wiodących prąd w stosunku do obudowy. |                           |       |

U w a g a. W grzejnikach na napięcie znamionowe 110 V i większe oraz w miejscach, w których temperatura robocza przekracza 500°C, zaleca się duże zwiększanie odstępów podanych w tabelicy 2-2 szczególnie tam, gdzie nie następują one z trudności konstrukcyjne.

#### 2.16. Nagrzewanie się części urządzenia grzejnego.

Największe dopuszczalne temperatury nagrzewania się różnych części urządzenia grzejnego, przy napięciu znamionowym i największym poborze mocy, są podane w tabelicy 2-3.

Tabela 2-3. Największe dopuszczalne temperatury nagrzewania się części urządzenia grzejnego

| Wyszczególnienie   | Temperatura °C |
|--|----------------|
| Kołki wtykowe i śruby zaciskowe wykonane:  |                |
| a) ze stali lub z miedzi   | 100            |
| b) z mosiądzu  | 200            |
| Łączniki (części dostępne dla dotyku)  | 60             |
| Uchwyty ręczne, które są dotykane przy normalnej pracy   | 50*)           |
| Obudowa zewnętrzna nie stanowiąca powierzchni grzejnej, jeżeli przepisy szczegółowe nie postanawiają inaczej   | 150            |
| *) Wartość ta nie dotyczy rękojeści lub uchwytów np. przy drzwiczkach pieców, przykrywkach tygli, głowicach grzejników rurowych itp., którymi można posługiwać się w czasie pracy grzejnika tylko przy pomocy odpowiednich narzędzi. |                |

### 3. BADANIA I PRÓBY

#### 3.1. Rodzaje prób.

Stosuje się dwa rodzaje prób:

a) próbę typu, która pozwala na wyczerpującą ocenę urządzenia grzejnego pod względem zastosowanych materiałów, budowy i wykonania;

b) próbę wyrobu, która pozwala na sprawdzenie, czy w wykonaniu urządzenia grzejnego nie popełniono przypadkowych błędów.

Próbie typu stosuje się w celu oceny nowych konstrukcji, bądź w przypadku wprowadzenia zmian konstrukcyjnych lub materiałowych, mogących mieć wpływ na wynik próby typu, jak również przy okresowej kontroli produkcji.

Próbie wyrobu stosuje się przy bieżącej kontroli produkcji wykonywanej przez wytwórcę oraz przy odbiorach technicznych.

#### 3.2. Próba typu.

Próba typu polega na wykonaniu następujących badań i prób w podanej kolejności:

- ogłędziny (3.5.2., próba typu),
- sprawdzenie wymiarów (3.5.3.),
- sprawdzenie bezpieczeństwa dotyku (3.5.4.),
- sprawdzenie znamionowego poboru mocy (3.5.5.),
- sprawdzenie temperatury znamionowej i pomiar czasu rozgrzewu (3.5.6.),

- f) próba przeciążalności (3.5.7.),
- g) pomiar prądu upływowego (3.5.8.),
- h) próba wytrzymałości elektrycznej (3.5.9.),
- i) próba nagrzewania się części konstrukcyjnych (3.5.10.),
- j) próba odporności na wilgoć\*) (3.5.11),
- k) pomiar mocy rozgrzewu (3.5.12),
- l) pomiar mocy pracy jałowej (3.5.13).

### 3.3. Próba wyrobu.

Próba wyrobu polega na wykonaniu następujących badań i prób w podanej kolejności:

- a) oględziny (3.5.2, próba wyrobu),
- b) próba wytrzymałości elektrycznej (3.5.9.),
- c) sprawdzenie znamionowego poboru mocy (3.5.5.),

przy czym próby b) i c) wykonywa się tylko na zimno.

### 3.4. Liczba próbek.

3.4.1. Próba typu. Do próby tej należy pobrać sposobem losowym co najmniej dwa urządzenia grzejne jednego typu.

3.4.2. Próba wyrobu. Próbie tej należy poddać każde urządzenie grzejne.

### 3.5. Opis badań i prób.

3.5.1. Ogólne warunki wykonywania prób. Próby powinny być wykonywane w warunkach zewnętrznych zbliżonych do warunków normalnej pracy grzejników i przy temperaturze otoczenia  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Pomiary temperatur przy próbach powinny być wykonywane z dokładnością do  $\pm 2^\circ\text{C}$  w zakresie temperatur do  $200^\circ\text{C}$ , powyżej zaś  $200^\circ\text{C}$  z dokładnością do  $\pm 5^\circ\text{C}$ .

