

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok XVI.

1 Maja 1934 r.

Zeszyt 9.

Redaktor inż. WACŁAW PAWŁOWSKI

Warszawa, Czackiego 5, tel. 690-23.

BACZNOŚĆ, ELEKTRYCY!

Elektryfikacja Polski.

Oto hasło, od dziesiątków lat rozbrzmiewające, jak Polska długa i szeroka.

A cóż ono w sobie zawiera?

Nietylko elektryfikację miast i wsi, przemysłu i rolnictwa, ale również spolszczenie i usamodzielnienie elektrycznego przemysłu wytwórczego, spolszczenie przemysłu elektrownianego.

Zawiera też ono w sobie spolszczenie wiedzy elektrotechnicznej, teoretycznej i praktycznej, spolszczenie kapitału, inwestowanego w przemyśle wytwórczym i elektrownianym.

Od czasu odzyskania niepodległości osiągnięto wielki postęp w dziedzinie elektryfikacji, ale dalecy jesteśmy od takiego stanu, któryby nas zadawalniał. Elektryfikacja miast i przemysłu jest jeszcze bardzo słaba, elektryfikacja wsi i rolnictwa—niemal w zarodku. W przemyśle elektrycznym, wytwórczym i elektrownianym, obcy element odgrywa jeszcze wielką rolę. Inwestowany kapitał przeważnie obcy, bo wynosi 75% w przemyśle elektrownianym, a blisko 50% w przemyśle wytwórczym.

Jedynie polska wiedza elektrotechniczna, zarówno teoretyczna, jak i praktyczna, stoi na wysokości zadania.

Mamy pod dostatkiem, co do ilości i jakości, elektryków, a przyrost ich przekracza nawet zapotrzebowanie rynku wewnętrznego.

Jakiż z tego wniosek?

Ten, że przed elektrykami stoi ogrom możliwości. Powinni oni być naturalnymi propagatorami elektryfikacji, we wszelkiej jej postaci. Powinni oni wypierać obcy element swą wiedzą, pracą, inicjatywą i krajowym kapitałem. Powinni mieć ambicję, aby elektryfikację rozpowszechnić i uczynić ją polską, tworzoną i prowadzoną przez obywateli polskich.

Droga do tego celu jest ciężka.

Brak nam przedsiębiorczości, brak kapitału.

W pogoni za chlebem służymy w znacznym odsetku kapitałowi obcemu i wskutek tego często mimowoli sami przeciwdziałamy polszczeniu się przemysłu elektrownianego i wytwórczego.

Ci zaś spośród elektryków polskich, którzy mają szczęście pracować w polskim przemyśle, korzystają z pomocy i poparcia Rządu, korzystają z ochrony celnej.

Gdyby nie to poparcie, gdyby nie pomoc Rządu, gdy-

by nie ochrona celna, zmuszeni by byli iść we własnym kraju do służby u obcych.

Bo obcy kapitał, obca przedsiębiorczość, obcy przemysł są silniejsze.

Przeciwstawiać się musimy wyższym wysiłkiem i wyższą przedsiębiorczością, wyższym talentem organizacyjnym, wyższym sprytem handlowym.

Liczyć tylko na ochronę celną i na pomoc Rządu nie możemy.

Polityka Rządu zależna jest bowiem od bardzo wielu czynników. Często dla dobra Państwa Rząd zmuszony jest rozluźniać ochronę tej lub innej gałęzi rodzimego przemysłu. Społeczeństwo wtedy winno wyczuć sytuację i, wzmagając własny wysiłek, zrównoważyć straty, które moglibyśmy ponieść przez osłabienie mechanicznych zapór przed zalewem obcego importu.

Wzajemne zrozumienie, wzajemne wyczcucie, wspólny wysiłek Rządu i społeczeństwa dają dopiero rękojmię umacniania się naszego własnego życia gospodarczego, chronią przed utratą osiągniętych już zdobyczy.

I oto przeżywamy chwilę, kiedy elektryfikacja Polski może wkroczyć na tory pożądanego szybkiego rozwoju.

Mocarstwowe stanowisko Polski budzi zaufanie obcego kapitału do rynku polskiego. Spodziewać się więc można dopływu kapitałów. Zawarcie układów pokojowych z sąsiadami rozluźnia zapory mechaniczne, chroniące naszą wytwórczość. Spodziewać się więc można wzmoczenia importu sprzętu elektrycznego. Panujące zaś wśród elektryków polskich bezrobocie może rzucić nas w objęcia obcego kapitału i obcego przemysłu.

Nastała więc chwila, kiedy Rzeczpospolita wymaga od nas, elektryków, wzmoczenia wysiłku, wzmoczenia czujności, aby nie stracić nic z tego, co już posiadamy, aby dalej prowadzić skuteczną walkę w najszlachetniejszym znaczeniu tego słowa z przeciwnikiem mocniejszym i bogatszym o usamodzielnienie wytwórczości elektrotechnicznej.

W dziedzinie elektryfikacji my, elektrycy, jesteśmy w pierwszym rzędzie do tego powołani, abyśmy nie dopuścili do pogorszenia się w naszym dziale bilansu handlowego Polski, abyśmy się nie stali parjasami obcych mocy gospodarczych.

A więc, baczność, elektrycy!

Alfons Kühn.



SEKCJA OGÓLNO - ELEKTRYFIKACYJNA.

ELEKTRYFIKACJA LINII KOLEJOWEJ Z KRAKOWA DO ZAKOPANEGO.

Inż. Jan Podoski.

Streszczenie. Istota zagadnienia: trudności profilu i niewystarczająca przelotność, powodujące małą szybkość handlową pociągów parowych i niedostateczną ich ilość. Pociągi parowe, motorowe i elektryczne na dużych wzniesieniach i ostrych łukach. Statystyka ruchu na badanej linii i wahania frekwencji. Przyczyny, dla których trakcja motorowa nie stanowi rozwiązania trudności ruchowych. Możliwości zastosowania trakcji elektrycznej; typy wagonów motorowych, rozkład jazdy, szybkość, sieć robocza i podstacje. Kosztorys elektryfikacji. Rachunek rentowności elektryfikacji przy uwzględnieniu trakcji parowej. Roczne przebiegi, zużycie energii elektrycznej i jej koszt. Wzrost frekwencji. Wnioski końcowe.

Istota zagadnienia.

Od szeregu już lat jest rozważana przez czynniki kompetentne sprawa radykalnej zmiany w ruchu na linii kolejowej z Krakowa do Zakopanego, która stanowi, jak wiadomo, naszą główną, w pewnej mierze „reprezentacyjną”, linię turystyczną.

Wiadomo powszechnie, iż w obecnych warunkach ruchowych linia ta nie spełnia należycie swego zadania i że stanowi ona zaporę w dalszym rozwoju Zakopanego i innych uzdrowisk tatrzańskich. Podróż Kraków — Zakopane jest połączona w sezonie z tylu trudnościami, że bardzo wiele osób bądź zupełnie rezygnuje z wyjazdu, bądź też korzysta z komunikacji autobusowej, która mimo niedogodnych warunków dosyć znacznie się na tym szlaku rozwijała.

Jest to zupełnie zrozumiałe, jeżeli uwzględnić, iż podróż pociągiem osobowym trwa obecnie z górą 5 godzin, a ilość miejsc w pociągach jest w okresach większego natężenia ruchu zupełnie niewspółmierna do zapotrzebowania.

W zrozumieniu tego czynniki kolejowe czynią od dłuższego już czasu wszelkie wysiłki, aby ruch na linii Zakopiańskiej usprawnić tak przez skrócenie czasu przejazdu, jak i przez powiększenie w godzinach większego natężenia ruchu ilości pociągów. Wysiłki te, aczkolwiek poważne i konsekwentne (że wspomnę tylko próby zastosowania trakcji motorowej, opracowanie specjalnego typu pośpiesznych parowozów górskich i t. p.), wywierają w praktyce skutek z wysiłkami zupełnie niewspółmierny, a linia w dalszym ciągu nie może sprostać wzrastającym wciąż potrzebom komunikacyjnym.

Zastanówmy się, na czym polega trudność zagadnienia. Jak wiadomo, linia zakopiańska, zbudowana na kilkanaście lat przed wojną przez zaborców, wykonana została jako linia lokalna, znaczenia trzeciorzędowego. Łączyła ona z Krakowem mało komu wówczas znane uzdrowisko tatrzańskie. Cała trasa zaprojektowana została w sposób co najmniej oszczędny, z bardzo ostrymi łukami, bez łuków

prześciowych i na wzniesieniach, dochodzących do 30⁰/₀₀.

Jest oczywiście, że na linii tego typu normalne pociągi parowozowe nie mogą rozwijać dostatecznej prędkości, gdyż ograniczają ją łuki i wzniesienia. Zasadnicza przebudowa trasy, aczkolwiek zapewniłaby wiele korzyści, byłaby jednak tak kosztowna, że nie może być w obecnych warunkach brana pod uwagę, i mówić można jedynie o nieznacznych stosunkowo zmianach w trasie istniejącej.

Jeżeli przyjąć za podstawę trasę istniejącą, ewentualnie w pewnej mierze odnowioną i poprawioną, to, zastanawiając się nad usprawnieniem ruchu, widzimy dwie drogi: powiększenie szybkości pociągów i dostosowanie ich pojemności i ilości do potrzeb ruchu.

Powiększeniu szybkości stoją na przeszkodzie głównie łuki i wzniesienia, co do których istnieją przepisy, bardzo znacznie ograniczające na nich szybkość maksymalną. Tak więc na łuku o promieniu 300 m szybkość nie może przekraczać 65 km/godz., a na łukach 200 m nawet 50 km/godz. Na wzniesieniach szybkość ogranicza się sama, a co do spadków istnieją znów przepisy ograniczające: dla 10⁰/₀₀ — 85 km/godz.; dla 20⁰/₀₀ — 65 km/godz. i t. d.

Ograniczenie stosowania tych przepisów bezpieczeństwa na łukach byłoby możliwe tylko wówczas, gdyby zmniejszony został ciężar pociągów, przechodzących przez te łuki, gdyż — jak wiadomo — siła, działająca odśrodkowo na szyny na łuku, jest proporcjonalna do masy i do kwadratu szybkości. Byłoby to więc możliwe tylko przy stosowaniu zamiast parowozów — lżejszych od nich wagonów motorowych dowolnego typu, nie posiadających osi sprzężonych, które na łukach dają znaczne naprężenia dodatkowe.

Jeżeli chodzi o drugi czynnik — wzniesienia, to tu sprawa przedstawia się nieco inaczej. Wzniesienie powoduje powiększenie oporów trakcji, praktycznie proporcjonalne do wielkości tego wzniesienia. Istnieje w kolejnictwie reguła praktyczna, iż 1⁰/₀₀ wzniesienia powoduje wzrost oporów trakcji o 1 kg/t niezależnie od szybkości. Jeżeli np. opory trakcji wynoszą przy pewnej szybkości na poziomie 6 kg/t, co dla pociągu normalnego odpowiada szybkości mniej więcej 50 km/godz, to na wzniesieniu 25⁰/₀₀ o ile szybkość będzie zachowana bez zmiany, opory te wzrosną o 25 kg/t, czyli powiększą się aż 5-krotnie.

Jeżeli teraz uwzględnimy, iż moc maszyny parowej i silnika spalinowego jest prawie stała i może być powiększona chwilowo w stosunku do mocy nominalnej najwyższej o 20%, to okaże się, że silnik parowy i spalinowy muszą bardzo znacznie obniżyć swą szybkość na wzniesieniu.

Tak np., biorąc silnik, którego moc nominalna byłaby całkowicie wyzyskana przy szybkości 60 km/godz. na poziomie, co odpowiada średniemu oporowi trakcji 7 kg/t

z pociągiem o wadze całkowitej 500 t, otrzymalibyśmy nominalną moc użyteczną:

$$\frac{60 \times 500 \times 7 \times 1000}{75 \times 3600} = 780 \text{ KM.}$$

Uwzględniając 20-procentową przeciążalność w stosunku do mocy nominalnej, otrzymalibyśmy na wzniesieniu 30‰:

$$780 \times 1,2 = \frac{500(4 + 30)X}{75 \times 3600} 1000,$$

przyczem normalne opory trakcji wynoszą już tylko 4 kg/t zamiast 7, wobec przewidywanego zmniejszenia szybkości.

Szukana szybkość X będzie więc:

X = 14,8 km/godz., a zatem 4 razy mniej, niż na poziomie.

Zupełnie inaczej przedstawia się sprawa, jeżeli wziąć pod uwagę normalny trakcyjny silnik elektryczny, a zatem silnik o charakterystyce szeregowej. Jak wiadomo, moc silnika szeregowego nie jest stała i zależy od szybkości. Pojęcie „mocy” jest więc tutaj pewnego rodzaju wielkością umowną, zależną nie od tego, co silnik dać może, gdyż teoretycznie mógłby dać dowolnie wiele, lecz od tego, jakie stałe obciążenie wytrzyma bez szkodliwego przegrzania. Oczywiście, że chwilowo silnik może znieść przeciążenia daleko większe, ograniczone tylko iskrzeniem szczotek na komutatorze. Normalnie przyjmuje się, iż chwilowa przeciążalność silnika wynosi 200% mocy godzinnej, a ta ostatnia około 125% mocy stałej (silniki z przewietrzaniem obcem).

W ten sposób, biorąc przykład poprzedni oraz posiłkując się wykresem silnika trakcyjnego o mocy stałej 140 kW (co przy czterech silnikach trakcyjnych odpowiada mocy obliczonej poprzednio 780 KM), otrzymujemy, dopuszczając przeciążenie silnika na wzniesieniu np. 75% w stosunku do mocy stałej, następującą szybkość na wzniesieniu 30‰:

X = 21 km/godz., a więc o 50% więcej, niż przy silniku parowym lub spalinowym.

Podkreślić trzeba raz jeszcze, że szybkość na wzniesieniu otrzymać możemy zupełnie dowolną, stosując ten sam silnik elektryczny, i że ograniczamy ją jedynie z obawy, by silnik nie przegrzał się wskutek nadmiernego przeciążenia. Jeżeli jednak wzniesienie jest niezbyt długie, możemy dopuścić większe przeciążenie chwilowe i możemy uzyskać znacznie większą prędkość ustaloną.

Aby uniknąć tak małych szybkości na wzniesieniach, w praktyce stosuje się przy silnikach parowych i spalinowych jedyną na to radę: powiększa się moc silnika, godząc się z tem, że na poziomie będzie on pracował przy częściowym tylko obciążeniu, a więc z mniejszą sprawnością. Tutaj jednak powstaje nowa trudność: oto waga parowozu staje się wtedy tak wielka, iż obciążenie osi jest już niedopuszczalne. Przy silnikach spalinowych ograniczenie to nie istnieje, ale przenoszenie mocy staje się bardzo utrudnione, gdyż trzeba pamiętać, że regulacja obrotów silnika spalinowego jest bardzo ograniczona, wskutek czego koniecznym się staje stosowanie przekładni. Przy mocach, przekraczających 150 KM, stosowanie przekładni mechanicznej staje się bardzo trudne i uciekać się trzeba do przekładni elektrycznej, powiększającej wagę i cenę wozu.

Przy trakcji elektrycznej trudności te nie istnieją, gdyż silnik szeregowy przystosowuje się sam do profilu, powiększając automatycznie swoją moc w razie spadku obrotów, wywołanego przeciążeniem.

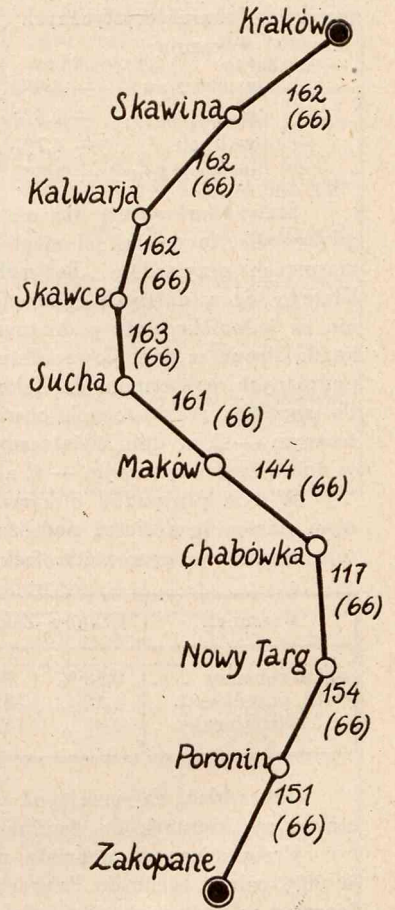
Gęstość ruchu.

Przejdźmy teraz do zagadnienia koniecznej gęstości ruchu. Zagadnienie to jest o tyle trudne, iż dane staty-

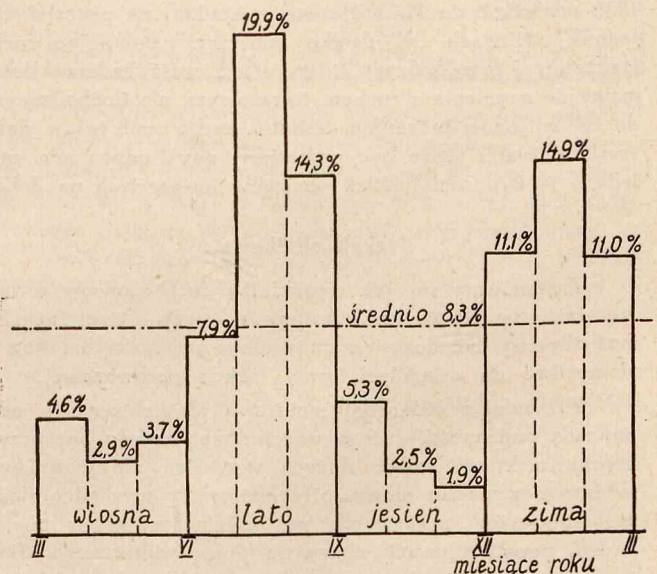
styczne w tej dziedzinie są bardzo skąpe i cały szereg obliczeń opierać należy na mniej lub więcej trafnych przypuszczeniach. Podane dalej liczby zestawione są na zasadzie danych meldunkowych Urzędu Klimatycznego, odpowiednio uzupełnionych, oraz na statystyce ruchu autobusowego, to też uważane być mogą raczej za wycieczne, a nie za wartości dokładne. Wielkości te jednak zgadzają się z obserwacjami ruchowymi Krakowskiej Dyrekcji Kol. Państw., to też mogą być przyjęte jako podstawa obliczenia wstępnego, pod warunkiem, że będą w przyszłości uzupełnione bardziej dokładnymi danymi, nad zestawieniem których pracują obecnie czynniki zainteresowane.

Ilości podróży w ciągu roku są podane na rys. 2. Wszystkie liczby dotyczą roku 1930, przyczem należy podkreślić, iż po chwilowym spadku ruch na linii pomimo kryzysu zaczął wzrastać ponownie, wskutek czego liczby podane na rysunku, stanowią raczej dolną granicę w stosunku do rzeczywistości.

Jeżeli chodzi o podział na sezony, to według danych Zakopiańskiego Urzędu Klimatycznego, frekwencja w poszczególnych miesiącach kształtowała się zgodnie z rys. 2.



Rys. 1.



Rys. 2.

Widać tu wyraźnie dwa okresy: letni i zimowy, o prawie jednakowym natężeniu, przedzielone okresami słabego ruchu, trwającymi po 3 miesiące.

Na linii typu turystycznego, jaką jest linia zakopiańska, podział na miesiące nie jest jeszcze wystarczający: należy znać rozkład dzienny, a przynajmniej — tygodniowy.