Wahania napięcia w czasie prób nie mogą przekraczać  $\pm 2\%$ .

Grzejniki zbudowane na różne rodzaje prądu powinny być badane tym rodzajem prądu, przy którym grzejnik znajduje się w najmniej korzystnych warunkach.

3.5.2. Oględziny. Oględziny przy próbie typu polegają na sprawdzeniu, czy urządzenie grzejne odpowiada tym wymaganiom normy, których spełnienie może być stwierdzone bez wykonywania prób lub pomiarów.

Szczególną uwagę należy zwrócić na następujące punkty:

- a) cechowanie (1.3.),
- b) bezpieczeństwo dla otoczenia (2.7.1.),
- c) zastosowane materiały (2.5.),
- d) wprowadzenie i przyłączenie przewodów przyłączowych (2.9.),
- e) wykonanie połączeń wewnętrznych (2.10.),
- f) przewody przyłączowe (2.11.),
- g) umieszczenie bezpieczników topikowych (2.12),
- h) oznaczenie sposobu nastawiania nastawnych regulatorów temperatury (2.13.2.),
- i) rodzaj, umieszczenie i oznaczenie wyłączników i przełączników (2.14.).

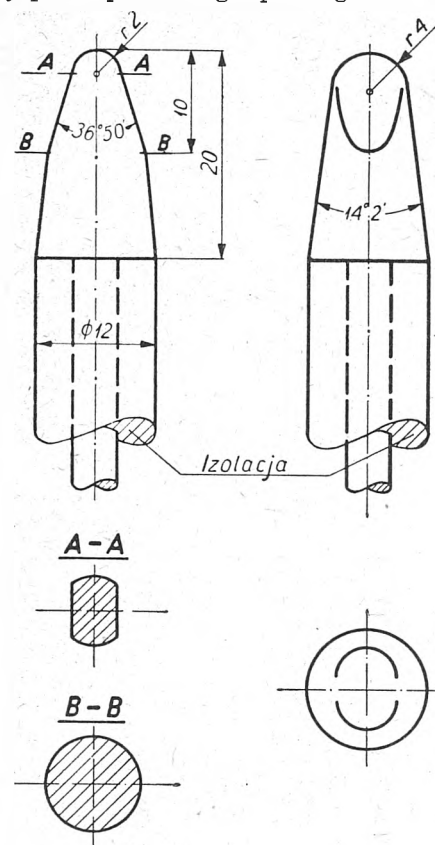
Przy próbie wyrobu w czasie oględzin należy zwrócić szczególną uwagę na następujące punkty:

\*) Obowiązuje tylko w przypadku grzejników odpornych na wilgoć oraz grzejników wodoszczelnych.

- a) cechowanie (1.3.),
- b) bezpieczeństwo dla otoczenia (2.7.1.),
- c) wprowadzenie i przyłączenie przewodów przyłączowych (2.9.),
- d) oznaczenie sposobu nastawiania nastawnych regulatorów temperatury (2.13.2.),
- e) rozpoznawalność stanu włączenia wyłączników i przełączników (2.14.2.).

3.5.3. Sprawdzenie wymiarów polega na stwierdzeniu, czy są zachowane najmniejsze dopuszczalne odstępstwa podane w 2.15.

3.5.4. Sprawdzenie bezpieczeństwa dotyku. Należy sprawdzić za pomocą palca probierczego podanego na rys. 3-1, wskaźnika

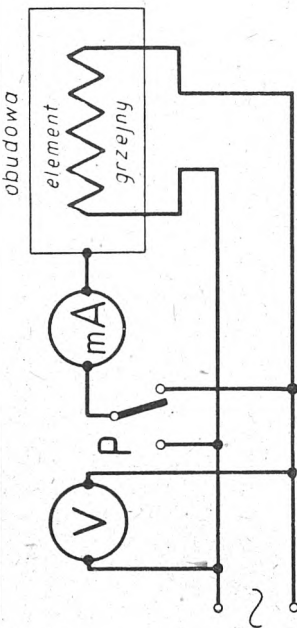


Rys. 3-1. Palec probierczy

przepływu prądu i źródła prądu o napięciu co najmniej 40 V, czy części urządzenia grzejnego będące podczas pracy pod napięciem są chronione od przypadkowego dotyku.