Według tej samej statystyki maksymalne dane tygodniowe w charakterystycznych miesiącach poszczególnych okresów wykazują:

w styczniu	— 4,9%	frekwencji	rocznej
w marcu	— 1,5%	"	"
w lipcu	— 4,7%	"	"
we wrześniu	— 1,7%	"	"

Statystyka według dni nie jest prowadzona, a nawet gdyby była, to wyniki jej mogłyby być niedokładne, wobec masowych przyjazdów „bez-meldunkowych” na niedzielę. Dlatego też w dalszych obliczeniach przyjęto dosyć dowolnie za jednostkę ilość podróży w ruchu miejscowym w każdą stronę w dniu powszednim; przy tym założeniu ilość podróży w kierunku do Zakopanego wyniesie stosownie do zupełnie przybliżonych obserwacji w dniu przedświątecznym — 2, w dniu świątecznym — 1,5, a z Zakopanego w dniu przedświątecznym — 1, a w dniu świątecznym — 2,5.

W tym przypadku otrzymałoby się w ruchu miejscowym następujące ilości podróży (*maksymalny* tydzień w styczniu) w procentach frekwencji rocznej:

Kierunek	Kraków-Zakopane		Zakopane-Kraków	
dzień roboczy . .	0,58 %	940 osób	0,58 %	940 osób
„ przedświąt. .	1,16 „	1880 „	0,58 „	940 „
„ świąteczny .	0,87 „	1410 „	1,45 „	2350 „

Jak widać, najgorzej pod względem ruchowym przedstawia się kierunek do Krakowa w dniu świątecznym.

Przechodząc do podziału na godziny, można przyjąć, iż 90% całego ruchu do Krakowa odbywa się w dniu świątecznym w godzinach popołudniowych. Przyjmując, iż ruch ten rozłoży się równomiernie od godz. 15 do 20 (mowa tylko o ruchu miejscowym), otrzymamy w godzinie największego ruchu okrągło 350 osób na godzinę. Tę ilość trzeba przewieźć pociągami miejscowymi.

Ruch towarowy na odcinku Kraków — Skawina w r. 1930 dochodził do 2,5 milionów brtkm/km, na pozostałych jednak odcinkach był daleko mniejszy. Pomijając ruch tranzytowy, przechodzący tylko przez część badanej linii, mamy do czynienia z ruchem towarowym, nie dochodzącym do 0,4 milionów brtkm/km, wskutek czego ruch ten w dalszej kalkulacji może być pominięty, gdyż odpowiada zaledwie 1—2 parom lekkich pociągów towarowych na dobę.

Trakcja silnikowa.

Zastanówmy się, jak wyglądałby ruch osobowy w razie zastosowania trakcji motorowej, przy której użyciu możnaby uzyskać dostatecznie wielkie prędkości handlowe, niemożliwe do osiągnięcia przy trakcji parowozowej.

Przyjmując jednostkę motorową 80-osobową, co odpowiada pojemności dużego wagonu motorowego bez przyczepki, o której wobec dużych wzniesień nie może być w danym wypadku mowy, otrzymalibyśmy niezbędną ilość 4—5 pociągów motorowych na godzinę w ciągu pięciu godzin popołudniowych zimowego dnia świątecznego. Jest oczywiste, iż taka ilość nie byłaby możliwa do przeprowadzenia po jednotorowej linii ze względu na jej przelotność nawet przy znacznej szybkości handlowej motorówek. Należy zwrócić uwagę, że niektóre odległości międzystacyjne dochodzą na linii zakopiańskiej do 11 km, a średnio wynoszą 6 km.

Jeżeli dodać do tego, że w razie zastosowania trakcji motorowej w dalszym ciągu byłaby nierozwiązana sprawa wagonów tranzytowych oraz słabego, lecz mimo to istniejącego, ruchu towarowego, do czego musiałaby nadal pozostać trakcja parowa, o zupełnie innych szybkościach handlowych, niż motorowa, — to można stwierdzić z całą pewnością, iż wprowadzenie trakcji motorowej nie rozwiąże trudności ruchowych na linii zakopiańskiej, a raczej przesunie je tylko w innym kierunku.

Sprawę rentowności trakcji motorowej w danym wypadku całkowicie pomijamy wobec braku odpowiednio pewnych danych eksploatacyjnych. Do sprawy tej jednak powrócimy w przyszłości, gdyż i ona wydaje się wskazywać na niecelowość motoryzacji.

Trakcja elektryczna.

Daleko korzystniej pod każdym względem przedstawiałyby się zastosowanie całkowitej elektryfikacji linii, gdyż wielka przeciążalność silników trakcyjnych, połączona z możliwością stosowania pociągów, złożonych z kilku jednostek, połączonych ze sobą i sterowanych z jednego miejsca, wskazuje na to, że system ten zapewniłby elastyczność ruchu, nieosiągalną przy żadnym innym systemie trakcji.

Zobaczmy, jakby się to zagadnienie przedstawiało pod względem technicznym, przyjmując, iż stosowany byłby prąd stały o napięciu roboczym 3000 V, przyjęty jako normalny dla całego Państwa. Obliczenia oparte są na założeniu, iż stan torowiska pozostałby zasadniczo taki, jaki jest obecnie, gdyż żadne zmiany, aczkolwiek bardzo pożądane, nie są w żadnej mierze związane z tym albo innym systemem trakcji. Pod względem źródła energii przyjmujemy, iż prądu dostarczałaby jedna z elektrowni Zagłębia Węglowego, przyczem umowa dotyczyłaby — jak zwykle — dostawy energii do zacisków wysokiego napięcia na podstacjach. Sieć zasilająca byłaby zatem własnością elektrowni.

Charakter linii, wymagającej pociągów częstych i szybkich oraz o zmiennej pojemności, wskazuje odradu na to, iż w ruchu lokalnym zasadniczo powinny być stosowane wagony motorowe. Jako jednostkę przyjmujemy wagon motorowy typu normalnego z jednym lekkim wagonem doczepnym. Zasadnicza pojemność jednostki wynosiłaby około $70 + 50 = 120$ miejsc i w godzinach intensywniejszego ruchu mogłaby być podwojona przez połączenie w jeden pociąg dwóch jednostek motorowych.

Nieco trudniej przedstawia się sprawa ruchu dalekobieżnego. Tutaj przewidywać należy składy pociągów, złożone z 4 wagonów pulmanowskich, a więc o wadze do 200 t. Do takiego składu nadawałaby się wobec dużych wzniesień lokomotywa, której stosowania pragnęlibyśmy jednak uniknąć tak ze względu na łuki, jak również ze względów czysto eksploatacyjnych.

Dlatego też w podanych dalej rozważaniach przyjęliśmy inne, nieco może śmiałe rozwiązanie, którego wykonanie techniczne nie powinno jednak nastęrczać specjalnych trudności. Oto przyjęte zostało, iż ruch dalekobieżny obsługiwany będzie tak samo, jak i miejscowy, przez wagony motorowe, odpowiednio powiększonej mocy, nadające się do prowadzenia 2 doczepnych wagonów czteroosowych. W razie nadejścia składu o większej pojemności, np. 4-wagonowego, zostałyby użyte do jego obsługi dwa wagony motorowe: jeden na czole, drugi na końcu pociągu. Wagony byłyby połączone ze sobą giętym kabelkiem wielożyłowym, przeprowadzonym wzdłuż wagonów, jak dawne sznury alarmowe, co pozwoliłoby na sterowanie obu wagonów jednocześnie z wagonu czołowego, a co ważniejsze na jazdę w obu kierunkach bez konieczności przepinania

wagonu motorowego na stacjach w Płaszowie, Suchej i Cha-bówce oraz bez manewrów w Zakopanem i Krakowie.

Sprawa ogrzewania byłaby rozwiązana w taki sposób, że w ruchu miejscowym, w którym używany będzie stale ten sam tabor, byłoby stosowane normalne ogrzewanie elektryczne na 3000 V, a dla wagonów dalekobieżnych, które nie mogą być wszystkie zaopatrzone w instalacje ogrzewania elektrycznego, byłoby stosowane nadal ogrzewanie parowe, przyczem para byłaby wytwarzana w małych kociołkach wodno-elektrycznych, umieszczonych na wagonach motorowych i przeznaczonych do obsługi najwyżej 2 wagonów (sam wagon motorowy byłby ogrzewany elektrycznie).

Oddzielne zagadnienie stanowi sprawa odzyskiwania energii. Trakcja elektryczna pozwala, jak wiadomo, stosować zamiast zwykłego hamowania tarcowego, przy którym żywa siła pociągu zamieniana jest beзуżytecznie na energię ciepłą, hamowanie przez oddawanie prądu na sieć. Silniki obracają się wówczas jako prądnice, napędzane przez koła bieżącego pociągu. Energia elektryczna, oddana na sieć, jest pochłaniana przez pociągi, biorące z sieci energię, bądź też — gdyby pociągów takich nie było — oddawana dalej na sieć zasilającą wysokiego napięcia. Aby to było możliwe, podstacje muszą móc zasadniczo pracować w obu kierunkach, t. j. bądź jako zasilające, bądź pobierające prąd z sieci prądu stałego.

Wynika stąd wniosek, iż na sieci, na której stosowane jest odzyskiwanie energii, przynajmniej jedna podstacja powinna posiadać przetwornice zamiast prostowników rtęciowych, które pracują jednokierunkowo. Ponieważ jednak zjawisko oddawania prądu na sieć wysokiego napięcia zachodzi w praktyce bardzo rzadko, niekiedy bywa stosowane urządzenie opornikowe na jednej z podstacji, polegające na tem, że gdy napięcie na sieci prądu stałego wzrośnie nadmiernie, na podstacji włączony zostaje odpowiedni opór uziemiający, który pochłania nadmiar energii sieci bez przekazywania go dalej. Urządzenie to działa w praktyce bardzo rzadko, a pozwala na uniknięcie stosowania podstacji z maszynami wirującymi, zawsze mniej ekonomicznych od podstacji prostownikowych.

Hamowanie elektryczne daje również poważne oszczędności na zużyciu klocków hamulcowych i bandaży, które jest normalnie na liniach górskich bardzo poważne. Z drugiej jednak strony wymaga ono stosowania pewnych urządzeń, umożliwiających pracę silników jako prądnic. Gdyby stosowane były silniki bocznikowe lub wchodzące obecnie w użycie w tramwajownictwie silniki szeregowo - bocznikowe, nie mówiąc o silnikach asynchronicznych, używanych we Włoszech w trakcji trójfazowej, odzyskiwanie energii odbywałoby się automatycznie po przekroczeniu określonej dla danego kontaktu prędkości. Przy silnikach szeregowych odzyskiwanie energii nie będzie samoczynne, gdyż silnik szeregowy bez przełączenia biegunów prądu oddawać nie będzie. Prócz tego prądnica szeregowo posiada charakterystykę, uniemożliwiającą jej pracę na sieć o wahającym się napięciu, jak to ma miejsce w trakcji. Istnieje więc cały szereg układów, mających na celu umożliwienie silnikom trakcyjnym pracy odwróconej. Zasadą ogólną jest tu regulacja wzbudzenia bądź z obcego źródła, bądź z sieci, wskutek czego silniki pracują jako prądnice bocznikowe lub szeregowo-równoległe.

Dla taboru linii zakopiańskiej przyjmujemy, iż odzyskiwanie energii stosowane będzie na wszystkich elektrowozach, przyczem bierzemy pod uwagę system Westinghouse'a, dający stałą szybkość dla danego kontaktu, niezależnie od profilu. Z równem powodzeniem mógłby być jednak zastosowany każdy inny racjonalny system odzyskiwania energii.

Zważywszy wyżej powiedziane, można przyjąć, iż charakterystyki wagonów motorowych, przeznaczonych do obsługi linii zakopiańskiej, powinny być w najbardziej ogólnych zarysach następujące:

Typ wagonu	dla ruchu miejscowego	dla ruchu dalekiego
Układ osi	2 wózki 2-osio- we	2 wózki 2- lub 3-osio- we
Waga wagonu próżnego.	około 56 t	około 66 t
Moc stała silników	około 400 kW	około 500 kW
Moc chwilowa (przy roz- ruchu	„ 1000 kW	„ 1250 kW
Normalny skład ciągnio- ny	1 wagon docze- pny około 20 t	2 wagony tran- zytowe ok. 90 t
Szybkość maksymalna w ruchu	85 km/godz.	90 km/godz.
Ilość miejsc do siedzenia w wagonie	70 i przedział bagażowy	70 i przedział bagażowy
Ilość miejsc w pociągu .	120	zależnie od wa- gonów

Jak wynika z przybliżonych przebiegów, obliczonych dla linii na zasadzie powyższych danych, czasy jazdy i zużycia energii otrzymamy następujące:

Rodzaj pociągu	Miejscowy	Dalekobieżny
Waga pełnego pociągu średnio	85 t	170 t
Ilość zatrzymań na linii.	22	4
Czas jazdy: przy obecnych ograni- czeniach na łukach i wzniesieniach	3 godz. 02 min.	2 godz. 36 min
przy powiększeniu do- puszczalnych szybkości o 20% przy tych sa- mych max.	ok. 2 g. 45 min.	ok 2 g. 20 min.
Szybkość handlowa	52,5 km/godz.	62 km/godz.
Powiększenie w stosun- ku do szybkości obe- cnej średnio o	100%	75%
Zużycie energii: energia pobrana z sie- ci	ok. 33 Wh/tkm	ok. 29 Wh/tkm
energia odzyskana	ok. 15%	ok. 15%
ogólne zużycie średnie.	ok. 28 Wh/tkm	ok. 25 Wh/tkm

Przejdźmy teraz z kolei do oszacowania ilości niezbęd- nego taboru wagonów motorowych. Opierając się na obliczo- nej poprzednio liczbie maks. 350 osób na godzinę w kierun- ku Krakowa w ciągu 6 godzin popołudniowych dnia świą- tecznego, możemy przeprowadzić obliczenie następujące.

Kurs pociągu lokalnego trwa 2 godz. 45 min. w jedną stronę, a w obie strony łącznie z niezbędnym postojem — okrągło 6 godz. Po 6 godzinach może zatem wyruszyć ponow- nie z krańcowej stacji pociąg motorowy, wysłany przed tym czasem na drugi krańiec.

Przy 350 podróżnych na godzinę potrzeba $350 : 120 =$ ok. 3 jednostek na godzinę, a w ciągu 6 godzin $3 \times 6 =$ 18 jednostek. Oczywiście ilość pociągów będzie blisko dwukrotnie mniejsza, gdyż stosowane być mogą składy zwiększone, 2 lub nawet 3 jednostkowe, ale to na ogólna ilość taboru nie wpłynie.

Dodając 2 jednostki zapasowe, co zupełnie wystarcza, gdyż ruch o powyższem natężeniu zdarza się w określonych terminach i tylko kilka razy rocznie, a okresy napraw i rewizyj mogą być do tych terminów dostosowane, otrzymu- jemy ogółem 20 wagonów motorowych z doczepkami, przy- łączonymi na stałe.

Jeżeli chodzi o cięższe wagony motorowe dla ruchu tranzytowego, to wyliczenia, oparte na obowiązującym rozkładzie jazdy, wykazują, iż dla obsługi wagonów turnusowych, uwzględniając już w niektórych pociągach trakcję podwójną, wystarczy 5 cięższych wagonów motorowych już razem z rezerwą.

Wagony te wymagać będą remiz dla rewizyj i ewent. noclegów, umieszczonych na krańcach: w Krakowie i w Zakopanem. Prócz tego część składów, obsługująca krakowski ruch podmiejski, będzie mogła nocować w Skawcach lub w Chabówce.

Przechodząc do sprawy sieci roboczej i podstacyj, nie napotkamy już na takie trudności, jak przy projektowaniu taboru. Najbardziej wskazane byłoby zastosowanie sieci napowietrznej łańcuchowej kompensowanej, możliwej do stosowania na liniach o dużej ilości łuków. Sieć tego typu zbudowana jest z reguły pochyło, tak iż druty robocze nie znajdują się w tej samej płaszczyźnie pionowej, co i linka nośna, która zatacza większe łuki, niż druty robocze, biegnące bliżej wewnętrznej strony torów. Wszelkie zmiany temperatury odbijają się mniejszym lub większym wychyleniem drutów z pionu, przy minimalnej tylko zmianie wysokości zawieszenia. Sieć taka jest bardzo tania w utrzymaniu, wygląda estetycznie i pracuje tem lepiej, im więcej łuków ma linja, co właśnie ma miejsce na linii zakopiańskiej.

Słupy — drewniane, rozstawione w odległościach, zależnych od promienia łuku, jednak nie większych, niż 75 metrów. Drut roboczy — podwójny o przekroju $2 \times 100 \text{ mm}^2$, zawieszony na stalowej lub krzemobronzowej lince nośnej o odpowiednim przekroju; przewodności jej nie bierzemy w rachubę i stanowi ona pewnego rodzaju zabezpieczenie dodatkowe.

Obliczenia długości trasy wskazują, iż przewidywać należy ogółem około 175 km linii roboczej jednotorowej, a mianowicie 124 km linii jednotorowej, 20 dwutorowej, 22 mijanki, oraz 4 większe stacje o kilku torach zelektryfikowanych.

Przy dopuszczalnych 25-procentowych chwilowych spadkach napięcia oraz przy zastosowaniu na odcinku Zakopane — Szaflary przewodu wzmacniającego 200 mm^2 , linja będzie mogła być zasilana tylko przez 4 podstacje trakcyjne, rozmieszczone w Szaflarach, pomiędzy Chabówką a Jordarowem, w Skawcach i w Skawinie. Będą to podstacje prostownikowe typu półsamoczynnego, t. j. uruchamiane i zatrzymywane z najbliższej stacji, a pozatem wykonywujące całą pracę samoczynnie. Jedynie podstacja w Skawcach będzie podstacją centralną i obsługiwana będzie ręcznie, kierując pracą całej sieci. Na tej podstacji będzie mógł być również umieszczony opór uziemiający, włączany w razie nadmiaru energii na sieci roboczej.

Niezbędna moc poszczególnych podstacyj, z uwzględnieniem zespołów rezerwowych, przedstawia się w przybliżeniu w sposób następujący:

Podstacja Szaflary	$3 \times 1000 \text{ kW}$
„ Chabówka	$2 \times 1000 \text{ kW}$
„ Skawce	$3 \times 1000 \text{ kW}$
„ Skawina	$2 \times 1000 \text{ kW}$

Byłoby, być może, wskazane powiększyć w rzeczywistości nieco te moce np. do 1 200, a nawet do 1 500 kW na jednostkę, ze względu na możliwość szybkiego powiększenia gęstości ruchu na linii; jest to jednak sprawa dokładniejszej kalkulacji i poważniej na cenę podstacyj nie wpłynie.

Wszystkie podstacje byłyby zasilane prądem zmiennym wysokiego napięcia 60 lub nawet 100 kV, przy czym jednak, jak już wspomniano, linje zasilające stanowiłyby własność elektrowni, a gospodarka kolejowa zaczynałaby się dopiero od zacisków wysok. napięcia na podstacjach.

Wszystkie podstacje byłyby rozdzielone zapomocą posterunków dzielnicowych, umieszczonych mniej więcej w połowie drogi między podstacjami. Posterunków takich byłoby dwa: między Chabówką i Szaflarami i między Chabówką a Skawiną. Prócz tego podstacje stanowiłyby same posterunki rozdzielcze, tak iż sieć byłaby podzielona na 8 dzielnic, wyłączanych samoczynnie w razie uszkodzenia. Prócz tego każda dzielnica byłaby podzielona na sekcje po 1 200 — 1 500 m zapomocą izolatorów powietrznych z odłącznikami. W normalnych warunkach ruchu cała sieć pracowałaby jednak jako całość.