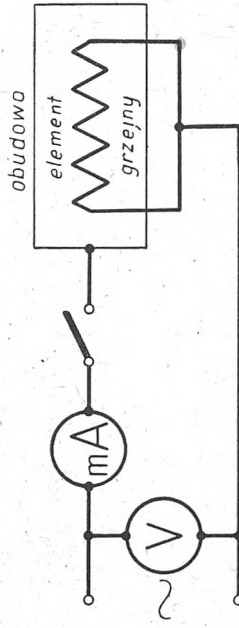
W przypadku możliwości dotknięcia części będących pod napięciem w czasie pracy grzejnika lub po zdjęciu osłony należy sprawdzić, czy są spełnione wymagania podane w 2.8., mające na celu zabezpieczenie obsługi przed porażeniem.

cisków, łącznie z opornością przyrządu pomiarowego, powinna wynosić około 1500  $\Omega$ .  
Urządzenia grzejne odporne na wilgoć podlegają, oprócz próby podanej w poprzednim ustępie, dodatkowej próbie, wykonywanej na grzejniku zimnym, przed i po próbie przeciążalności. Próba polega na



Rys. 3-2. Układ połączeń przy pomiarze prądu upływowego grzejników do pomieszczeń suchych

zmierzeniu prądu upływowego w układzie połączeń podanym na rys. 3-3, przy napięciu zmiennym równym 1,14-krotnemu napięciu znamionowemu grzejnika.



Rys. 3-3. Układ połączeń przy pomiarze prądu upływowego grzejników odpornych na wilgoć

Wynik próby uważa się za dodatni, jeżeli zmierzony prąd upływy nie przekracza wartości podanych w 2.3.

3.5.9. Próba wytrzymałości elektrycznej. Próbę tę należy wykonać napięciem zmiennym 50 c/s, praktycznie sinusoidalnym. Napięcie probiercze (2.4.) należy doprowadzić na przeciąg 1 minuty między części będące podczas pracy pod napięciem, a wszystkie części metalowe, które mogą być dotykane przy użytkowaniu grzejnika, należy połączyć między sobą i uziemić.

Próbie należy wykonać dwukrotnie: na grzejniku zimnym przed próbą przeciążalności oraz na grzejniku gorącym po próbie przeciążalności (3.5.7.). W drugim przypadku napięcie probiercze należy obniżyć do 1000 V, jeżeli napięcie znamionowe grzejnika przekracza 40 V.

3.5.10. Próba nagrzewania się części konstrukcyjnych. Urządzenie grzejne należy włączyć na napięcie znamionowe w układzie odpowiadającym największemu poborowi mocy i po ustaleniu się temperatury na zewnętrznej powierzchni obudowy — zmierzyć temperaturę poszczególnych części konstrukcyjnych grzejnika.

Otrzymane wartości nie powinny przekroczyć temperatur podanych w 2.16.

Ponadto należy sprawdzić połączenia z zaciskiem uziomowym wszystkich dostępnych dla dotyku części metalowych urządzenia grzejnego, które podczas pracy mogą przypadkowo znaleźć się pod napięciem.

3.5.5. Sprawdzenie znamionowego poboru mocy. Urządzenie grzejne należy włączyć na napięcie znamionowe w układzie odpowiadającym największemu poborowi mocy, i po osiągnięciu temperatury znamionowej grzejnika zmierzyć pobieraną moc.

Odchyłki od znamionowego poboru mocy nie mogą przekroczyć wartości podanych w 2.5.

3.5.6. Sprawdzenie temperatury znamionowej i pomiar czasu rozgrzewu. Próba polega na sprawdzeniu, czy grzejnik osiąga temperaturę znamionową, i na zmierzeniu czasu rozgrzewu (1.2.12.). Grzejnik zimny, po nastawieniu regulatorów temperatury i bezpieczników ciepłych na temperaturę równą lub wyższą od znamionowej, włącza się na napięcie znamionowe w układzie odpowiadającym znamionowemu poborowi mocy i obserwuje się wzrost temperatury przestrzeni użytkowej.

W chwili osiągnięcia temperatury znamionowej (1.2.10.) notuje się czas, który upływa od chwili włączenia grzejnika na napięcie.

Dopuszczalne odchylenia od wartości czasu rozgrzewu podanych przez wytwórcę wynoszą:

- $\pm 30\%$  w grzejnikach o mocy znamionowej nie przekraczającej 1 kW,
- $\pm 20\%$  w grzejnikach o mocy znamionowej powyżej 1 do 10 kW,
- $\pm 15\%$  w grzejnikach o mocy znamionowej powyżej 10 kW.

3.5.7. Próba przeciążalności. Grzejnik bez bezpiecznika ciepłego i termoregulatora, o temperaturze otoczenia, należy włączyć na napięcie równe 1,14-krotnemu napięciu znamionowemu i utrzymać je do chwili osiągnięcia stanu pracy ustalonej grzejnika (1.2.13), po czym należy wyłączyć napięcie i grzejnik ostudzić do temperatury początkowej. Próbę należy wykonać czterokrotnie.

Grzejnik wyposażony w samoczynny regulator temperatury, o temperaturze otoczenia, należy włączyć na napięcie równe 1,14-krotnemu napięciu znamionowemu i utrzymać je przez 1 godzinę od chwili pierwszego zadziałania regulatora, nastawionego na znamionową temperaturę grzejnika, po czym należy ostudzić grzejnik do temperatury początkowej. Próbę należy wykonać czterokrotnie.

Grzejnik z bezpiecznikiem cieplnym, o temperaturze otoczenia, należy włączyć na napięcie równe 1,14-krotnemu napięciu znamionowemu i doprowadzić do zadziałania bezpiecznika. Po ostudzeniu grzejnika do temperatury początkowej i zwarcia zacisków bezpiecznika należy grzejnik trzykrotnie włączyć na to samo napięcie i doprowadzić do temperatury, stwierdzonej podczas pierwszego nagrzewania, przy każdorazowym ostudzeniu do temperatury początkowej.

Wynik próby przeciążalności uważa się za dodatni, jeżeli grzejnik w czasie próby nie wykazuje żadnych usterek, po próbie zaś części konstrukcyjne grzejnika nie wykazują żadnych obłuzowań, przesunięć lub odkształceń szkodliwych dla dalszej normalnej pracy.

3.5.8. Pomiar prądu upływowego. Urządzenia grzejne do pomieszczeń suchych. Pomiar należy wykonać podczas pierwszego okresu próby przeciążalności (3.5.7.) po osiągnięciu stanu pracy ustalonej grzejnika. Pomiar należy wykonać prądem zmiennym w układzie połączeń, podanym na rys. 3-2, przy dwóch różnych położeniach przełącznika P.

W czasie próby obudowa grzejnika musi być izolowana od ziemi, a oporność części obudowy pomiarowego od obudowy grzejnika do jednego z za-



W celu sprawdzenia nagrzewania się styków i połączeń elektrycznych należy je obciążać, przy nieczynnych elementach grzejnych, prądem 1,5 razy większym od znamionowego. Temperatura styków i połączeń elektrycznych zmierzona po ustaleniu się temperatury na ich powierzchni nie może przekroczyć 65°C.

3.5.11. Próba odporności na wilgoć. W przypadku grzejników wodoszczelnych próba ta polega na zanurzeniu grzejnika w wodzie do oznaczonego zanurzenia roboczego, na przeciąg 1 godziny, a następnie na wykonaniu pomiaru prądu upływowego (3.5.8.) oraz próby wytrzymałości elektrycznej (3.5.9.).

Pomiar prądu upływowego należy wykonać na grzejniku zanurzonym w wodzie, próbę zaś wytrzymałości elektrycznej po wyjęciu z wody.

W przypadku grzejników odpornych na wilgoć próbę wykonywa się w sposób podany w normach szczegółowych.

3.5.12. Pomiar mocy rozgrzewu wykonywa się — jednocześnie ze sprawdzeniem temperatury znamionowej i pomiarem czasu rozgrzewu (3.5.6.) — drogą zmierzenia za pomocą licznika energii elektrycznej, którą grzejnik pobiera podczas rozgrzewu (1.2.12.).

Moc rozgrzewu w kilowatach oblicza się jako iloczyn odczytanej na liczniku energii w kilowatogodzinach i czasu trwania rozgrzewu w godzinach.

Dopuszczalne odchyłki mocy rozgrzewu od wartości podanej przez wytwórcę wynoszą:

± 25% — w grzejnikach o mocy znamionowej nie przekraczającej 1 kW,  
± 15% — w grzejnikach o mocy znamionowej powyżej 1 do 10 kW,  
± 10% — w grzejnikach o mocy znamionowej powyżej 10 kW.