Koszty elektryfikacji.

Przechodząc do sprawy kosztów elektryfikacji, stwierdzić musimy raz jeszcze, iż elektryfikacja nie ma nic wspólnego ze sprawą przebudowy torów, która jest potrzebna zarówno obecnie przy trakcji parowej, jak w przyszłości przy elektrycznej, lub nawet motorowej. Dlatego też kosztów przebudowy torów i stacyj w kosztach elektryfikacji nie uwzględniamy.

Ceny jednostkowe, na których oparta jest kalkulacja, pochodzą z zestawienia cen, podanych przez szereg firm na elektryfikację Węzła Kolejowego Warszawskiego. Ceny te dostosowane zostały zgruba do warunków obecnych i do potrzeb linii zakopiańskiej i mogą być uważane jedynie za wielkości wyłącznie orientacyjne.

Kosztorys elektryfikacji przedstawia się w sposób następujący:

20 wagonów motor. lżejszych po 350 000 zł.	7 000 000 zł.
5 wagonów motor. cięższych po 450 000 zł.	2 250 000 „
175 km sieci roboczej jednotorowej na drewnianych słupach łącznie z 20 km przewodu wzmacniającego średnio po 30 000 zł/km	5 250 000 „
4 podstacje trakcyjne z prostownikami ręcznymi o łącznej mocy 10 000 kW oraz 2 posterunki dzielnicowe, razem z budynkami	3 000 000 „
20 wyposażenia (kabiny sterownicze i t. p.) elektrycznych wagonów doczepnych dwuosio- wych po 15 000 zł.	3 000 000 „
Remizy, warsztaty i różne wydatki	1 000 000 „
Razem koszt elektryf. ruchu osobowego	18 800 000 „

Do sumy tej doliczyć należy jeszcze koszt nabycia 2 lokomotyw do ruchu towarowego, tego kosztu nie należy jednak uwzględniać w kalkulacji rentowności ruchu osobowego. Licząc lokomotywę po 600 000 zł.

Ogółem całkowita elektryf. ruchu 20 000 000 zł.

Rentowność elektryfikacji.

Z kolei rzeczy musimy się zastanowić nad pytaniem, czy elektryfikacja kolei zakopiańskiej byłaby przedsięwzięciem rentownym? Wobec braku obliczeń, dotyczących samej linii zakopiańskiej, zadowolili się musimy przeciętnymi danymi dla całej Dyrekcji Krakowskiej, które postaramy się tylko odpowiednio uzupełnić w zależności od charakteru linii.

W obliczeniu rentowności pominiemy wszystkie te koszty, które od systemu trakcji nie zależą, uwzględniając jedynie te pozycje wydatków, na które bezpośrednio wpływa system trakcji. Będą to więc wydatki na służby: konduktorską, trakcyjną, parowozową, wagonową, warsztatową, a dla trakcji elektrycznej jeszcze — sieci i podstacyj. Niezależnie od tego, wskutek udogodnienia komunikacji, wzmoże się z całą pewnością ruch podróźnych na linii. Wzrost ten może być bardzo znaczny i, jak dowodzi szereg doświadczeń na kolejach obcych, może osiągnąć w ciągu jednego roku 25% lub

nawet więcej. Ponieważ nie chcemy opierać obliczeń na takich dowolnych założeniach, przyjmiemy tylko, iż ruch na kolei powiększy się o ilość podróźnych, którzy w r. 1930 korzystali z komunikacji autobusowej na liniach, obsługujących te same miejscowości, co i kolej.

Prócz tego w kalkulacji będziemy brać pod uwagę tylko ruch osobowy, uwzględniając jedynie pociągi towarowe w obliczeniach obciążeń i zużycia energii, gdyż cena jej zależy w znacznej mierze od wielkości zapotrzebowania.

1. Trakcja parowa.

a) Służba konduktorska. Uwzględniając pociągi turnusowe w stosunku do przebiegów, otrzymujemy 75 osób personelu tej służby, a licząc średnio dla DOKP Kraków rocznie ok. 4 500 złotych na osobę (wydatki całkowite, rzeczowe i osobowe), razem $75 \times 4500 = 337\,000$ złotych rocznie.

b) Służba trakcyjna. Prócz innych wydatków wydatki na obsługę stacyj wodnych wynosiły 23,98 zł./1 000 parowozokm w r. 1931.

Według rozkładów jazdy, roczny przebieg pociągów na linii zakopiańskiej wynosił ok. 800 000 km, a parowozów — ok. 900 000 km. Koszt służby wodociągów byłby:

$$\frac{900\,000}{1\,000} \cdot 23,98 = \text{ok. } 21\,000 \text{ zł.}$$

c) Służba parowozowa. Koszt ogólny dla Dyrekcji Krakowskiej wynosił 1 485,56 zł./1 000 parowozokm, w tem paliwo 977,77 zł.; licząc dla linii zakopiańskiej, jako typowo górskiej, zużycie paliwa o 33% większe, mamy ogółem ok. 1 808 zł./1 000 parowozokm, czyli ogółem:

$$1\,808 \cdot \frac{900\,000}{1\,000} = 1\,630\,000 \text{ złotych rocznie.}$$

d) Służba wagonowa. Uwzględniając w kosztach ogólnych tej służby 50% na wagony towarowe, uzyskuje się po przeliczeniu 3,5 zł./1 000 osiokm i 4,63 zł./1 000 osiokm na ogrzewanie i oświetlenie. Uwzględniając średnio 20 osi w pociągu (DOKP Kraków średnio 23,3), otrzymujemy:

$$\frac{800\,000 \times 20}{1\,000} (4,63 + 3,5) = \text{ok. } 130\,000 \text{ zł rocznie.}$$

e) Służba warsztatowa. Uwzględniając wszystkie wydatki tej służby, otrzymujemy dla Dyr. Krakowskiej 650 zł./1 000 parowozokm, oraz 19,5 zł./1 000 osiokm osobowych. Daje to razem:

$$650 \times \frac{900\,000}{1\,000} + 19,5 \times \frac{800\,000 \times 20}{1\,000} = 897\,000 \text{ zł. rocznie.}$$

2. Trakcja elektryczna.

a) Służba konduktorska. Przybliżone obliczenia wykazują, iż przy trakcji elektrycznej roczny przebieg pociągów będzie daleko większy, niż przy trakcji parowej i może być oszacowany na 1 800 000 pociągokm oraz 2 200 000 jednostkokm, w tem 440 000 rocznie dla wagonów typu cięższego.

Licząc, że szybkość handlowa wyniesie średnio 55 km/godz, oraz przyjmując po jednym konduktorze na jednostkę motorową, otrzymujemy ogółem przy 1 600 godzinach jazdy na osobę rocznie:

$$\frac{2\,200\,000}{1\,600 \times 55} = 25 \text{ osób,}$$

a uwzględniając personel kontroli — około 30 osób. Przy poborach tych samych, co przy trakcji parowej, daje to rocznie: $30 \times 4500 = 135\,000$ zł.

Różnica z trakcją parową pochodzi z dwukrotnie większej szybkości handlowej i mniejszego składu pociągów.

b) Służba trakcyjna. Obliczone poprzednio wydatki na stacje wodne odpadają w tej alternatywie całkowicie.

c) Służba elektrowozowa. Wydatki osobowe wynoszą przy trakcji parowej okrażliwo 5 000 zł. na osobę rocznie. Licząc, jak dla służby konduktorskiej, mamy niezbędny personel:

$$\frac{1\,800\,000}{55 \times 1\,600} = 20 \text{ osób,}$$

a uwzględniając rezerwy oraz nierównomierności ruchu — 40 osób, licząc z rezerwą. Daje to rocznie: $40 \times 5000 = 200\,000$ złotych.

Prócz tego do kosztów tej służby dochodzą koszty energii elektrycznej i smarów.

Przyjmując średnią wagę jednostki motorowej 100 t (lokalne 85 t, tranzytowe 170 t), średnie zużycie na zbieraczach — 27 Wh/tkm, oraz średnie straty z uwzględnieniem ogrzewania — 35%, otrzymujemy ogólne zużycie dla podstacji po stronie wysokiego napięcia:

$$\frac{2\,200\,000 \times 100 \times 36,5}{1\,000} = 8\,000\,000 \text{ kWh rocznie.}$$

Dodając do tego ruch towarowy, otrzymamy łącznie około 10 milionów kWh oraz ostrze, które może być oszacowane na 8 000 kW w dniu świątecznym, lub przedświątecznym w zimie.

Licząc według oferty jednej z elektrowni Zagłębia Węglowego oraz uwzględniając koszty oprocentowania i utrzymania sieci zasilającej 60 kV o długości około 140 km, otrzymamy, że cena energii elektrycznej w tych warunkach powinna wynosić ok. 11 gr/kWh loco podstacja. Daje to dla samego ruchu osobowego rocznie:

$$8\,000\,000 \times 0,11 = 880\,000 \text{ złotych.}$$

Przyjmując na smary i czyszczenie wagonów motorowych 1/4 tych kosztów dla parowozów, otrzymujemy rocznie okrażliwo sumę 35 000 złotych.

Razem służba elektrowozowa: $200\,000 + 880\,000 + 35\,000 = 1\,115\,000$ zł.

d) Służba wagonowa. Licząc jak dla trakcji parowej, ale proporcjonalnie do przebiegów, które przy trakcji elektrycznej mogą być oszacowane dla wagonów doczepnych na 7 040 000 osiokm, oraz odliczając koszt ogrzewania i oświetlenia, uwzględniony w cenie prądu, otrzymamy:

$$\frac{7\,040\,000 \times 3,5}{1\,000} = \text{ok. } 25\,000 \text{ złotych rocznie.}$$

e) Służba warsztatowa. Wobec braku dokładniejszych danych, posiłkujemy się liczbą, przyjętą w kalkulacjach rentowności Kolejowego Węzła Warszawskiego, która nie była dotąd zakwestjonowana — 20 groszy wagono/km, powiększając ją dla uwzględnienia trudniejszych warunków ruchu o 20% do 24 groszy. W ten sposób otrzymujemy:

$$0,24 \times 220\,000 = 528\,000 \text{ złotych, dla wagonów motor,}$$

$$\text{oraz } 19,5 \times \frac{7\,040\,000}{1\,000} = 137\,000 \text{ zł. dla doczepnych,}$$

czyli razem 665 000 złotych rocznie.

f) Służba podstacji i sieci. Koszty tej służby można oszacować w przybliżeniu, licząc zgodnie z doświadczeniami zagranicznymi po 600 zł. na km torów głównych i po 15 000 zł. na podstację pół-samoczynną rocznie. Daje to w sumie:

$$600 \times 144\,15000 \times 4 = 146\,000 \text{ złotych.}$$

Ogółem koszty służb, zależnych od systemu trakcji, będą się przedstawiać w sposób następujący:

S ł u ż b a	Trakcja parowa	Trakcja elektryczna
Konduktorska.	337 000	135 000
Trakcyjna.	21 000	—
Parowozowa (elektrown.)	1 630 000	1 115 000
Wagonowa	130 000	25 000
Warsztatowa	897 000	665 000
Podstacy i sieci	—	146 000
Razem	3 015 000	2 086 000
Roczne oszczędności przy trakcji elektrycznej.		929 000

Równoległe z oszczędnościami eksploatacyjnymi wznosną po wprowadzeniu trakcji elektrycznej dochody eksploatacyjne, gdyż ilość podróży z całą pewnością zwiększy się poważnie. Uwzględniając dla ostrożności jedynie wzrost przejazdów o ilość podróży w komunikacji autobusowej, otrzymamy wzrost o 16 100 000 osobo/km (1 480 autobusów/km średnio dziennie na odcinkach, wspólnych z koleją). Daje

to przy średniej opłacie 6 gr/km, dodatkowy dochód roczny: $16\ 100\ 000 \times 0,06 = 970\ 000$ złotych, a razem z oszczędnościami eksploatacyjnymi ogółem ok. 1 900 000 złotych rocznie.

Kapitał ten przeznaczony być musi na pokrycie oprocentowania i amortyzacji dodatkowych urządzeń elektryfikacyjnych o wartości 18 800 000 złotych, co stanowiłoby około 10% rocznie. Uwzględnić jednak jeszcze należy fakt, iż niezależnie od wysokości oprocentowania, kolej zyska nowy, zupełnie nowoczesny tabor, który zastąpi tabor parowy, niezdatny praktycznie do użytku na rozpatrywanej linii, którego wartości zresztą wogóle nie uwzględniamy, a prócz tego rozwiązane zostanie radykalnie zagadnienie komunikacji w Zakopanem, co przyniesienie nieocenione korzyści natury ogólnej. Pozatem można z całą pewnością stwierdzić, iż elektryfikacja spowoduje poważny wzrost frekwencji na linii, co przyczyni się do dalszego powiększenia jej rentowności.

ZAKOPANE I GMINY SĄSIEDNIE POD WZGLĘDEM ELEKTRYFIKACJI.

Inż. Izydor Władysław Pilkiewicz i Jan Kontrymowicz-Ogiński.

Streszczenie. Początki elektryfikacji w Zakopanem. Budowa sieci miejskiej i rozbudowa elektrowni w Kuźnicach. Budowa miejskiego zakładu elektrycznego wytwórczego. Rozwój miejskiego zakładu elektrycznego (sieci i elektrowni). Współpraca elektrowni ciepłej i wodnej. Projekt kolejki linowej. Inne zakłady elektryczne w rejonie zakopiańskim. Zakład elektryczny w Nowym Targu i uwagi o możliwościach współpracy tegoż z zakładem w Zakopanem oraz uwagi o elektryfikacji sąsiednich gmin.

Uwagi ogólne.

Pierwsza wzmianka historyczna o Zakopanem datuje się z roku 1578 (przywilej osadniczy króla Stefana Batorego). Do połowy w. XIX Zakopane było wioską, pozbawioną nawet drogi dojazdowej do Nowego Targu. W r. 1886 Zakopane otrzymało statut i ustrój uzdrowiska pod zarządem Komisji Klimatycznej i Rady Gminnej. Ważnymi etapami rozwoju Zakopanego były: budowa kolei Kraków—Chabówka w r. 1882, gościńca z Nowego Targu do Zakopanego w r. 1884, kolei Chabówka—Zakopane w r. 1899.

Początki elektryfikacji w Zakopanem.

Kiedy powstała pierwsza drobna elektrownia w Zakopanem, brak dokładnych zapisków; jednak wiadomo, że w końcu ubiegłego stulecia już istniało ich kilka. Były to elektrownie, wybudowane dla oświetlenia poszczególnych niewielkich obiektów.

W początku bież. stulecia rozpoczęto zabiegi o zelektryfikowanie całego obszaru Zakopanego. Pierwsze próby zorganizowania oświetlenia elektrycznego nie doprowadziły do skutku. Ostatecznie utrzymała się koncepcja elektrowni w Kuźnicach, będącej własnością ś. p. hr. Zamoyskiego, która miała dostarczać prądu zapomocą sieci, będącej własnością gminy.

Budowa sieci miejskiej i rozbudowa elektrowni w Kuźnicach.

18 maja 1914 r. pomiędzy gminą a ś. p. Wł. hr. Zamoyskim zawarto umowę, na podstawie której zobowiązał

się on rozbudować zakład elektryczny w swych dobrach Kuźnice tak, by dostarczać do sieci miejskiej nie mniej, niż 170 000 kWh rocznie.

Wybuch wojny światowej spowodował opóźnienie wykonania powyższej umowy. Po raz pierwszy zabłysło światło elektryczne na ulicach Zakopanego dopiero w Boże Narodzenie 1919 r., a roboty przy budowie sieci miejskiej były ukończone dopiero w r. 1920.

Sieć miejska była wybudowana pod kierunkiem „Grupy elektrotechnicznej” Centrali Odbudowy Galicji i za pieniądze, uzyskane z kredytów w wysokości 450 000 koron od wyżej wspomnianej Centrali Odbudowy.

W Kuźnicach narazie była zainstalowana turbina wodna o mocy 300 KM, bezpośrednio połączona z prądnicą trójfazową 5000 V 180 kW. Od Kuźnic wybudowano linię napowietrzną 5000 V, która szła wzdłuż potoku Bystrego na przestrzeni około 4000 m. W mieście były wybudowane stacje transformatorowe 5000/380/220 V i sieć 380/220 V.

Elektrownia w Kuźnicach była pomyślana jako przewidywana na lat kilka. Lecz już w następnym roku nie mogła ona pokryć zapotrzebowania, gdyż z powodu zmniejszenia się ilości wody w miesiącach zimowych turbosespół zamiast 180 kW mógł dawać tylko 60—15 kW.

Celem zaradzenia złemu ówczesny dyrektor dóbr Kuźnickich proponował hr. Zamoyskiemu zakupienie zespołu dyzelskiego o mocy 265 kW, lecz zamiast tego ustawiono lokomobilę parową o mocy 250 KM, która napędzała prądnicę trójfazową 125 kVA. Obie maszyny, to jest turbina wodna i lokomobilę parowa, pracując równocześnie, nie były w możliwości w czasie sezonu zimowego, a potem nawet i letniego dostarczyć potrzebnej ilości energii elektrycznej. Dochodziło do takich krytycznych momentów, że przez całe tygodnie wszystkie zakopiańskie kawiarnie i restauracje oświetlone były świeczkami, zakazywano oświetlenia wystaw sklepowych, a bardzo często gaszono wszystkie lampy uliczne i pograżano Zakopane w ciemnościach. W końcu zaś musiano wydać zarządzenie wstrzymania wszelkich nowych przyłączeń, chociaż ruch budowlany w tym czasie był nader ożywiony.

Miejski zakład elektryczny wytwórczy.

W takim stanie rzeczy gmina zdecydowała się wybudować własną elektrownię ciepłą w miejscu, gdzie potok Bystry wpada do potoku Cicha Woda. Odnośna uchwała Rady Gminnej zapadła w roku 1924, pierwszy zespół dyzlowski o mocy 265 kW uruchomiono 14 października 1926 roku. Drugi zespół dyzlowski o mocy 320 kW uruchomiono w roku 1928, trzeci o mocy 540 kW — w końcu roku 1930.

W dniu 27 czerwca 1932 r. Gmina Miejska uzyskała uprawnienie rządowe Nr. 188 na zakład elektryczny.

Obecnie z powodu zużycia pierwszy zespół może dawać tylko do 240 kW, a więc trzy zespoły razem — do 1100 kW.

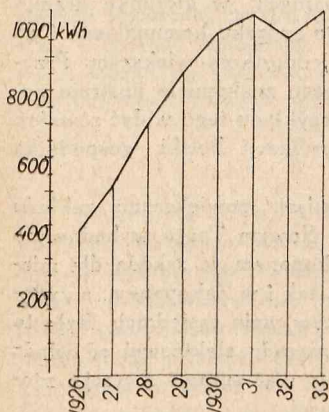
Największe obciążenie elektrowni Gminy dochodziło w roku 1926 do 120 kW, w r. 1927 — 265 kW, 1928 — 420 kW, 1929 — 540 kW, 1930 — 540 kW, 1931 — 540 kW, 1932 — 550 kW i 1933 — 540 kW.

Rozwój miejskiego zakładu elektrycznego.