3.5.13. Pomiar mocy pracy jałowej. Grzejnik pusty (tzn. bez wsadu), wysuszony i zamknięty (jeśli posiada komorę) włącza się na napięcie znamionowe. Z chwilą osiągnięcia temperatury znamionowej notuje się wskazanie licznika energii elektrycznej i utrzymuje się grzejnik w temperaturze znamionowej w ciągu:

co najmniej 1 godziny — w przypadku grzejników o mocy znamionowej nie przekraczającej 1 kW,

co najmniej 3 godzin — w przypadku grzejników o mocy znamionowej powyżej 1 do 10 kW,

co najmniej 8 godzin — w przypadku grzejników o mocy znamionowej powyżej 10 kW.

Moc pracy jałowej grzejnika, obliczona z ilorazu energii zmierzonej licznikiem w kWh przez liczbę godzin pracy grzejnika przy temperaturze znamionowej, nie powinna różnić się od wartości podanej przez wytwórcę więcej niż

o ± 30% w grzejnikach o mocy znamionowej nie przekraczającej 1 kW,  
o ± 20% w grzejnikach o mocy znamionowej powyżej 1 do 10 kW,  
o ± 15% w grzejnikach o mocy znamionowej powyżej 10 kW.

#### 4. OCENA BADAŃ I PRÓB

Wynik próby typu należy uznać za dodatni, jeżeli badane urządzenia grzejne przejdą wszystkie badania i próby podane w 3.2. z wynikiem dodatnim.

Wynik próby wyrobu należy uznać za dodatni, jeżeli wszystkie badania i próby wymienione w 3.3. dadzą wynik dodatni. W przypadku ujemnego wyniku choć jednego badania lub choć jednej próby należy odrzucić badane urządzenie grzejne.

KONIEC

## Ogłoszone ostatnio projekty Polskich Norm\*)

- PN/B-142 Moduł budownictwa przemysłowego (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/M-86001 Czopy gwintowe i gniazda smarownic. (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/M-86011 Zawory smarowe przykrywkowe z blachy. (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/M-86013 Gniazda zaworów smarowych przykrywkowych i kulkowych z blachy. (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/M-86042 Zawór smarowy kulkowy. (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/M-86043 i 86044 Zawory smarowe kołnierzone. (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/M-86051 Smarownice kapturowe. (Wiad. PKN, 1950, z. 5; 1. VIII. 50).
- PN/C-04040 Przetwory naftowe. Paliwa. Oznaczenie. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/C-96131 Przetwory naftowe. Smary stałe Kalipsol. Warunki techniczne. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 1950).
- PN/C-96134 Przetwory naftowe. Smary stałe do łożysk tocznych. Warunki techniczne. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 1950).
- PN/C-96135 Przetwory naftowe. Olej emulgujący do obróbki metali. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/C-96136 Przetwory naftowe. Olej CM do obróbki metali. Warunki techniczne. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/C-96139 Przetwory naftowe. Wosk adhezyjny do pasów pędnych. Warunki techniczne. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/C-96140 Przetwory naftowe. Smar do lin stalowych. Warunki techniczne. (Wiad. PKN, z. 6; 1. IX. 1950).
- PN/G-02500 Torf. Określenia i klasyfikacja. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/H-04320 Próba statyczna ściskania metali. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/H-04330 Próba wytrzymałości metali na pełzanie. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/H-92601 Stal walcowana i węglowa narzędziowa. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/H-93222 Stal węglowa walcowana. Walcówka i pręty do przeciągania przy wyrobie śrub i nitów. Wymiary. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 1950).
- PN/H-93223 Stal węglowa walcowana. Walcówka i pręty płaskie do wyrobu nakrętek surowych. Wymiary. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/M-55600 Obrabiarki do metali. Wymagania techniczne odbioru. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/M-57320 Frezy do ręcznych przyrządów z napędem mechanicznym. Rodzaje uzębień. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/M-58221 Głowice gwinciarские promieniowe. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).
- PN/M-82411 i 82412 Śruby pazurkowe ze łbami grzybkowymi. (Wiad. PKN, 1950, z. 6; 1. IX. 50).

\*) W nawiasie podano numer zeszytu „Wiadomości PKN”, w którym norma jest ogłoszona, i termin, do którego należy nadsyłać uwagi i sprzeciwy pod adresem: Polski Komitet Normalizacyjny (Warszawa, Nowy Świat 1).





# Zmiany i poprawki w liście członków SEP

ogłoszonej w PE, 1947, zesz. 9/10, str. IV-X, i w uzupełnieniach do tej listy

(por. poprzednie wykazy zmian i poprawek w PE, 1947, z. 11/12, str. V-VI; w PE, 1948, z. 3, str. VI;

z. 7/8, str. VI; z. 10/11, str. III; w PE, 1949, z. 1, str. III; z. 2/3, str. III; z. 7/8, str. III; z. 9, str. III; z. 10/11/12, str. II oraz w PE, 1950, z. 1/2/3, str. III)

| Nazwisko i imię                   | Zamiast   | Powinno być*)  |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>ODDZIAŁ GDAŃSKI</b>            |   |  |
| Bączkowski Stanisław              | Gdańsk, Wistoujście, CZPPW                      | Gdańsk-Wrzeszcz, Morska 22, ZPGG, Dział Ruchu, Oddz. Elektr. |
| Dąbrowski Bronisław               | Pelplin, Dworcowa 6                             | Tczew, Podokrąg ZEON, ul. Nowa                               |
| <b>ODDZIAŁ JELENIOGORSKI</b>      |   |  |
| Dymarski Stanisław                | Gryfów Śląski, Rzeczna 29                       | Lubań Śląski, Leśna 6-b, Elektrownia                         |
| Narkiewicz Wacław                 | Bystrzyca Kłodzka, 1 Maja 19                    | Warszawa, Siedzibna 31 m. 5 (Warsz.)                         |
| <b>ODDZIAŁ KRAKOWSKI</b>          |   |  |
| Kolbiński Kazimierz               | Kraków, Al. Mickiewicza 55                      | Warszawa, Al. Stalina 37, CZPEL. (Warsz.)                    |
| <b>ODDZIAŁ MAZURSKI</b>           |   |  |
| Godlewski Franciszek (T)          | Ostróda, Mickiewicza 4                          | Warszawa, PIT, Ratuszowa 11 (Warsz.)                         |
| Stańczyk Hugon                    | Eiśląg, Elektrownia                             | Warszawa, „Energoprojekt“ (Warsz.)                           |
| <b>ODDZIAŁ POZNAŃSKI</b>          |   |  |
| Dukiewicz Konrad (T)              | Poznań, Rokossowskiego 7 m. 6                   | Poznań, Kolejowa 13 m. 12                                    |
| Łożyński Zbigniew                 | Poznań, Rolna 64 m. 7                           | Poznań, Polna 64 m. 7  |
| Niedospał Antoni (T)              | Poznań, Szamarzewskiego 5                       | Poznań, Szamarzewskiego 56 m. 55                             |
| Szmytkowski Florian               | Poznań, Szamarzewskiego 6                       | Poznań, Szamarzewskiego 65 m. 1                              |
| <b>ODDZIAŁ RADOMSKO-KIELECKI</b>  |   |  |
| Janicki Piotr                     | Radom, Mickiewicza 4                            | Radom, Traugutta 53  |
| Soukup Franciszek                 | Kielce, ZEORK                                   | Skarżysko-Kamienna, 22 Lipca 14                              |
| <b>ODDZIAŁ WARSZAWSKI</b>         |   |  |
| Aptowicz Franciszek               | Warszawa, Pustelnicka 30                        | Pruszków, L. Waryńskiego 22                                  |
| Dominko Piotr                     | Dominko Stanisław, Warszawa, Bałuckiego 32 m. 3 | Dominko Piotr, Warszawa, Bałuckiego 32 m. 3                  |
| Grodzicki Henryk                  | Warszawa, Niemcewicz 9 m. 76                    | Warszawa, Karłowicza 1/7 m. 25, WSM — Mokotów, 4 kol. E      |
| Koraszewski Adam                  | Warszawa, Belwederska 36/33 m. 25               | Warszawa, Grójecka 184 m. 2                                  |
| Krobicki Stanisław                | Warszawa, Rakowiecka 5 m. 8                     | Warszawa, Odynca 1-a m. 5                                    |
| Kuczyńska-Zaremba Halina          | Warszawa, Toeplitza 2 m. 71                     | Warszawa, Słowackiego 5/13 m. 118                            |
| Latour Jan                        | Warszawa, Pytlasińskiego 14 m. 2                | Warszawa, Boduena 4 m. 10                                    |
| Luberadzka Tomiła                 | Warszawa, Puławska 26 m. 14                     | Warszawa, Polna 3-b.   |
| Norrman Sven                      | Warszawa, Hotel „Polonia“, pokój 638            | Warszawa, Nowy Świat 19                                      |
| Okniński Euzebiusz                | Częstochowa, Chłopickiego 24                    | Częstochowa, Zawady 121                                      |
| Porada Zygmunt                    | Włochy k. Warszawy, Świetłana 7 m. 6            | Warszawa, Boduena 4 m. 13                                    |
| Słoniewski Witold                 | Przemysł, Elektrownia Miejska                   | Warszawa, Al. Niepodległości 188, CZE                        |
| Tarnawski Henryk                  | Komorów p. Warszawa, Brzozowa 5                 | Warszawa, Boduena 4 m. 27                                    |
| Wachowiak Antoni                  | Warszawa-Okęcie, Kryniczna 9 m. 3               | Warszawa, Szustra 59 m. 1                                    |
| Więcek Franciszek                 | Warszawa, Stalina 37, CZPEL                     | Łowicz, Mostowa 30, ZEOPW (Mazow.)                           |