Na 1 kwietnia 1933 r. zakład elektryczny Gminy miał 20 stacji transformatorowych 5000/380/220V o ogólnej mocy 980 kVA, lamp wysokoświetlowych dla oświetlenia ulicznego 73, mniejszych 280, ogólna moc oświetlenia ulicznego

była 47,7 kW. Ogólna długość linii napowietrznych 5000 V wynosiła 6429 m, kabla 5000 V — 4104 m, linii napow. 380/220 V — 33 402 m, kabla 380/220 V — 1964 m, złączy kablowych — 1 156 m, złączy napow. — 14 121 m. Ogólna długość sieci oświetlenia publicznego wynosiła: kablowej — 981 m, napowietrznej — 22 123 m.

Wytwórczość elektrowni miejskiej oraz energje, pobraną od elektrowni wodnej w Kuźnicach w latach 1926—1933, podaje rys. 1.



Rys. 1.

Energje, wytworzoną przez zakład ciepły i pobraną z zakładu wodnego dla sieci miejskiej w poszczególnych miesiącach, podaje tablica I.

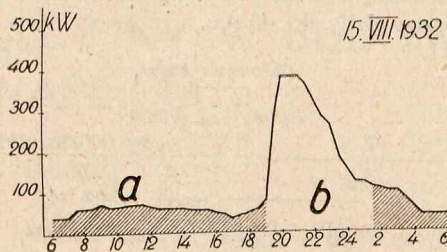
Tablica I.

Miesiąc	R o k			
	1930	1931	1932	1933
Styczeń	116 533	127 520	130 268	143 505
Luty	94 504	104 080	109 049	110 772
Marzec	75 356	89 430	87 948	92 547
Kwiecień	61 174	66 500	69 605	72 307
Maj	61 190	63 080	59 125	59 674
Czerwiec	57 150	59 590	62 577	56 439
Lipiec	58 495	78 171	75 179	72 071
Sierpień	89 000	91 241	79 440	85 361
Wrzesień	80 900	82 600	79 241	83 464
Październik	86 000	81 700	78 063	83 478
Listopad	89 420	97 823	82 800	90 698
Grudzień	119 400	125 272	112 953	133 710
Razem	989 122	1 067 007	1 026 248	1 084 026

W roku 1932 zdemontowano na elektrowni w Kuźnicach lokomobilę 250 KM, a zamiast niej zainstalowano drugą turbinę wodną, bezpośrednio połączoną z prądnicą trójfazową 5000 V, tak że obecnie elektrownia w Kuźnicach

ma napęd tylko wodny (przedtem miała wodny i ciepły). Nominalna moc jej wynosi 260 kW, lecz w czasie małej wody może ona dać nie więcej, niż 60—15 kW.

Aby poprawić warunki gospodarcze ruchu elektrowni w Zakopanem, Zarząd Miejski porozumiał się z Zarządem Fundacji Kuźnickiej tak, że w czasie małego obciążenia silniki dyzlowskie nie pracują.

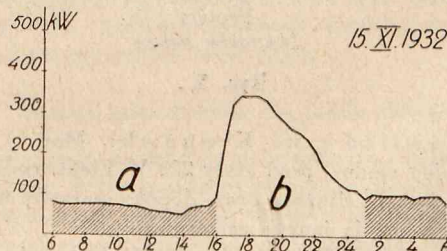


Rys. 2.

Współpracę elektrowni ciepłej i wodnej w Zakopanem można widzieć na rys. 2, 3 i 4. Połączenie tych elektrowni pokazano na rys. 5.

Projekt kolejki linowej.

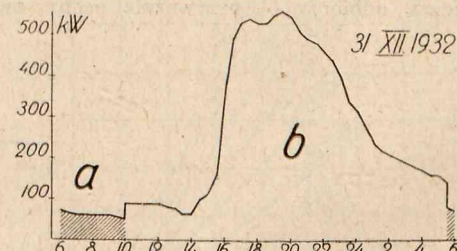
Jako poważnego przyszłego odbiorcę energii elektrycznej w Zakopanem należy wymienić projektowaną kolejkę linową od okolic dworca kolejowego do Gubałówki, gdzie w przyszłości ma powstać dzielnica sanatoryjna.



Rys. 3.

Sprawa ta została poruszona już dawno; można sądzić, że w prędkim czasie doczeka się ona realizacji.

Kolejka ma być mniej więcej takiego typu, jak Rax-bahn pod Wiedniem, Meran-Hofling-bahn, Zugspitzbahn i cały szereg kolejek w Bawarii i we Włoszech.



Rys. 4.

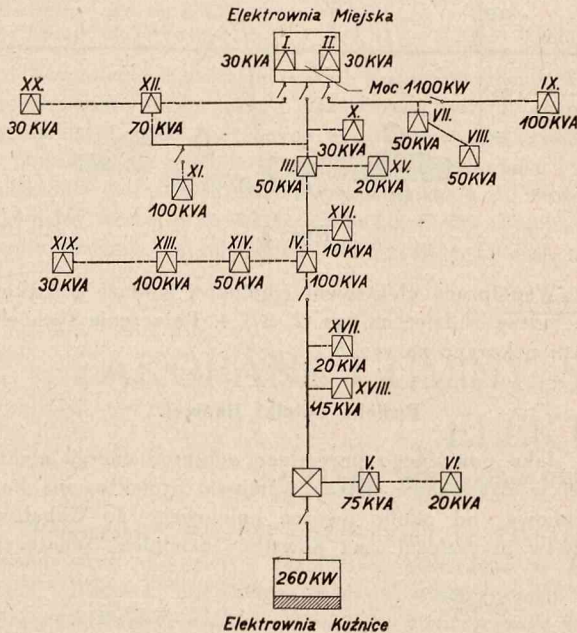
Inne zakłady elektryczne.

Oprócz wyżej opisanych zakładów elektrycznych wodnego i ciepłego, które pracują równolegle na wspólną sieć, na obszarze gminy Zakopane i sąsiednich istnieją jeszcze następujące elektrownie:

1. Sanatorium Wojskowego im. Marszałka J. Piłsudskiego w gminie Kościelisko. Moc —

38 kW, dwie maszyny parowe, prąd stały 110 V. Prawdopodobnie Sanatorium wkrótce będzie pobierało prąd z sieci miejskiej, gdyż prowadzenie małej własnej elektrowni już się nie opłaca.

2. Związku Polskiego Nauczycielstwa Szkół Powszechnych. Moc — 28 kW, jeden silnik spalinowy, prąd trójfazowy 380/220 V. Elektrownia ta istnieje tylko dlatego, że dotychczas pertraktacje o cenę prądu nie doprowadziły do skutku.



Rys. 5.

3. Pawliców, ul. Krupówki. Moc — 12 kW, jedna turbina wodna, prąd stały 220 V. Elektrownia ta może istnieć jeszcze dłuższy czas, dopóki maszyny nie zużyją się albo nie znajdą innego zastosowania.

4. Hotelu „Sport” firmy „S. Karpowicz i Syn”. Jedna turbina wodna o mocy 10 kW, prąd stały 110 V. Dodatkowo pobiera energię z sieci miejskiej.

5. Pensjonatu „Kresy” Ołdakowskiego. Jedna turbina wodna o mocy 3 kW, prąd stały 110 V. Energję elektryczną pobiera również z sieci miejskiej.

6. J. Uznańskiego w Jaszczurówce. Dwie turbiny wodne o mocy 32 kW, prąd stały 220 V. Elektrownia ta powstała przed wojną przy tartaku, sieci miejskiej blisko niema, odbiorcy — przeważnie osoby, związane z

tartakiem, więc elektrownia ta może jeszcze istnieć dłuższy czas.

7. Zakładu el. w Nowym Targu. Elektrownia gminy Nowy Targ znajduje się trochę dalej (około 20 km od elektrowni gminy Zakopane), jednak winna być rozpatrywana łącznie z rejonem zakopiańskim. Elektrownia ta powstała stosunkowo dawno, bo przed rokiem 1898. Energia wytwarza się przeważnie siłą wodną, tylko w wyjątkowych wypadkach uruchamia się maszynę parową.

Choć elektrownia powstała więcej niż 30 lat temu, dotychczas nie wszyscy mieszkańcy Nowego Targu mogą z niej korzystać. Tłumaczy się to mylną polityką poprzednich zarządów miejskich, które nie prelimitowały pieniędzy na elektryfikację. Gdyby elektrownia była odpowiednio prowadzona, nie byłoby potrzeby w roku 1925 budować nowy zakład wytwórczy w Zakopanem; należało zainstalować turbozespół w Nowym Targu i dostarczać energję elektryczną do Zakopanego i gmin sąsiednich. Przemawia za tem łatwiejszy dowóz opału do Nowego Targu, niż do Zakopanego.

Inż. K. Siwicki, Dyrektor Biura Elektryfikacji w Min. Przemysłu i Handlu, umieścił w zesz. 48-ym z 1933 r. „Polski Gospodarczej” artykuł, w którym między innymi podaje, że na posiedzeniu w dniu 24.XI. 1933 r. Komitet Ekonomiczny Ministrów uchwalił wniosek, zmierzający do reorganizacji elektrowni komunalnych w kierunku usamodzielnienia ich od władz danego związku komunalnego i do nadania osobowości prawnej jednostkom większym. Przykład Nowego Targu i Zakopanego znakomicie ilustruje potrzebę takiej reorganizacji. Z przykładu tego widać również, jak szkodliwa jest dla elektryfikacji Polski gospodarka czynników nefachowych.

W danym wypadku, zamiast powiększenia zakładu elektrycznego wytwórczego w Nowym Targu wybudowano nowy zakład wytwórczy w Zakopanem ze szkodą dla mieszkańców jak w Nowym Targu, tak i w Zakopanem, a zwłaszcza ze szkodą dla mieszkańców gmin sąsiednich. Było to wynikiem zupełnej zależności zarządu elektrowni od władz komunalnych, które nie potrafiły ująć sprawy szerzej i zgodnie z wymaganiami społecznymi.

Jeśli przed rokiem 1926 zakłady elektryczne jak w Zakopanem tak i w Nowym Targu miały większą samodzielność i nie były zmuszone liczyć się wyłącznie tylko z wąsko rozumianymi korzyściami swojej gminy, lecz również gmin sąsiednich i wymaganiami elektryfikacji ogólnej, niewątpliwie wszystkie gminy sąsiednie byłyby już zelektryfikowane; byłoby to oczywiście dla nich bardzo korzystne.

DZIAŁ ELEKTROWNIANY.

DRZEWO JAKO MATERJAŁ IZOLACYJNY W BUDOWIE LINII WYSOKIEGO NAPIĘCIA.

Inż. Stanisław Gieszczykiewicz.

Pomorska Elektrownia Krajowa „Gródek”.

Streszczenie. Na podstawie badań i doświadczeń, wykonanych i zebranych głównie w Ameryce, wykazano, że drzewo posiada znakomite własności izolacyjne dla fal udarowych. Wilgoć, zanieczyszczenie, rodzaj drzewa i nasycenie nie wpływa na te własności. Drzewo jest zatem nadzwyczaj cennym materiałem w budowie linii wysokiego napięcia, gdyż fale udarowe, powstające wskutek przepięć atmosferycznych, stanowią dla nich najgroźniejsze niebezpieczeństwo. Przy racjonalnej konstrukcji, umiejętnie wykorzystującej własności izolacyjne drewnianych części konstrukcji wsporczej, można uzyskać duży stopień bezpieczeństwa i uniknąć uszkodzeń. Podano główne wytyczne, jakimi można się kierować przy projektowaniu różnych typów linii elektrycznych napowietrznych.

I. Wstęp.

Stosowanie drzewa w budowie elektrycznych linii napowietrznych datuje się od samych początków przesyłania energii elektrycznej. Jednakże do niedawna traktowano drzewo przede wszystkim jako tani materiał wsporczy, nie zdając sobie jasno sprawy z jego własności izolacyjnej, podkreślając natomiast często jego wady, a mianowicie możliwość spalenia drewnianej konstrukcji wsporczej, zwłaszcza wskutek upływu prądu, jak również ograniczony okres trwałości, spowodowany gniciem. Dopiero badania, przeprowadzone w ostatnich latach na szerszą skalę (prawie wyłącznie w laboratorjach w Stanach Zjednoczonych), jak również celowe pomiary, próby i obserwacje, zebrane w praktyce, rzuciły dużo światła na tę ogromnie cenną właściwość drzewa, jaką jest jego zdolność izolacyjna zwłaszcza dla fal udarowych.

Badania, o których wspominałem, są u nas stosunkowo mało znane, to też w budowie linii wysokiego napięcia stosuje się często konstrukcje nieracjonalne pod względem elektrycznym albo też wykorzystuje się własności izolacyjne drzewa zupełnie przypadkowo. Sprawę własności izolacyjnych drzewa pomijają milczeniem również „Przepisy techniczne na linie elektryczne prądu silnego”, wydane przez Ministra Robót Publicznych 26 kwietnia 1932 r., które traktują drzewo jedynie jako drugorzędny materiał wsporczy i ograniczają możliwość stosowania go w pewnych wypadkach. Stanowisko to wobec nowszych badań nie jest, moim zdaniem, uzasadnione i wpływa na hamowanie postępu elektryfikacji.

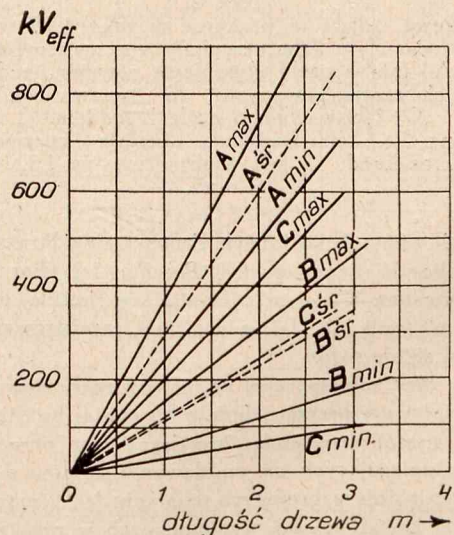
Zapatrywania na budowę linii wysokiego napięcia, a w szczególności na ich izolację, uległy gruntownej zmianie, odkąd przeprowadzono pomiary i obserwacje w praktyce, umożliwiające bliższe poznanie zarówno jakościowe jak i ilościowe zjawisk przepięciowych, grających dominującą rolę w technice przesyłania energii elektrycznej przy pomocy przewodów napowietrznych. Stwierdzono, że wbrew daw-

niejszym przypuszczeniom przepięcia, powstające w ruchu wskutek łączeń i t. p., nie stanowią niebezpieczeństwa dla linii przesyłowych. Głównym źródłem zaburzeń są dla linii przepięcia, powstające wskutek uderzenia pioruna czy to w pobliżu linii, czy też bezpośrednio w linię elektryczną, przyczem te ostatnie stanowią dla ruchu niebezpieczeństwo znacznie poważniejsze. Z powyższego jasno wynika, iż podstawowym warunkiem bezpieczeństwa ruchu linii elektrycznej napowietrznej jest wykonanie takie, aby była ona zupełnie pewna na pioruny (lightning proof).

Na podstawie analizy statystyk i obserwacji zauważono, że linie wysokiego napięcia, wykorzystujące własności izolacyjne drzewa, dają wyniki lepsze, aniżeli linie z uziemionymi konstrukcjami wsporczy, przy zastosowaniu izolatorów porcelanowych tej samej wielkości i typu. Obserwacje te były powodem podjęcia gruntowniejszych studiów nad drzewem jako materiałem izolacyjnym.

II. Drzewo jako izolator dla prądu zmiennego.

Stwierdzono, że drzewo zachowuje się zupełnie inaczej przy próbach, przeprowadzonych przy zastosowaniu prądu zmiennego o częstotliwości 60 okresów na sekundę, inaczej przy próbach przy pomocy fal udarowych. W razie przyłączenia napięcia na stałe, własności izolacyjne drzewa zależą w dużej mierze od rodzaju drzewa, sposobu przygotowania go, zawartości wilgoci i zanieczyszczeń, przyczem istnieje niebezpieczeństwo, że upływ prądu może spowodować



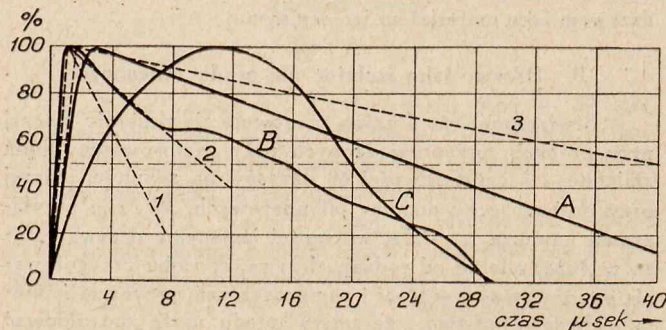
Rys. 1.

Napięcie przeskoku (wartość skuteczna) poprzeczek jodłowych, zmierzone prądem zmiennym o 60 okr./sek. Krzywe, oznaczone literą „A” dotyczą porzeczek z drzewa wysuszonego, „B” — z drzewa surowego, „C” — z drzewa mokrego.

spalenie drzewa. Nasycanie drzewa olejem smołowym nie wpływa znacznie na zmianę jego własności izolacyjnych. Na rys. 1 podano wyniki, osiągnięte przez inżynierów amerykańskich¹⁾ przy próbach, dokonanych na poprzeczkach drewnianych przy rozmaitym odstępie elektrod: przy zastosowaniu drzewa wysuszonego (seasoned), drzewa niewysuszonego (unseasoned) i drzewa mokrego. Widzimy, że dla drzewa suchego napięcie przeskoku dochodzi do jedenastokrotnej wartości napięcia dla drzewa mokrego. O ileby zatem chodziło o izolację dla prądu zmiennego, to byłoby zrozumiałe, że niewiele można spodziewać się od drzewa, którego wytrzymałość elektryczna jest tak zależna od wilgoci i różnych przypadkowych warunków. Zaznaczyłem jednak już poprzednio, że izolacja linii napowietrznej, jeżeli ma ona wytrzymać przepięcia atmosferyczne, nie zależy od napięcia ruchu, ale od całego szeregu czynników innych, jak: wysokość przewodów nad ziemią, wzniesienie i konfiguracja terenów, przez które przebiega linia, warunki atmosferyczne i geologiczne i t. d., a zatem od wszystkich czynników, decydujących o przepięciach atmosferycznych, na jakie linia będzie narażona w czasie pracy. Izolacja, jaką zapewniają w praktyce izolatory porcelanowe lub szklane, jest zazwyczaj wystarczająca, aby zapobiec zaburzeniom, spowodowanym przez przepięcia, zależne od napięcia ruchu.

III. Fale udarowe w praktyce i w laboratorium.

Wskutek przepięć atmosferycznych na liniach powstają fale udarowe wędrownie. Przy pomocy oscylografów katodowych zarejestrowano cały szereg takich fal na liniach przesyłowych. Na rys. 2 przedstawiono charakterystyczny



Rys. 2.

Fale udarowe, zdjęte w praktyce w roku 1929 w Wallenpaupack, oraz fale laboratoryjne, znormalizowane przez AIEE. „A” fala o czole i grzbiecie równym średniej z 35 najwyższych zarejestrowanych. „B” typowa fala o czole stromym. „C” typowa fala o czole łagodnym. 1 fala znormalizowana 1×5 mikrosekund; 2 fala znormalizowana 1×10 mikrosekund; 3 fala znormalizowana $1,5 \times 40$ mikrosekund.

kształt fal, zdjętych na liniach Pennsylvania Power & Light Co w okolicy Wallenpaupack²⁾. Przebieg fali charakteryzuje się tak zwanym „czołem” (front), wysokością napięcia i „grzbietem” (tail) fali. Jak widać, fale zarejestrowane znacznie się od siebie różnią.