| Wojtkiewicz Stanisław             | Warszawa, Radomska 22 m. 20                     | Warszawa, Boduena 4 m. 11                                    |
| <b>ODDZIAŁ WROCŁAWSKI</b>         |   |  |
| Fekecz Jerzy                      | Wrocław, Górnicza 1 m. 4                        | Wrocław, Chorzowska 2 m. 6                                   |
| Głowiński Zdzisław                | Wrocław, Szczęśliwa 220 m. 2                    | Wrocław, Szczęśliwa 18 m. 8                                  |
| Kuryłowicz Jarosław               | Wrocław, Wybrz. Wyspiańskiego 27, Politechn.    | Wrocław, Łukasiewicza 10 m. 4                                |
| Tyszek Wiktor                     | Wrocław, Pankiewicza 19 m. 1                    | Warszawa, Uniwersytecka 1 m. 144 (Warsz.)                    |
| Zybera Eugeniusz                  | Wrocław, św. Wincentego 7 m. 15                 | Świebodzice, Mickiewicza 2 m. 6                              |
| <b>ODDZIAŁ ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO</b> |   |  |
| Berman Leon                       | Bytom, Miarki 5                                 | Warszawa, Hoża 64 (Warsz.)                                   |
| Bujakowski Zbigniew               | Katowice, Krasieńskiego 13                      | Katowice, 27 Stycznia 50 m. 10                               |
| Cieszewski Stefan                 | Mikołów, Żwirki i Wigury 60                     | Mikołów, Szosa Bytomska 20                                   |
| Dąbrowski Ludwik                  | Dzierżycie, Rynek 7                             | Bielsko, 3 Maja 1-a  |
| Dzierżbicki Janusz                | Kielce, Złota 24 m. 1                           | Kielce, Sienkiewicza 4                                       |
| Głuziński Bolesław                | Niwka, Mickiewicza 10                           | Sosnowiec, Dąbrowska 28                                      |
| Gruszczynski Wacław               | Kazimierz k. Sosnowca, Teren Kopalni 11         | Kazimierz k. Sosnowca, Kopalniana 14                         |
| Grzelak Franciszek                | Gliwice, św. Urbana 4 m. 2                      | Gliwice, Feliksa Dzierżyńskiego 1 m. 2                       |
| Jachimczyk Zbigniew               | Mikulczyce k. Bytomia                           | Bytom, Olejniczaka 34 m. 3                                   |
| Janiczek Stefan                   | Bytom, Stalmacha 11 m. 5                        | Bytom, Pułaskiego 1 m. 6                                     |
| Jankowski Sylwester               | Bedzin, Fabryka Kabli i Drutu                   | Bedzin, Górnicza 7 m. 4                                      |
| Kempiński Jan                     | Katowice-Załęże, Kopalnia Kleofas               | Katowice-Załęże, Osiedle Obroki 6                            |
| Kobiela Henryk                    | Chorzów-Batory, Hajduckie Zakłady Hutnicze      | Świętochłowice, Huta Florian                                 |
| Kolanko Tadeusz                   | Gliwice, Daszyńskiego 22 m. 4                   | Gliwice, Mieleckiego 6 m. 7                                  |
| Mokrosz Eryk                      | Chorzów III, Narutowicza 1                      | Chorzów, 1 Maja 13-a   |
| Morcinek Józef                    | Katowice, Jordana 13 b                          | Warszawa, Wilcza 23 m. 7 (Warsz.)                            |
| Pecherski Tadeusz                 | Czeladź-Piaski, Mickiewicza 8                   | Warszawa, Sienna 32 m. 5 (Warsz.)                            |
| Pietraszewski Józef               | Katowice-Weinowice, Powstańców 33-a m. 9        | Katowice, Mickiewicza 22 m. 6                                |
| Pluciński Mieczysław              | Gliwice, Dzierżonia 58                          | Gliwice, Dzierżonia 16                                       |
| Rosnowski Zenon                   | Bielszowice, Kokota 254                         | Mysłowice, Mikołowska 24                                     |
| Szuba Alfred                      | Piotrowice k. Katowic, Pierackiego 64           | Piotrowice k. Katowic, Armii Czerw. 64                       |
| Szymik Franciszek                 | Gliwice, Dąbrowskiego 33                        | Gliwice, Daszyńskiego 81 m. 6                                |
| Torbus Wacław                     | Bedzin, Małobądzka 139                          | Warszawa, Wilcza 69 m. 22 (Warsz.)                           |
| Trojak Jan                        | Katowice, Raciborska 33 m. 1                    | Katowice, Gen. Świerczewskiego 33 m. 1                       |
| Urbanowski Jerzy                  | Gliwice, Starokłodnicka 7a                      | Gliwice, Piramowicza 8 m. 7                                  |
| Wieczorkiewicz Maria              | Katowice, Kościelna 7 m. 2                      | Zabrze, Bohaterów Warszawskich 4 m. 10                       |
| Wróblewski Zbigniew               | Opole, Le Ronda 56                              | Opole, Katowicka 56  |

\*) W nawiasie podano Oddział SEP, do którego członek przeszedł.



# Czasopisma Techniczne NOT

| Tytuł czasopisma                         | Prenumerata |         | Nr konta P.K.O. |
|--|-------------|---------|-----------------|
|  | kwartalna   | roczna  |                 |
| Przeгляд Techniczny . . . . .            | 450.—       | 1.800.— | I—8503/113      |
| Horyzonty Techniki . . . . .             | 250.—       | 1.000.— | I—7417/112      |
| Mechanik . . . . .                       | 400.—       | 1.600.— | I—624           |
| Przeгляд Mechaniczny . . . . .           | 600.—       | 2.400.— | I—4665          |
| Przeгляд Spawalnictwa . . . . .          | 250.—       | 1.000.— | I—9437          |
| Technika Lotnicza . . . . .              | 150.—       | 600.—   | I—8100          |
| Przeгляд Elektrotechniczny . . . . .     | 300.—       | 1.200.— | I—4242/113      |
| Wiadomości Elektrotechniczne . . . . .   | 180.—       | 720.—   | I—4242/113      |
| Energetyka . . . . .                     | 450.—       | 1.800.— | I—15593         |
| Przeгляд Telekomunikacyjny . . . . .     | 300.—       | 1.200.— | I—4430          |
| Wiadomości Telekomunikacyjne . . . . .   | 150.—       | 600.—   | I—4430          |
| Przeгляд Budowlany . . . . .             | 675.—       | 2.700.— | I—1022/110      |
| Inżynieria i Budownictwo . . . . .       | 1.000.—     | 3.500.— | I—1505/110      |
| Przeгляд Geodezyjny . . . . .            | 360.—       | 1.440.— | I—130/110       |
| Przemysł Chemiczny . . . . .             | 500.—       | 2.000.— | I—4680/112      |
| Przeгляд Papierniczy . . . . .           | 360.—       | 1.440.— | I—15595         |
| Papiernik . . . . .                      | 150.—       | 600.—   | I—15595         |
| Gospodarka Wodna . . . . .               | 300.—       | 1.200.— | I—1960/113      |
| Gaz, Woda i Technika Sanitarna . . . . . | 400.—       | 1.600.— | I—1133/113      |
| Technika Morza i Wybrzeża . . . . .      | 600.—       | 2.400.— | XI—5508/112     |
| Przemysł Rolny i Spożywczy . . . . .     | 250.—       | 1.000.— | I—4629/113      |
| Gazeta Cukrownicza . . . . .             | 600.—       | 2.400.— | I—1544          |
| Przemysł Drzewny . . . . .               | 400.—       | 1.200.— | I—16205         |
| Szkło i Ceramika . . . . .               | 450.—       | 1.800.— | VII—731/114     |
| Materiały Budowlane . . . . .            | 400.—       | 1.500.— | I—8211          |