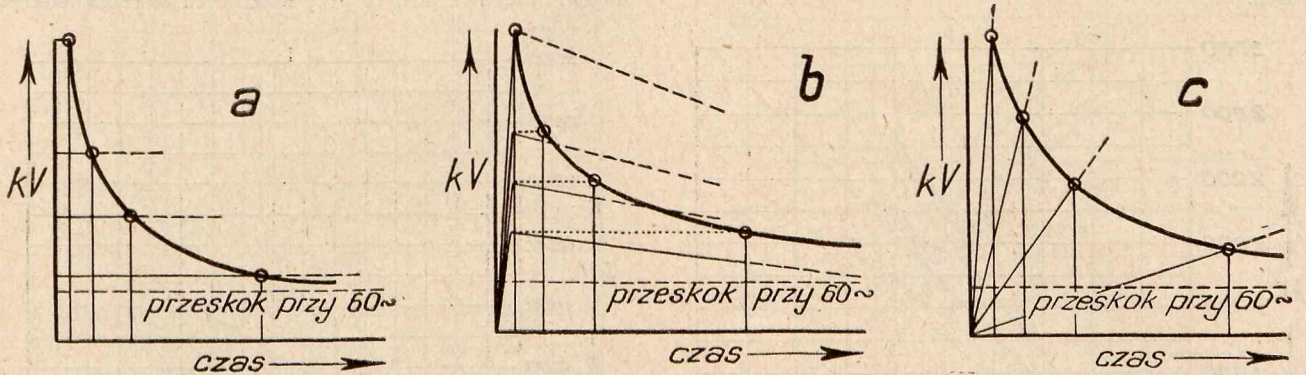
Aby zdać sobie sprawę z tego, jak zachowywać się będą pod wpływem przepięć linie o rozmaitej konstrukcji i w rozmaity sposób izolowane, konieczne jest przeprowadzenie prób, polegających na poddawaniu słupów danej konstrukcji normalnie uzbrojonych działaniu fal, których kształt odpowiada kształtowi fal, występujących w praktyce, przy czym korzystne jest również zbadanie, jak zachowywać się będzie łuk prądu zmiennego, następujący po łuku, wywołanym

¹⁾ Spis części literatury, którą się posługiwałem, podał na końcu artykułu.

nym falą udarową. Opierając się jedynie na tego rodzaju próbach, można konstrukcji nadawać odpowiednie wymiary i ustalać izolację całego ustroju. Zrozumiałe jest, że nie może wysoka izolacja części ustroju, gdy dopuści się cały szereg punktów słabych, będących później powodem zaburzeń. Badanie izolacji przy pomocy fal udarowych przeprowadzono w dużym zakresie w różnorodny sposób w rozmaitych laboratorjach, próbując zarówno poszczególne czony ustroju, jak również badając je w różnych układach. Fale udarowe otrzymywano przy pomocy odpowiednich urządzeń, których główna zasada polega na tem, że ładuje się baterję kondensatorów równolegle, a następnie wyładowuje się ją szeregowo, przy czem szeregowo połączenie zostaje uskutecznione samoczynnie przez iskierniki, działające w chwili, gdy napięcie na kondensatorach dojdzie do odpowiedniej wysokości. Przez szeregowo połączenie otrzymuje się wielokrotność napięcia jednego kondensatora, odpowiadającą ilości kondensatorów, połączonych szeregowo. Przez różnorodną konstrukcję i dobór poszczególnych danych urządzenia można uzyskać rozmaite fale udarowe. Doniedawna panowała znaczna rozbieżność, przy czem wyników, osiągniętych w różnych laboratorjach, nie można było porównywać i korzystanie z nich dla celów konstrukcyjnych było znacznie utrudnione, gdyż napięcie przeskoku zależy zarówno od wysokości napięcia, szybkości podnoszenia napięcia, czasu trwania, jak i biegunowości fali, a zatem od tylu czynników, że rachunkowe uwzględnienie ich nie jest dziś możliwe. Z końcem roku 1932 Podkomitet przepięć atmosferycznych i izolatorów AIEE (Subcommittee on Lightning and Insulators) wystąpił z propozycją³⁾ normalizacji fal udarowych, zalecając stosowanie fal $0,5 \times 5$ mikrosek., 1×10 mikrosek., $1,5 \times 40$ mikrosek. Pierwsza cyfra oznacza czas w mikrosekundach od zera do osiągnięcia szczytu, druga od zera do punktu na „grzbiecie” fali, w którym napięcie równe jest połowie napięcia szczytowego. Z początkiem roku 1933 Podkomitet wydał instrukcje obszerniejsze⁴⁾, zmieniając fale, jak następuje: 1×5 mikrosek., 1×10 mikrosek., $1,5 \times 40$ mikrosek. Uczyniono to z tego powodu, że osiągnięcie szczytu w ciągu ułamka mikrosekundy nastęczało w niektórych laboratorjach poważne trudności. Jak widać z rys. 2, fale te w stopniu dostatecznym odpowiadają falom, zarejestrowanym w praktyce. Ponieważ na liniach stwierdzono zarówno fale dodatnie, jak i ujemne, to, aczkolwiek napięcia przeskoku dla fal dodatnich są naogół niższe, zaleca się jednak przeprowadzenie pomiarów przy pomocy fal obu biegunowości, aby w ten sposób osiągnąć całkowity obraz własności izolacyjnych badanego obiektu. Pomiar można przeprowadzać w sposób rozmaity. Najbardziej celowe jest zdejmowanie charakterystycznych krzywych napięcia przeskoku izolacji (voltage-time flashover characteristic of insulation) w zależności od czasu, po którym następuje przeskok. Do zdjęcia tych krzywych należałoby właściwie użyć idealnych fal prostokątnych o czole prostokątnym, zwiększając stopniowo wysokość napięcia i na podstawie oscylogramów ustalając czas do przeskoku. Wykreślenie krzywej, zbudowanej na podstawie odnoszących oscylogramów, jest bardzo proste, jak to widzimy na rys. 3a. Ponieważ w praktyce osiągnięcie fali prostokątnej nie jest możliwe, przeto krzywą charakterystyczną można otrzymać, posługując się falą o czole pochyłym, zbliżoną do fali prostokątnej. Zwiększając amplitudę fali udarowej, uzyskuje się czasy przeskoku coraz krótsze; opierając się na oscylogramach, wykreśla się odpowiednią krzywą tak, jak pokazano na rys. 3b. Można wreszcie zbudować krzywą, posługując się falami o czole wznoszącym się ze stałą szybkością, przy czem zmienia się pochyłość czoła poszczególnych fal. Przeskok następuje na „czoło” fali, a nie na „grzbiecie”, jak w przypadku, pokazanym na rys. 3a i 3b. Sposób wy-

kreślenia tej krzywej pokazano na rys. 3c. Można wreszcie, posługując się rozmaitymi falami, ustalać najniższe napięcia, przy których, przy powtórnych próbach danem napięciem, przeskok następować będzie w 50% na obiekcie badanym.

wych podawał najniższą wartość szczytu fali, przy którym następował przeskok na „grzbiecie”, nie podając czasu opóźnienia, t. zn. czasu, który upłynął od chwili powstania fali do chwili przeskoku. Do prób stosował on napięcie w



Rys. 3.

Charakterystyczne krzywe napięcia przeskoku, zdjęte przy pomocy fal udarowych; a) fali teoretycznej prostokątnej, b) fali praktycznie osiągalnej o stromym czołe i płaskim grzbiecie, c) falami o różnym pochyleniu czoła. Przeskok następuje na czołe fali.

U w a g a: Linjami kreskowanymi poziomymi podano, przy jakich napięciach szczytowych następuje przeskok przy prądzie zmiennym o częstotliwości 60 okr./sek.

Ostatnia metoda nie wymaga stałego stosowania oscylografu katodowego i daje oczywiście charakterystyki odmienne, których nie można porównywać z poprzednimi.

Powyzsze wskazania Podkomitetu spotkały się z krytyką i być może, iż w miarę zbierania większej ilości materiału doświadczalnego ulegną one odpowiednim zmianom.

IV. Badania drzewa jako izolatora dla fal udarowych.

Jak już zaznaczyłem, różni badacze przed wydaniem powyższych wskazań posługiwali się różnymi metodami, dlatego też badania te nie są kompletne i koniecznym jest zebranie większego materiału, aby móc, opierając się na nich i bez potrzeby uciekania się przy nowych układach do nowych seryj prób, budować celowo linie wysokiego napięcia.

Austin⁵⁾ w swych badaniach nad drzewem jako materiałem izolacyjnym posługiwał się prądem o wysokiej częstotliwości 60 000 okresów na sek., przyczem porównywał przeskoki, jaki osiągał na izolatorach, zmontowanych na uziemionej konstrukcji stalowej, z przeskokiem, otrzymywanym na izolatorach na konstrukcjach drewnianych. Zmieniając ilość izolatorów wisiorowych na konstrukcji żelaznej, można było w przybliżeniu porównywać otrzymane wyniki. Nie podaje bliżej wyników tych badań, gdyż mamy dziś wyniki późniejszych badań, przeprowadzonych przy pomocy fal udarowych i przy użyciu oscylografów katodowych.

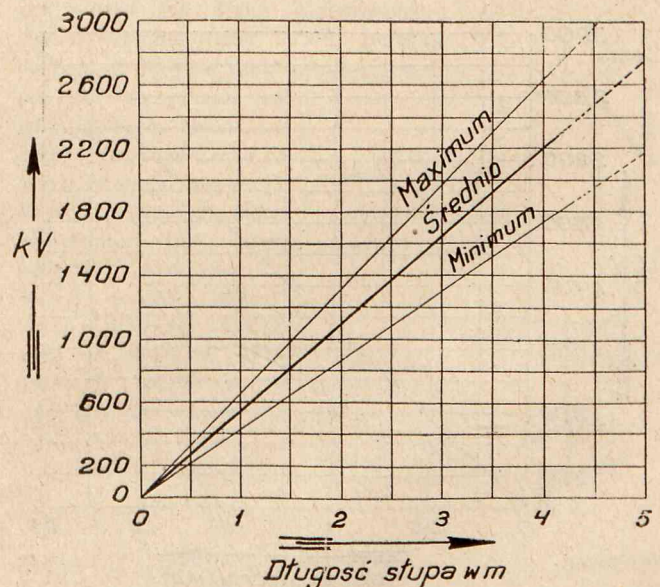
Peek⁶⁾ 2), streszczając badania swoje nad drzewem, podaje, że słupy drewniane mają wytrzymałość dla fal udarowych, wynoszącą od 330 do 990 kV/m; wartość 590 kV/m należy uważać za dobrą średnią wartość. Słup zatem o wysokości 10,7 m z ramieniem drewnianem 1,5 m długości ma wytrzymałość 7 200 kV. Izolator w tym przypadku bardzo mało dodaje drzewu wytrzymałości. Autor zwraca dalej uwagę na niebezpieczeństwo łupania drzewa przez pioruny, przyczem podaje sposób ochrony drzewa przed tem przy pomocy iskiernika. W dalszym ciągu szerzej omawiam tę sprawę, jak również sprawę częściowego przeskoku w wypadku drzewa mokrego, wreszcie niebezpieczeństwo spalania drzewa.

Badania nad własnościami izolacyjnymi drzewa prowadził dalej Melvin⁷⁾, wykonując doświadczenia w laboratorjach General Electric Co. w Pittsfield. W badaniach tych posługiwał się falą 1/4 × 20 mikrosek., przyczem w krzy-

granicach 400 kV do 3000 kV. Krzywe podają średnie wartości, przyczem liniami przerywanymi podane są części krzywych ekstrapolowane.

Badania były przeprowadzone na słupach cedrowych (cedar, Thuya occidentalis), kasztanowych (chest nut, castanea dentata) sosnowych (pine) nasycanych; na poprzeczkach z jodły (fir) i z sosny nasycanej, na drążkach z twardego drzewa i sosny, i na różnych układach izolatorów z poprzeczkami oraz na różnych konstrukcjach słupów z poprzeczkami i izolatorami. Wymiary konstrukcji odpowiadały wymiarom, stosowanym w praktyce dla 66 kV i 132 kV, jedynie słupy były krótsze.

Szczególnie ciekawe są próby, mające wykazać wpływ wilgoci i zanieczyszczeń. A więc przeprowadzono próby na

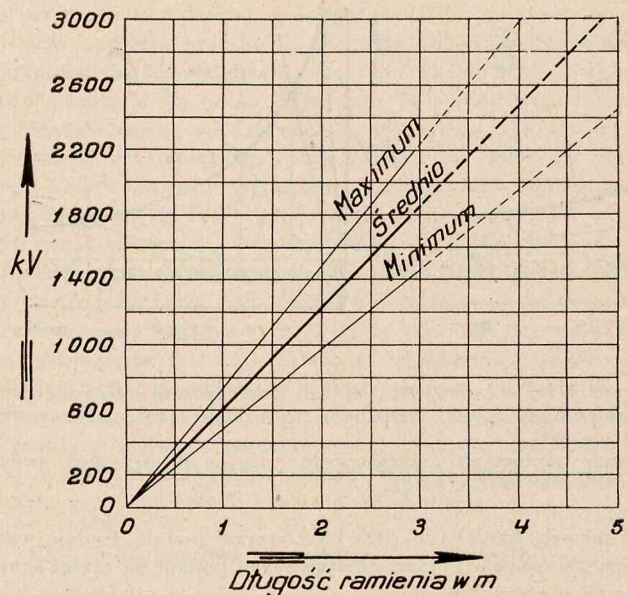


Rys. 4.

Napięcie szczytowe przeskoku falą udarową słupa drewnianego w zależności od długości słupa.

słupach, które przez ok. dwa tygodnie umieszczone były pod przykryciem tak, że reprezentowały suchy słup w praktyce, druga zaś partja słupów była zmoczona przed próbą, odpowiadała zatem warunkom, panującym w czasie silnego

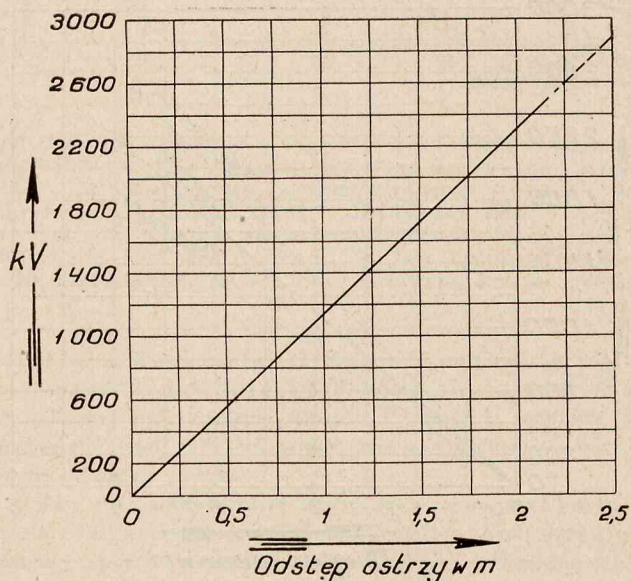
deszczu; trzecią partję moczone w kadzi przez dwa tygodnie przed próbą, czwartą moczone w słonej wodzie, piątą pokrywano warstwą mokrego cementu, imitującego zanieczyszczenia. Poprzeczki i drażki traktowano w podobny sposób.



Rys. 5.

Napięcie przeskoku falą uderową drażków i poprzeczek drewnianych w zależności od długości drzewa.

Próby, przeprowadzone na tak przygotowanych obiektach o długości od 1 300 mm do 4 600 mm, wykazały, że ani rodzaj drzewa ani wilgoć, ani zanieczyszczenia ani też ilość słonej wody wessanej nie wpływa istotnie na napięcie przeskoku falami uderowemi. Nie od rzeczy będzie zaznaczyć, że napięcie przeskoku falą uderową na izolatorach porcelanowych przy krótkim opóźnieniu czasowym nie za-



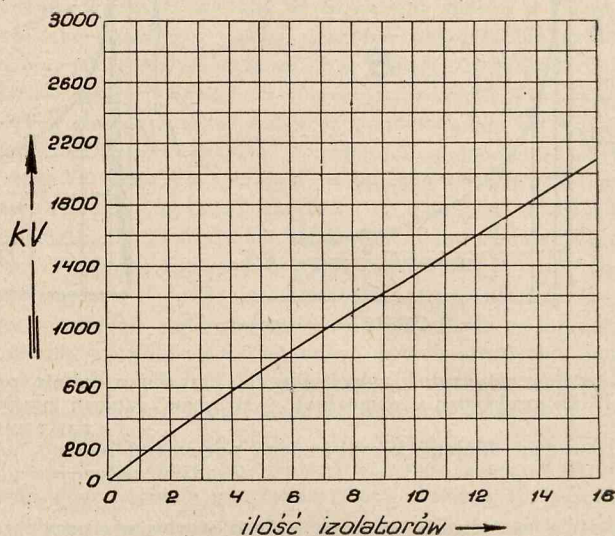
Rys. 6.

Napięcie szczytowe przeskoku falą uderową iskiernika ostrzowego w zależności od odstępu ostrzy.

leży również od tego, czy pomiar przeprowadzany jest pod deszczem, czy też na sucho⁸⁾. Przy dłuższym opóźnieniu (t. zn. gdy przeskok następuje dalej na grzbiecie fali wskutek zastosowania niższego napięcia) różnica wynosi zaled-

wie 5% przy zastosowaniu deszczu o opadzie 5,08 mm na min.

Badanie Melvina wykazuje jedynie, że cedr, moczone w słonej wodzie, ma niższe wartości przeskoku od innych. Ciekawe jest, że przy niektórych okazach mokrych

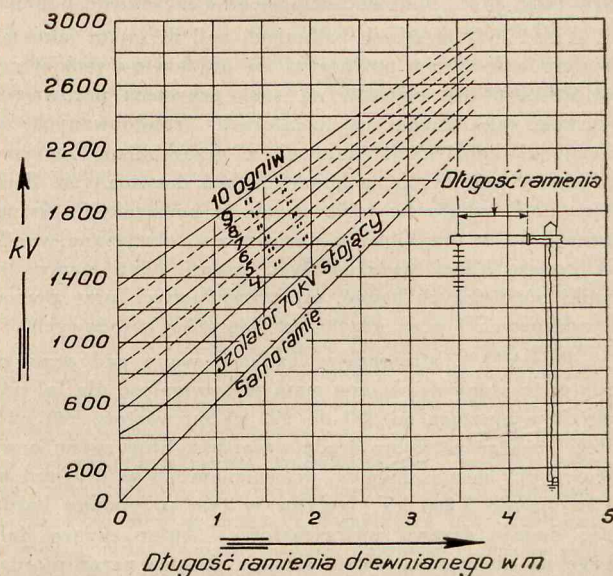


Rys. 7.

Napięcie szczytowe przeskoku falą uderową łańcucha izolatorów wisiorowych, talerzowych, złożonych złożonego z ogni w średnicy 254 mm o długości ogniwa 146,1 mm w zależności od ilości izolatorów w łańcuchu.

i moczonych w słonej wodzie osiągnięto wyższe wartości przeskoku, aniżeli przy suchych. Opór 200 omów, szeregowo połączony ze słupem, naśladowujący opór uziemienia, również nie wpływał na wartości przeskoku.

Dane, uzyskane przez Melvina, podano w formie wykresów na rys. 4, 5, 6, 7 8, 9, przy czym rys. 7 podany jest wg. P e e k'a⁶⁾.

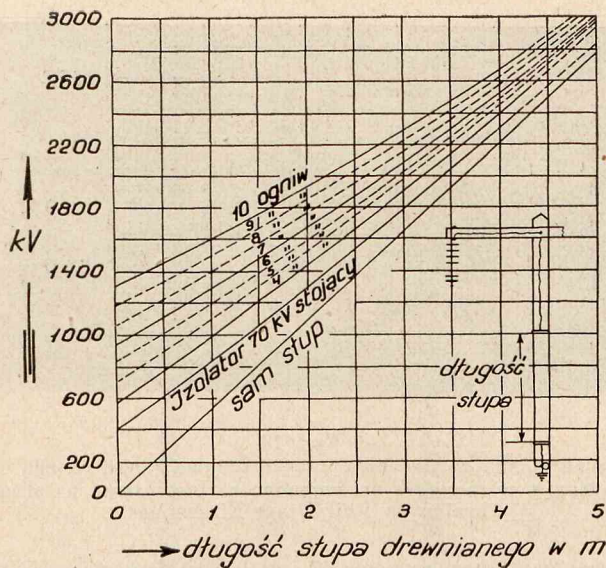


Rys. 8.

Napięcie szczytowe przeskoku falą uderową słupa z poprzeczką drewnianą przy różnej ilości izolatorów w zależności od długości poprzeczki.

Jak to już z poprzedniego wyniku, badania Melvina nie są wyczerpujące, gdyż przeprowadzone są jedynie przy pomocy fali o tym samym kształcie bez uwzględnienia opóźnienia czasowego. Charakterystyczne krzywe napięcia

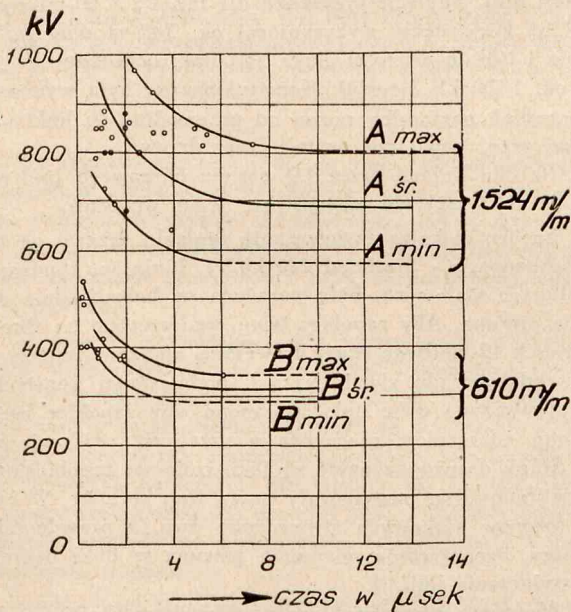
przeskoku, uwzględniając wpływ opóźnienia czasowego, podaje T o r o k⁸⁾ oraz autorzy już cytowani poprzednio¹⁾. Ze względu na ograniczone miejsce podaję za nimi¹⁾ jedy-



Rys. 9.

Napięcie szczytowe przeskoku falą uderową stupa drewnianego przy różnej ilości izolatorów w zależności od długości drzewa.

nie dwie krzywe przeskoków dla poprzeczki z jodły (fir) nasycanej o przekroju 102 × 127 mm, bez omówienia szczegółów (rys. 10 i 11). Zaznaczyć jednak wypada, że dane, zawarte w powyższej pracy¹⁾, przedstawiają cenny materiał dla projektowania linii 26 kV. Krzywe przeskoku, podane na rys. 10, są to krzywe charakterystyczne, zdjęte podobnie,

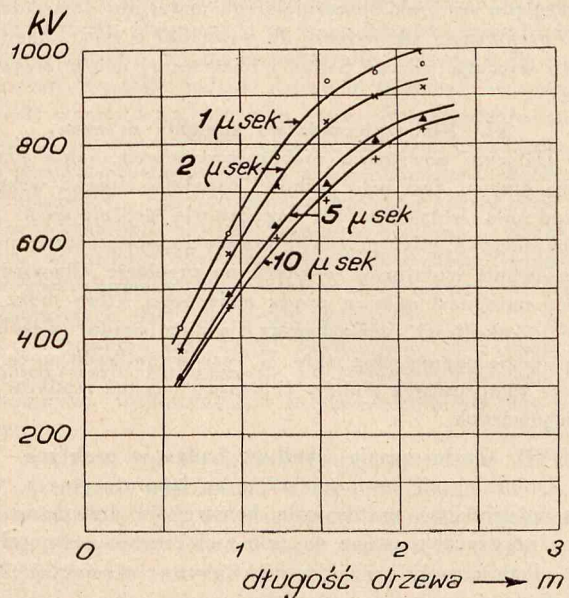


Rys. 10.

Charakterystyczne krzywe napięcia szczytowego przeskoku falą uderową poprzeczek jodłowych w zależności od czasu opóźnienia, t. zn. czasu, mierzonego od początku fali do chwili przeskoku. „A” krzywe dla poprzeczek o długości 1 524 mm; „B” krzywe dla poprzeczek o długości 610 mm.

jak opisano i zilustrowano na rys. 3b, jedynie sposób oznaczenia opóźnienia czasowego był trochę inny, aniżeli zalecony przez „Podkomitet przepięć atmosferycznych i izolatorów AIEE”, co jednak nie wpływa znacznie na wyniki. Do prób stosowano falę dodatnią 0,5 do 0,75 × 60 mikrosek.

Cytowani autorowie¹⁾ również wypowiadają się, że wg. ich badań wilgoć i nasycanie nie ma znacznego wpływu na wartość przeskoku falą uderową dla drzewa.

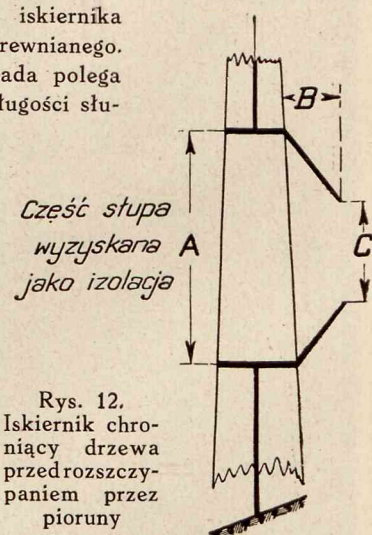


Rys. 11.

Krzywe przeskoku falą uderową poprzeczek jodłowych, przy różnym czasie opóźnienia, t. zn. czasie, mierzonym od początku fali do chwili przeskoku w zależności od długości poprzeczek.

V. Niebezpieczeństwo uszkodzenia drzewa przez pioruny.

Drzewo jako materiał izolacyjny ma jednak ujemne strony, gdyż ulega uszkodzeniu przez pioruny, zostaje mianowicie rozszczępione, przyczem uszkodzenie może być bardzo znaczne, powodując dłuższą przerwę ruchu. Zapobiec temu można przez zastosowanie odpowiednich iskierników ochronnych. Na rys. 12 pokazano zasadniczy schemat iskiernika ochronnego dla stupa drewnianego. Jak z rysunku widać, zasada polega na tym, że jedynie część długości stupa „A” wyzyskana jest jako izolacja, dalsza zaś część stupa jest zwarta przez przewód metalowy. Część izolacyjna stupa ochroniona jest przez iskiernik, wykonany z dwóch prętów metalowych z końcami, odstającymi od stupa na odległość „B”, przyczem odstęp końców prętów „C” jest mniejszy, niż „A”.



Rys. 12. Iskiernik chroniący drzewa przed rozszczępaniem przez pioruny

P e e k⁹⁾ podaje stosunek $\frac{C}{A} = \frac{3}{6}$; $\frac{B}{A} = \frac{1}{6}$;

Melwin⁷⁾ zaś podaje stosunek $\frac{C}{A} = \frac{2,1}{6}$; $\frac{B}{A} = \frac{1,2}{6}$, przy którym można osiągnąć odpowiednie bezpieczeństwo nawet w najmniejkorzystniejszych warunkach.

Badania Melwina⁷⁾ wykazują, iż może nastąpić częściowy przeskok z izolatorów do drzewa, użytego jako materiał izolacyjny, zwłaszcza o ile drzewo jest mokre; jednak natężenie przeskoku jest znacznie zmniejszone. Zwrócić należy uwagę na ciekawe zjawisko¹⁾, polegające na tym, że łuk prądu zmiennego, następujący po przeskoku

fali udarowej, zostaje zdławiony, o ile przechodzi przez drzewo. Zjawisko to proponowano wykorzystać dla dławienia łuku, trwającego po przeskoku wskutek napięcia ruchu. Ze względu na brak obszerniejszego materiału doświadczalnego ograniczam się jedynie do wzmianki o tem. Zagadnienie to wymaga jeszcze badań i obserwacji celem wyświetlenia.

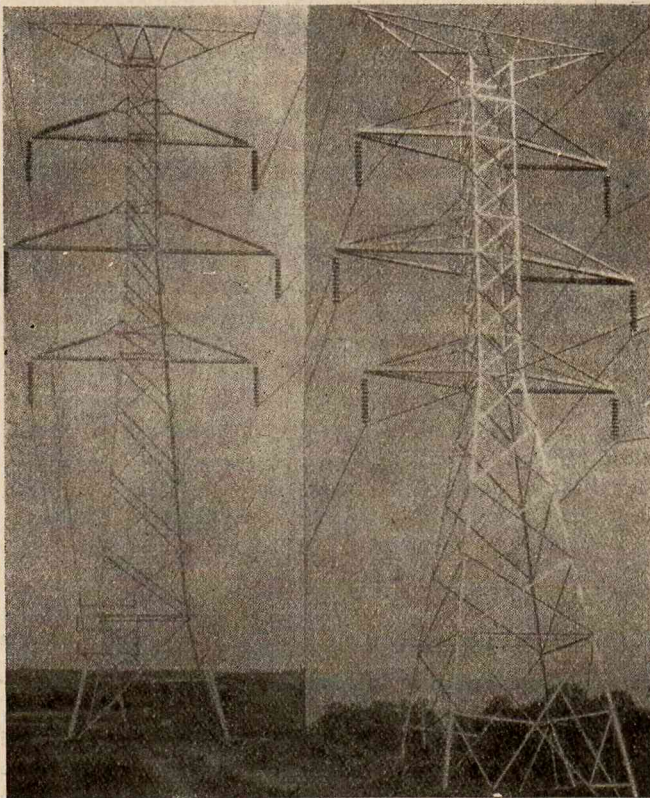
VI. Niebezpieczeństwo spalania drzewa.

Dalszym poważnym niebezpieczeństwem, jakie przedstawia drzewo, jest jego palność. Zapalenie drzewa wskutek uszkodzenia izolatorów nie przedstawia groźniejszego niebezpieczeństwa, gdyż można je prawie zupełnie usunąć przez zastosowanie izolatorów pewnych na przebicie. Obawiać się należy natomiast upływu prądu zmiennego, który może nastąpić w okolicach, gdzie tworzy się dużo osadu na izolatorach i gdzie panują silne mgły. W tych wypadkach może być celowe zastosowanie słupów żelaznych lub też środków zapobiegawczych.

VII. Zastosowanie wyników badań w praktyce.

Opierając się na wynikach prac laboratoryjnych, wiele przedsiębiorstw zastosowało konstrukcje drewniane słupów i poprzeczek, mając na celu zwiększenie pewności ruchu. Podaję pokrótce opis niektórych ciekawszych konstrukcji.

Union Electric Light and Power Co. zastosowało na linii 190 km długiej z Osage do Rivermines ramiona drewniane na słupach stalowych⁹⁾. Celem tej konstrukcji jest osiągnięcie możliwej niezawodności ruchu. Ramiona są umocowane przegubnie w łożyskach. Część ramion, narażona na ciągnięcie, umocowana jest tak, iż uniknięto bolców, przechodzących przez drzewo (p. rys. 13 i 14) dla zapobieżenia rozszczepiania drzewa przez pioruny. Linja ta o napięciu 132 kV izolowana jest przy pomocy 11 izolatorów talerzowych o średnicy 254 mm i długości ogniwa



Rys. 13.

Słupy stalowe kratowe z ramionami drewnianymi, zastosowane na linii Osage-Rivermines o napięciu 132 kV.

146,1 mm. Badanie, przeprowadzone przy pomocy fali udarowej 1,5×60 mikrosek., wykazało, że dla osiągnięcia równoważnej izolacji na ramionach stalowych trzeba zasto-



Rys. 14.

Armatura dla uchwycenia części drzewa, narażonego na ciągnięcie w ramieniu drewnianym, zastosowanej na słupie kratowym linii Osage-Rivermines.

sować na górnym ramieniu 17 izolatorów (napięcie przeskoku szczytowe 1350 kV), na środkowym — 22÷23 izolatorów (napięcie przeskoku szczytowe 1720 kV), na dolnym — 20 izolatorów (napięcie przeskoku szczytowe 1550 kV). Druga linja tego towarzystwa również zasługuje na uwagę¹⁰⁾ (rys. 15). Linja ta wyposażona jest w dwie linki ochronne uziemione, przyczem uziemienia wykonane są w ten sposób, że odgałęziają się od linek ochronnych w odległości ok. 3 m od słupów, poczem przechodzą do słupa około 4,8 m poniżej poprzeczki i biegną dalej do ziemi. Przez takie urządzenie wyzyskuje się ramiona oraz część słupa dla izolacji linii. Napięcie przeskoku dla fali 1,5×60 mikrosek. przy tej konstrukcji, wyzyskującej ok. 2,47 m długości ramienia i 0,84 m długości słupa (do linki ochronnej), wynosiło ok. 1500 kV (szczyt). Konstrukcja tak była wykonana, że przeskok nastąpiłby raczej od przewodów do linki uziemionej przez powietrze, aniżeli przez drzewo.

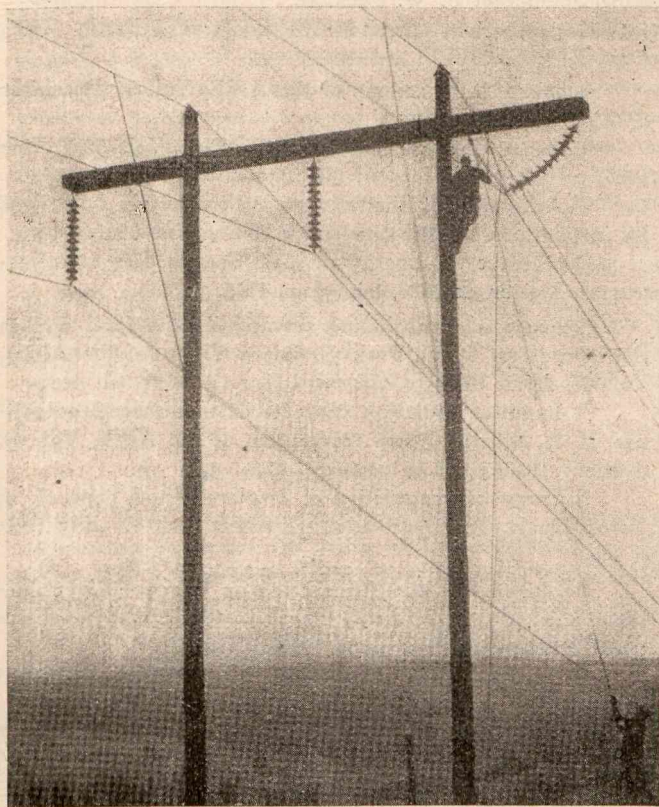
Na obu liniach przez 1½ sezonu burzowego (pół w r. 1931 i cały 1932) nie nastąpił ani jeden przeskok.

Bardzo ciekawe zastosowanie znalazło drzewo na linii Wallenpaupack - Siegfried 220 kV¹¹⁾. Linja ta, zbudowana na słupach stalowych, była narażona na bezpośrednie uderzenia pioruna. Aby zapobiec temu, umieszczono na słupach stalowych 12-metrowe słupy drewniane, umocowane przy pomocy odciażek do ziemi. Na tak podniesionej konstrukcji przeprowadzono dwie linki uziemione, aby zapobiec bezpośrednim uderzeniom piorunów w przewody prądowe (rys. 16). Słupy drewniane użyte są jako izolacja, zapobiegająca aby wyładowania następowały przez słup stalowy. W ciągu 2½ sezonów burzowych stwierdzono dwa, a prawdopodobnie trzy, bezpośrednie uderzenia pioruna w linki ochronne bez wyłączenia linii¹²⁾.

Możnaby przytoczyć znacznie większą ilość przykładów nadzwyczaj ciekawych konstrukcji, ze względu jednak na ograniczone miejsce odsyłam czytelników do odnośnych opisów, znajdujących się w „Electrical World”, publikacjach AIEE oraz innych wydawnictwach technicznych z lat ostatnich.

Nie wszędzie osiągnięto od razu wyniki zadowalające. Niejednokrotnie w razie zastosowania nieodpowiednich konstrukcji następowało uszkodzenie słupów, poprzeczek, izolatorów drewnianych w odciażkach. Na liniach drewnianych wysoko izolowanych zarejestrowano¹³⁾ falę przepięciową ujemną o szczycie 5000 kV, w odległości około 6,5 km od

miejsca uderzenia pioruna. Wskutek tej fali nastąpił przeskok na linii, połączony z lekkim nadszczypaniem poprzeczki i słupów, prócz tego nastąpił od tej samej fali prze-



Rys. 15.

Słup portalowy drewniany na linii Osage-Page o napięciu 132 kV z poprzeczkami drewnianymi, z linkami ochronnymi, przy czym poprzeczka drewniana i część słupa ochroniana jest jako izolacja.

skok ze środkowego przewodu do linii telefonicznej, przechodzącej w odstęp pionowym ok. 6,6 m pod linią wysokiego napięcia w przeszle skrzyżowania. Jak z tego widać, nie jest celowe zastosowanie zbyt dużej izolacji na linii, gdyż to nie zapobiega przeskokowi przy bezpośrednich uderzeniach pioruna.

Z powodu uszkodzeń, jakie następowały w praktyce, istniała duża różnorodność zapatrywań i wysuwano zastrzeżenia co do linii na słupach drewnianych¹⁴⁾. Ostatnio jednakże panuje coraz większa dążność do stosowania drzewa na słupy, poprzeczki, wsporniki i izolatory w odciażkach¹⁵⁾. Przy wysokich napięciach nie stosuje się jedynie drzewa na trzony izolatorowe, co dawniej było niekiedy praktykowane, ze względu na niekorzystny rozkład pola i częste uszkodzenia trzonów.

Nadzwyczaj ciekawe jest sprawozdanie Melvina¹²⁾, oparte na obserwacjach, zebranych w ciągu ostatnich lat na liniach, wyzyskujących własności izolacyjne drzewa, o łącznej długości, wynoszącej 2100 km, położonych w różnych terytoriach Stanów Zjednoczonych. Z powyższej pracy podaję niektóre tylko dane. Wg. zapatrywania Melvina, o ile proporcjonalna wytrzymałość elektrycznej drzewa zostaje zachowana przy jeszcze wyższych napięciach, to napięcia na całkowitej konstrukcji drewnianej o normalnej wysokości mogą dochodzić do rzędu 12 000 kV do 15 000 kV. Izolacja sama nie zapobiega jednak wyładowaniom na liniach. Zapobiec niepożądanym skutkom przepięć

mogą wg. Melvina trzy zasadnicze typy konstrukcji, w których drzewo może być z dużą korzyścią zastosowane.

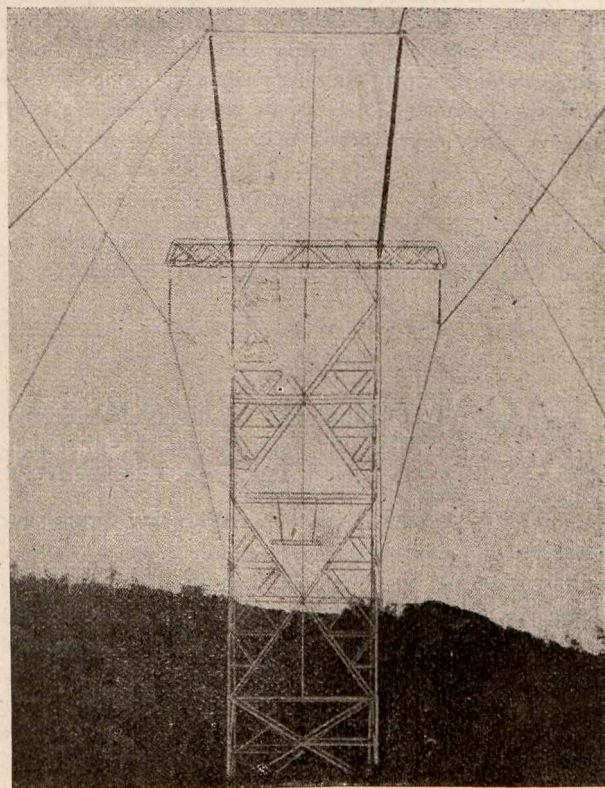
1) Charakterystyczną cechą konstrukcji pierwszego typu jest osłonięcie przewodów prądowych zapomocą odpowiednich linek chroniących je przed bezpośrednimi uderzeniami piorunów. Metoda ta nadaje się zwłaszcza dla napięć wyższych, wymaga jednak dalszych studjów.

2) Konstrukcje drugiego typu charakteryzuje odprowadzenie fal udarowych z przewodów przez urządzenia, zapobiegające powstawaniu łuku prądu zmiennego. W Stanach Zjednoczonych zastosowano do tego celu urządzenie specjalne o zupełnie nowych zasadach działania. Zaznaczyć muszę, że, moim zdaniem, znakomicie nadają się do tego celu cewki dyssonansyjne, które również ostatnio w Stanach Zjednoczonych dały znakomite wyniki¹⁶⁾.

Konstrukcje tego typu nadają się przy napięciach średnich, gdzie zastosowanie konstrukcji pierwszego typu ze względów technicznych i ekonomicznych nie jest wskazane.

3) Trzeci typ konstrukcji polega na tem, iż nie staramy się usunąć wyładowań, a dążymy jedynie do ograniczenia ich ilości, jak również zmniejszenia uszkodzeń izolatorów, przewodów i konstrukcyj wsporczych przez celowe zaprojektowanie zarówno całości, jak i szczegółów. Osiąga się przez to pewność, że linja po wyłączeniu natychmiast jest gotowa do ruchu.

Badania te w naszych warunkach, uważam, powinny wzbudzić duże zainteresowanie. W świetle tych badań zupełnie nieracjonalnym wydaje się przepis Ministerstwa, wymagający stosowania słupów kratowych stalowych jako naróżnych przy obostrzeniu trzeciego stopnia. Oczywiście jest, że w tym przypadku miejsca skrzyżowania, pomimo zastosowania izolatorów o napięciu przeskoku na mokro,



Rys. 16.

Słup kratowy na linii Wallenpaupack 220 kV. Na słupach kratowych umieszczono słupy drewniane 12-metrowe z przewodami chroniącymi przed bezpośrednimi uderzeniami pioruna. Przewody ochronne uziemione są zapomocą odciażek.

wyższem o 15%, będą pod względem elektrycznym naj-
słabszymi punktami w linii na konstrukcjach drewnianych,
wyzyskującej racjonalnie własności izolacyjne drzewa, co
chyba nie było zamiarem przepisów.

Zaznaczyć trzeba, że „Gródek”, budując swoje linie do
Torunia i do Gdyni dla napięcia 100 kV (pracują one obec-
nie przy 60 kV), wzorował się do pewnego stopnia na liniach
amerykańskich, stosując słupy drewniane portalowe, pozi-
omy układ przewodów i t. p. Przez kilkoletni okres ruchu
osiągnięto bardzo dobre wyniki na tych liniach. Uszkodze-
nia linii pomimo częstych burz są nadzwyczaj rzadkie,
przerwy, powstające wskutek wyładowań atmosferycznych,
skrócono ostatnio do ułamka sekundy przez samoczynne
włączanie wyłącznika olejowego natychmiast, gdy tylko
osiągnięto on położenie wyłączone po wyzwoleniu przez prze-
kazniki. Wspomnieć można również, że „Gródek” posiada
laboratorium, umożliwiające wytwarzanie fal udarowych o
napięciu 600 kV.

VIII. Zakończenie.

Reasumując powyższe wywody, stwierdzić trzeba:

1) Drzewo posiada wybitne własności izolacyjne dla
fal udarowych. Własności te nie zależą od rodzaju drzewa,
zawartości wilgoci i zanieczyszczeń. Własności izolacyjne
drzewa można wyzyskać nadzwyczaj celowo w budowie linii
wysokiego napięcia.

2) Konstrukcje powinny być oparte na badaniach labo-
ratoryjnych, przyczem przy opracowywaniu konstrukcji
można w zależności od rodzaju linii i jej ważności kierować
się różnymi wytycznymi.

3) Przy konstrukcjach racjonalnych można uniknąć
rozłupywania drzewa przez pioruny.

4) W okolicach, w których istnieje niebezpieczeństwo
upływu prądu wskutek osadów, powstających na izolato-
rach, jak również mgieł, zastosowanie drzewa dla linii wy-
sokiego napięcia może być ograniczone ze względu na moż-
liwość zapalenia się słupów, o ile nie zastosuje się przytem
środków, chroniących przed tem.

Spis literatury.

¹⁾ Impulse and Dynamic Flashover Studies on 26 kV
Wood Pole Transmission Construction A. S. Brookes; R. N.

Southgate; E. R. Whitehead Quarterly Transactions of the
AIEE. Vol. 52. June 1933, p. 494.

²⁾ Lightning and its Effect on the Desing of Transmis-
sion Lines and Apparatus from the Economic and Enginee-
ring Standpoint F. W. Peek jr.

Gesamtbericht zweite Weltkonferenz Berlin 1930,
Band XIV, S. 481.

³⁾ Quart. Transactions of the AIEE. Vol. 51 December
1933 p. 1107.

⁴⁾ Quart. Transactions of the AIEE. Vol. 52, June
1933, p. 466.

⁵⁾ Avantages et limitations de l'emploi du bois dans
les instalations à haute tension A. O. Austin.

Conférence Internationale des Grands Réseaux élec-
triques. Session de 1927, tome I, p. 1018.

⁶⁾ Progress in Lightning research in the field and in
the laboratory. F. W. Peek jr. Quart. Trans. of the AIEE.,
Vol. 48, April 1929, p. 436.

⁷⁾ Impulse insulation characteristics of wood pole li-
nes. H. L. Melvin. Quart. transaction of the AIEE, Vol. 49,
January 1930, p. 21.

⁸⁾ Surge characteristics of insulators and gaps. J. J.
Torok. Quart. Transactions of the AIEE. Vol. 49, July 1930,
p. 866.

⁹⁾ Hinged Wooden Arms Used on Osage - Rivermines
Line. S. Stokes; L. O. Waite; H. E. Gove; L. T. Byars Elec-
trical Engineering. February 1932, p. 121.

¹⁰⁾ 1½ years without flashover. L. O. Waite. Electrical
World, April 29, 1933, Vol. 101, p. 557.

¹¹⁾ Diverting Direct Strokes. A. E. Silver. Electrical
World August 16, 1930, Vol. 96, p. 313.

¹²⁾ Operating experience with wood utilized as light-
ning insulation. H. L. Melvin Quart. Transactions of the
AIEE. Vol. 52, June 1933, p. 503.

¹³⁾ Lightning investigation on a Wood pole transmis-
sion line. R. R. Pittman, J. J. Torok. Quart. Transactions
of the AIEE. Vol. 50, June 1931, p. 568.

¹⁴⁾ Wide Diversity of opinion on wooden pole lines.
Electrical World, October 3, 1931, Vol. 98, p. 605.

¹⁵⁾ Transmission and Overhead Distribution. Electrical
World, January 3, 1934, Vol. 103, p. 41.

¹⁶⁾ Petersen Coil Tests on 140 kV System J. R. North,
J. R. Eaton, Electrical Engineering January 1934, p. 63.

ZAGADNIENIE ZWARCIA Z ZIEMIĄ W SIECI KABLOWEJ ELEKTROWNI WARSZAWSKIEJ.

Wiesław Szwander, inż. Elektrowni Warszawskiej.

Streszczenie. Zjawisko zwarcia z ziemią, rozpatrzone
ogólnie, zilustrowane graficznie zapomocą wykresów wektor-
owych i linjowych, pozwala odtworzyć obraz przebiegu
zwarcia z ziemią w sieci miejskiej w Warszawie.

Obliczenia wielkości prądu zwarcia z ziemią poparte
są opisem i wynikami pomiarów bezpośrednich wielkości
tego prądu.

I. Wstęp.

Prądy pojemnościowe „zdrowych faz”, większe w chwili
zwarcia, niż przed jego wystąpieniem, płynąc do ziemi z
przewodów, niedotkniętych zwarcie z ziemią, skupiają się w

drodze powrotnej w miejscu zwarcia, tworzą poważne nieraz
obciążenie cieplne i wywołują szereg wtórnych szkodliwych
skutków.

Strona ilościowa, a więc znaczenie zjawiska, rośnie ze
wzrostem pojemności linii względem ziemi i ze wzrostem
napięcia roboczego, nie mówiąc o wpływie częstotliwości,
którą przyjmujemy stale: $f = 50$ okr./sek.

Sieć kablowa posiada wskutek znacznie większej war-
tości pojemności względem ziemi, niż sieć napowietrzna,
wielokrotnie (20—25-krotnie) większy prąd zwarcia z ziemią.

Sieć zasilająca i sieć rozdzielcza wielkiego miasta, dla
której długość ułożonych kabli wynosi setki lub nawet ty-
siące kilometrów, może mieć prąd zwarcia z ziemią tak

wielki, że konieczne się staje dokładne poznanie tak ilościowej, jak i jakościowej strony tego zagadnienia, przeanalizowanie istniejących środków zabezpieczających, wreszcie rozpatrzenie wchodzących w grę zabezpieczeń specjalnych.

To wszystko było bodźcem do zajęcia się zagadnieniem zwarcia z ziemią w sieci Elektrowni Warszawskiej, bodźcem tem słusznym, że konieczność utrzymania jaknajwiększej pewności ruchu nakazuje raczej przedwcześnie i nieraz nawet bez widocznych konkretnych rezultatów rozpatrywać nasuwające się zagadnienia, niż dopuszczać do tego, aby zjawiska te, przez groźne swe nieraz konsekwencje, wymagały natychmiastowej i kosztownej interwencji.

Ponieważ zagadnienie zwarcia z ziemią mniej jest znane, gdy dotyczy nie pojedynczej linii napowietrznej, lecz całej rozczłonkowanej sieci kablowej, jak to ma miejsce w naszym szczególnym wypadku, uważałem przeto za pożyteczne podzielić się osiągniętymi wynikami z szerszym gronem czytelników.

II. Opis sieci miejskiej w Warszawie.

A. Sieć rozdzielcza niskiego napięcia w śródmieściu ma napięcie nominalne 122 wolt, na krańcach miasta — 211 woltów (na transformatorach odpowiednio 125 i 216 woltów).

Jest ona podzielona na dwieście kilkadziesiąt niezależnych obszarów, wyodrębnionych z całej sieci przez odpowiednie „podziały sieci”. Sieć zasilana jest przez transformatory, ustawione w stacjach transformatorowych. W dniu 1.VIII. 1933 r. liczba stacyj wynosiła 1334, w czym 304 stacyj kioskowych ulicznych, 54 stacyj podziemnych i 976 stacyj piwnicznych „prywatnych”; czynnych w sieci było 1370 transformatorów o ogólnej mocy 79 794,5 kVA. Liczba stacyj w każdym obszarze waha się od 1 do 14, najmniejsze obszary są w śródmieściu, gdzie jest największe skupienie odbiorców energii.

W śródmieściu stosuje się zasadniczo, na krańcach miasta w miarę możliwości — zasadę dwustronnego zasilania odbiorców.

Na krańcach miasta jest też pewna liczba (ok. 60 km) linii napowietrznych niskiego napięcia o charakterze przejściowym; w dalszych rozważaniach oczywiście nie będziemy ich uwzględniać ze względu na małą pojemność.

B. Sieć rozdzielcza wysokiego napięcia (5 000 V) zasilana poprzez stacje transformatorowe sieć niskiego napięcia.

Podziały sieci dzielą ją na 46 odrębnych obszarów zamkniętych, zasilanych t. zw. „kablami zasilającymi” bezpośrednio z rozdzielni w centrali lub z podstacji 15/5 kV.

W każdym obszarze wysokiego napięcia mieści się całkowita liczba obszarów niskiego napięcia; żaden z nich więc nie leży w dwóch różnych obszarach wysokiego napięcia.

C. Sieć 15 kV składa się z kabli, łączących rozdzielnię z pięcioma podstacjami 15/5 kV, i z kabli, łączących niektóre podstacje między sobą. W rozdzielni sieć ta zasilana jest przez transformatory wprost z szyn zbiorczych 5 kV, z podstacji zaś przez transformatory, obniżające napięcie, zasilają ona część obszarów sieci 5 kV, położonych na krańcach miasta.

D. Długości i przekroje kabli, tworzących wymienione 3 rodzaje sieci, podaje tablica I wg. stanu w dniu 1.VIII. 1933 (bez uwzględnienia kabli niskiego napięcia na przyłączach domowych i lampowych).

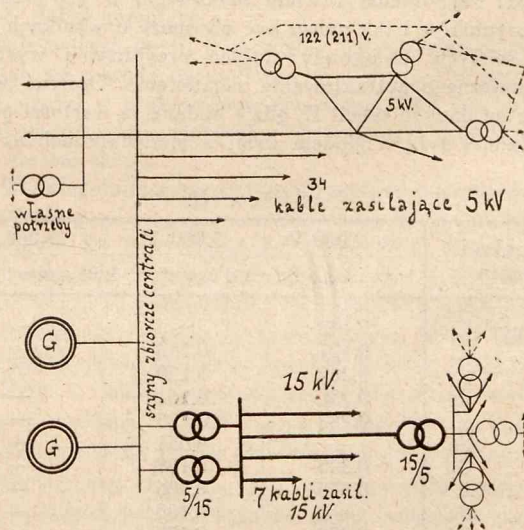
Obecnie przekroje kabli są ujednostajnione i kładzie się w sieci niskiego napięcia 50 i 70 mm², w sieci wysokiego napięcia — 16 i 35 mm², a kable zasilające i 15 kV — 95 mm².

Tablica I.

Przekrój	Sieć nisk. nap.	Sieć 5 kV	Sieć 15 kV
1 mm ² Cu	25 260,0 m	— m	— m
6 „ „	207,3 „	1 111,0 „	— „
10 „ „	3,8 „	128,5 „	— „
16 „ „	9 296,3 „	361 173,4 „	— „
25 „ „	4 896,0 „	4 435,3 „	— „
25 „ Fe	— „	831,9 „	— „
35 „ Cu	96 504,5 „	17 186,2 „	— „
50 „ „	213 395,2 „	— „	— „
50 „ Fe	— „	2 156,6 „	— „
70 „ Cu	223 962,9 „	1 873,9 „	— „
95 „ „	8,2 „	91 011,45 „	49 029,0 „
120 „ „	— „	4 491,3 „	— „
Razem . .	573 608,0 m	484 399,55 m	49 029,0 m
Razem . . .			1 107 036,55 m

E. Z powyższego pobieżnego opisu możemy już wysnuć następujące wnioski, dotyczące zagadnienia zwarcia z ziemią.

1) Zwarcie z ziemią może nastąpić w każdej z wymienionych trzech sieci (niskiego napięcia, 5 kV, 15 kV), które są sprzęgnięte między sobą zapomocą transformatorów, wg. uproszczonego schematu rys. 1.



Rys. 1.

Należy więc w równej mierze rozpatrywać przebieg zwarcia w każdej sieci, oraz zbadać, jaki wpływ ono wywiera na sieci, nie dotknięte w danej chwili zwarcie z ziemią.

2) Zwarcie z ziemią w sieci niskiego napięcia, wobec podziału jej na dwieście kilkadziesiąt zupełnie niezależnych obszarów, rozprzestrzenia się tylko na ten obszar sieci, w którym nastąpiło, a więc zaledwie na 3 do 5⁰/₁₀₀ całej sieci.

Pomijamy tu chwilowo jakiegokolwiek oddziaływanie tego zwarcia z ziemią na sieci innych napięć, czemu poświęcimy oddzielne rozważanie.

Wobec powyższego oraz wobec niskiego napięcia tej sieci wielkość występujących prądów zwarcia z ziemią będzie minimalna, nawet jeżeli uwzględnić dodatkowo pojemność względem ziemi przyłączonych instalacji.

3) Na ogólną ilość 46 obszarów zasilania sieci 5 kV wprost z rozdzielni jest zasilanych 34, czyli 34 obszary mają z szynami zbiorczymi trwałe metaliczne połączenie przez kable zasilające. Zwarcie z ziemią w tej części sieci roz-

przeprzeni się więc w przybliżeniu na $\frac{34}{46} \cdot 100 = 74\%$ całej sieci 5 kV.

Pozostałych 12 obszarów rozpada się na 5 niezależnych części, zasilanych z osobną z podstacji 15/5 kV. Największa z tych części składa się z 6 obszarów. Tu zwarcie z ziemią rozprzestrzenia się jedynie na daną część (obszary łączą się przez szyny zbiorcze 5 kV wspólnej podstacji). Wielkość prądu zwarcia z ziemią nie przekroczy $\frac{6}{34} \cdot 100 = 17,6\%$

prądu zwarcia w sieci, zasilanej z rozdzielni. Ten prąd wobec obejmowania tak znacznej części całej sieci i wobec wysokiego napięcia przedstawia największe niebezpieczeństwo.

4) W sieci 15 kV zwarcie z ziemią rozprzestrzenia się na całą sieć, stanowiącą jedną całość wraz z szynami zbiorczymi 15 kV w rozdzielni. Przy stosunkowo niewielkiej długości kabli: 49 029 m, dużą wartość prądu zwarcia z ziemią powodować będzie wysokie napięcie 15 000 woltów.

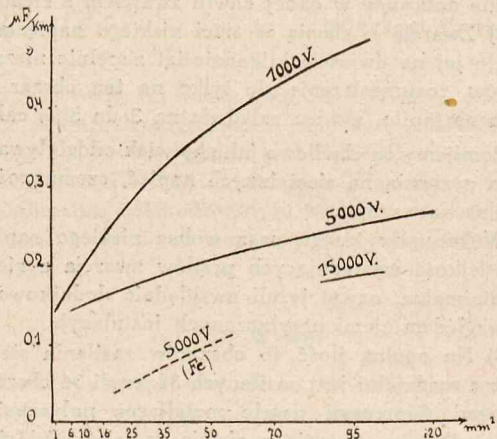
F. Pomiary pojemności kabli dokonywane były dla odcinków, ułożonych już w ziemi od lat 26. Wyzyskane są też dane laboratorjów fabrycznych dostawców kabli.

Oczywiście wyniki wykazują znaczną rozbieżność w zależności od czasu fabrykacji, rodzaju izolacji i t. d. W ocenie pojemności sieci kablowej względem ziemi niepodobniestwem byłoby wymagać dokładności, uwzględniającej te wszystkie czynniki. Byłoby to również zbędne, bo wobec zawiłości zagadnienia i wielu ubocznych, w grę wchodzących, czynników i tak mowy być nie może o wynikach absolutnie ścisłych. Osiągnięty stopień przybliżenia wystarczy do technicznego potraktowania zagadnienia. Opierać się będziemy na danych tabeli II, gdzie podane są wartości pojemności jednej żyły względem ziemi w mikrofaradach na kilometr.

Tablica II.

Przekrój kabla	do 1 000 V	5 000 V	15 000 V
	mikrofaradów na kilometr		
1 mm ² Cu	0,142	—	—
6 " "	0,177	0,143	—
10 " "	0,200	0,150	—
16 " "	0,230	0,161	—
25 " "	0,282	0,175	—
25 " Fe	—	0,051	—
35 " Cu	0,325	0,188	—
50 " "	0,375	0,206	—
50 " Fe	—	0,100	—
70 " Cu	0,430	0,227	—
95 " "	0,480	0,251	0,187
120 " "	—	0,267	—

Wartości powyższej tabeli są wzięte z krzywych (rys. 2), wypośredkowanych dla wielkiej ilości pomiarów. (Kable



Rys. 2.

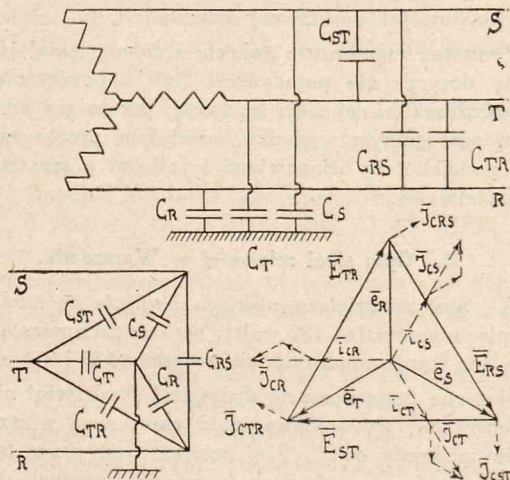
nowszej fabrykacji wykazują naogół większą pojemność wobec cieńszej izolacji lepszym papierem).

Krzywe powyższe słuszne są oczywiście jedynie dla sieci warszawskiej, wg. pomiarów której zostały zbudowane.

III. Przebieg zwarcia z ziemią.

Rys. 3 ilustruje stan sieci „zdrowej”, przed zwarcie z ziemią.

Układ trójfazowy, trójprzewodowy (bez przewodu zerowego) zasilany jest np. przez wtórne uzwojenie transfor-



Rys. 3.

matora, albo przez generator. Źródło energii daje napięcie symetryczne, którego wykres wektorowy przedstawia rys 3, gdzie e_R, e_S, e_T oznaczają napięcia fazowe, a E_{RS}, E_{ST}, E_{TR} odpowiednie napięcia międzyprzewodowe.

Sieć zasadniczo nie jest uziemiona, to znaczy, że punkty zerowe transformatorów oraz generatorów są izolowane od ziemi (powyższe założenia odpowiadają właściwościom sieci Elektrowni Warsz.).

Pojemności poszczególnych faz względem ziemi C_R, C_S, C_T i wzajemne pojemności faz względem siebie C_{RS}, C_{ST}, C_{TR} , faktycznie rozłożone linjowo wzdłuż kabli, przyjmujemy w naszym rozważaniu za skupione w środku rozważanego odcinka sieci czy linii (lub częściami w kilku punktach).

Możemy to przedstawić, jak na rys 3, w postaci odbiornika pojemnościowego, z uziemionym punktem zerowym, przytem odbiornik ten będzie zupełnie symetryczny, bo w kablu pojemności jednostkowe (na jednostkę długości) są równe.

$$C'_R = C'_S = C'_T$$

$$C'_{RS} = C'_{ST} = C'_{TR}$$

Na wykresie wektorowym $\vec{J}_{CR}, \vec{J}_{CS}, \vec{J}_{CT}$ przedstawiają prądy ładowania linii (sieci) — konstrukcja zrozumiała z rysunku, z uwzględnieniem zależności:

$$\vec{E}_{RS} = \vec{e}_S - \vec{e}_R \quad \text{i} \quad \vec{i}_R = \vec{i}_{TR} - \vec{i}_{RS}$$

Prądy te płyną w sieci stale, niezależnie od obciążenia, o ile tylko sieć jest pod napięciem. Z symetrii napięcia i układu pojemności wynika zupełna symetria prądów pojemnościowych ładowania.

Założmy teraz, że faza R uległa zwarcia z ziemią w dowolnym punkcie A.

Oczywiste jest, że napięcia na pojemnościach międzyprzewodowych C_{RS}, C_{ST}, C_{TR} nie zmieniają się od tego, bo

napięcia międzyprzewodowe, uzależnione od źródła energii, nie zmieniają się; w dalszych więc rozważaniach pominiemy te pojemności, gdyż zależy nam jedynie na wyodrębnieniu zjawisk, związanych z samym zwarcieniem z ziemią.

Pojemność „chorej” fazy R jest zwarta na krótko przez połączenie z ziemią samego przewodu.

Różnica potencjałów między ziemią z jednej strony, a punktem zerowym i fazami S i T z drugiej — odpowiada różnicy potencjałów między fazą R z jednej, a punktem zerowym i fazami S i T z drugiej strony, czyli potencjał punktu zerowego względem ziemi równa się napięciu fazowemu e_R , a napięcia faz S i T względem ziemi równają się napięciom skojarzonym $E_{RS} = E_{TR}$ (wobec napięcia fazowego $e_S = e_T$ przed momentem zwarcia).

Zatem pojemności C_T i C_S są pod napięciem $\sqrt{3}$ razy większym, niż poprzednio, podczas gdy na pojemności C_R niema napięcia wcale.

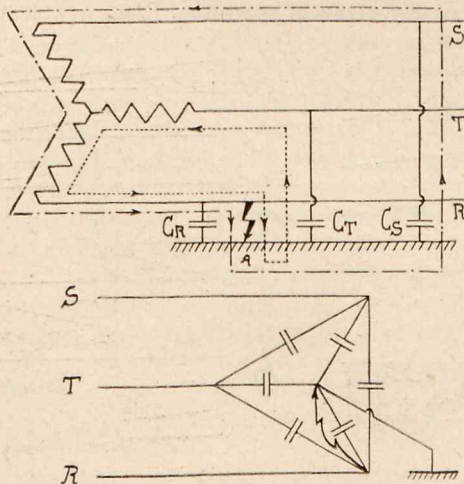
Z rys. 4 widzimy, że przy symetrycznym nadal układzie napięcie odbiornik pojemnościowy stał się niesymetrycznym, niesymetryczne więc będzie obciążenie źródła energii.

Prądem zwarcia z ziemią nazywamy ten prąd pojemnościowy, który przez pojemność względem ziemi „zdrowych” faz płynie do nich z ziemi, dalej przewodami do źródła napięcia, skąd fazą „chorą” przez miejsce zwarcia — do ziemi. Na rys. 4 widoczne jest, jak się zamyka obwód prądu zwarcia z ziemią.

Rys. 5 ilustruje, jak prąd zwarcia z ziemią rozchodzi się w sieci 5 kV.

Z miejsca zwarcia w fazie R całkowity prąd zwarcia z ziemią płynie kablem zasilającym na szyny zbiorcze w rozdzielni, skąd rozdziela się na poszczególne czynne w danej chwili prądnice. Z prądnic wraca fazami S i T w wysokości $\frac{1}{\sqrt{3}} \sim 58\%$ poprzedniej wielkości na szyny i rozplywa się wszystkimi 34-ma kablami zasilającymi, proporcjonalnie do pojemności obszarów zasilania, aby przez te pojemności przeniknąć do ziemi. Wartości liczbowe, podane na rysunku, odpowiadają wielkościom wyliczonym w dalszym ciągu.

Ze względu na asymetrię, kóra jest charakterystyczną cechą zjawiska zwarcia z ziemią, bardzo dogodną metodą rozpatrywania zagadnienia tego jest t. zw. „rachunek skła-

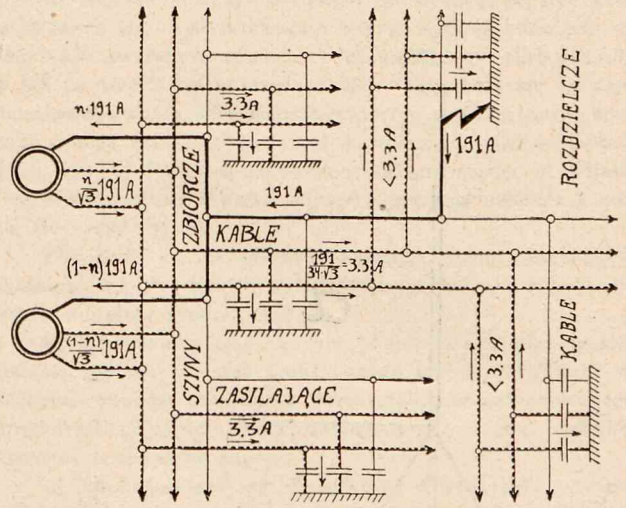


Rys. 4.

dowych symetrycznych” (metoda Fortescue). Podstawą jego jest fakt, że każdy układ trójfazowy niesymetryczny można zawsze rozłożyć na 3 składowe układy symetryczne, a mianowicie na dwa układy symetryczne trójfazowe o przeciw-

nych kierunkach wirowania wektorów i na układ jednofazowy.

Wyniki rozpatrzenia każdego z trzech układów z osobna sumujemy dla otrzymania rezultatu ostatecznego. (Oczy-



Rys. 5.

wicie nie zawsze można rozkład wogóle stosować, np. tam, gdzie w grę wchodzi nasycenia — otrzymalibyśmy wyniki fałszywe; dla zjawiska zwarcia z ziemią jednak metoda ta daje b. dobre rezultaty).

Nie wdając się tu w szczegóły, gdyż rachunek ten, posługując się metodą symboliczną, jest dosyć złożony — podamy wyniki w praktycznym oświetleniu, aby jak najwięcej wniosków móc wyciągnąć dla rozważanego zagadnienia w sieci warszawskiej.

W najogólniejszym przypadku metoda wspomniana wprowadza wzory z uwzględnieniem oporności pozornej miejsca zwarcia Z_N oraz impedancji linjowej Z . Bliższe rozważanie wskazuje możliwość zaniedbania obu tych wielkości, jako w większości wypadków niewielkich i wywierających mały stosunkowo wpływ. (Z zastrzeżeniem, że nie mamy do czynienia ze zwarciami przez mur lub drzewo, gdzie Z_N będzie duże — które to zastrzeżenie odpowiada możliwym zwarciom z ziemią w sieci kablowej. Impedancja linjowa Z dla kabli jest mała wobec niewielkiej indukcyjności).

Na rys. 6-a $\bar{I}_{CR}, \bar{I}_{CS}, \bar{I}_{CT}$ przedstawiają prądy ładowania pojemności sieci względem ziemi, wywołane napięciami fazowymi e_R, e_S, e_T . W momencie wystąpienia zwarcia z ziemią, jak to wyżej widzieliśmy, przez pojemność „zdrowych” faz względem ziemi popłyną prądy \bar{I}_T i \bar{I}_S , wywołane już napięciami skojarzonymi \bar{E}_{RS} i \bar{E}_{RT} , a więc $\sqrt{3}$ razy większe od poprzednich i odpowiednio zmienione w kierunku na wykresie wektorowym. Rozważając linję tuż przy źródle napięcia, znajdziemy oczywiście wartość prądu \bar{J}_R w fazie „chorej”, jako równą i przeciwną co do kierunku sumie $\bar{I}_S + \bar{I}_T$. Tę sytuację ilustruje właśnie rys. 6-a. Zjawisko się komplikuje, gdy uwzględnimy fakt, iż pojemności w sieci nie są skupione, lecz rozłożone wzdłuż linii przeważnie linjowo. Wykresy wektorowe na rys. 6 są otrzymane drogą analityczną właśnie zapomocą metody Fortescue, przytem a) odpowiada linii przy samym źródle energii (transformator, generator), b) — bezpośrednio przed miejscem zwarcia, licząc od źródła, c) — bezpośrednio za miejscem zwarcia.

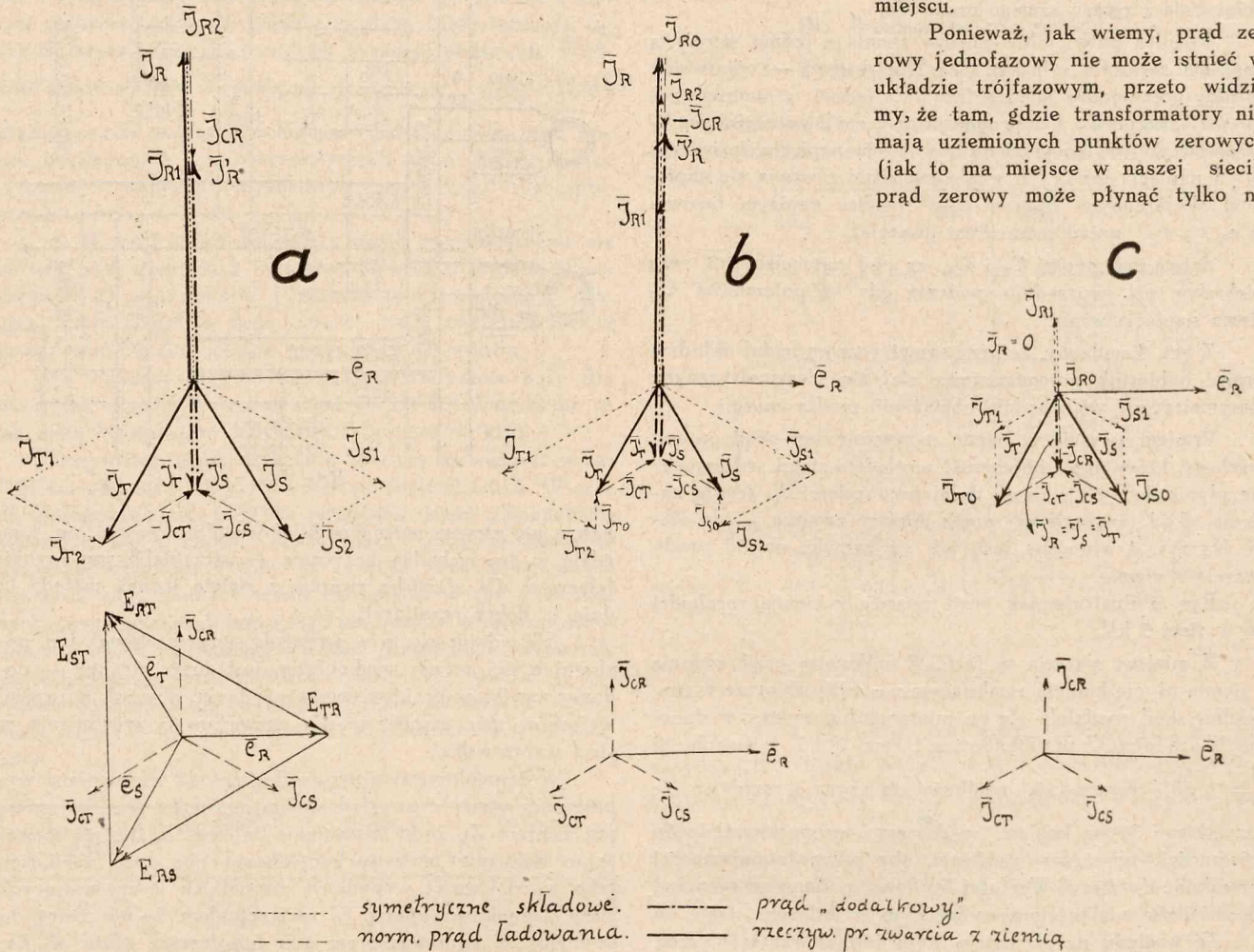
Wektory prądów rzeczywiście w przewodach płynących w poszczególnych fazach $\bar{I}_R, \bar{I}_S, \bar{I}_T$ przedstawione są jako sumy geometryczne „składowych symetrycznych”.

$$\bar{I}_R = \bar{I}_{R_0} + \bar{I}_{R_1} + \bar{I}_{R_2} \text{ i t. d.}$$

Ilościowo mamy odwzorowane wielkości dla linii o pojemności jednostajnie rozłożonej i dla zwarcia z ziemią w odległości 1/3 całej długości linii od źródła. $\bar{I}_{R_0}, \bar{I}_{S_0}, \bar{I}_{T_0}$ są składowymi jednofazowymi t. zw. zerowymi, $\bar{I}_{R_1}, \bar{I}_{S_1}, \bar{I}_{T_1}$

W przewodach płyną oprócz prądu zerowego jeszcze prądy obu układów trójfazowych symetrycznych, w sumie mamy system trójfazowy niesymetryczny, w którym suma prądów w każdej chwili równa się nie zeru, lecz sumie prądów zerowych trzech faz w danym miejscu.

Ponieważ, jak wiemy, prąd zerowy jednofazowy nie może istnieć w układzie trójfazowym, przeto widzimy, że tam, gdzie transformatory nie mają uziemionych punktów zerowych (jak to ma miejsce w naszej sieci), prąd zerowy może płynąć tylko na

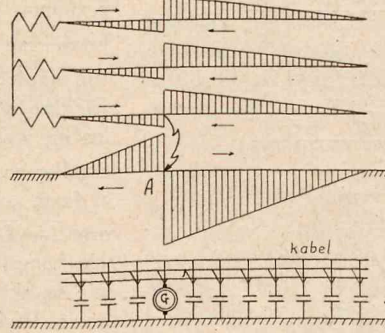


Rys. 6 a, b, c.

tworzą układ trójfazowy symetryczny o kierunku wirowania, zgodnym z przyjętym dla napięć w sieci, $\bar{I}_{R_2}, \bar{I}_{S_2}, \bar{I}_{T_2}$ mają kierunek wirowania przeciwny. Godne zaobserwowania jest, że przy źródle składowa zerowa zanika.

tych odcinkach, gdzie ziemia, sprzężona pojemnościowo, stanowi czwarty przewód powrotny. Przez uzwojenie trans-

Najbardziej charakterystyczne dla zwarcia z ziemią jest właśnie wystąpienie składowej jednofazowej zwanej „prądem zerowym”. Można sobie wyobrazić, że w miejscu zwarcia z ziemią pracuje „generator zerowy” jednofazowy, włączony między ziemię z jednej, a trzy przewody z drugiej strony. Rys. 7 przedstawia faktyczny rozptył tej składowej jednofazowej prądu zwarcia z ziemią, czyli prądu zerowego. „Generator zerowy” zasila położone z jego obu stron „odbiorniki”, któreimi są pojemności przewodów względem ziemi.

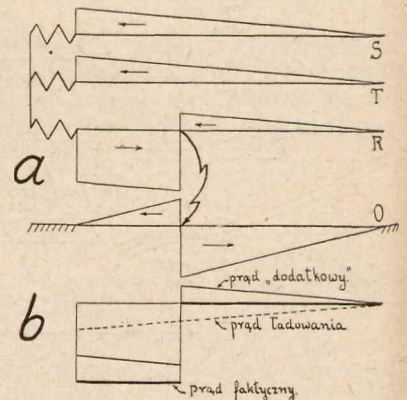


Rys. 7.

Ten prąd zerowy, przepływając przez miejsce zwarcia z ziemią, stanowi całkowity prąd zwarcia z ziemią i wynosi:

$$\bar{I}_E = -3 \bar{e}_R j \omega C l$$

(gdzie C — oznacza pojemność na jednostkę długości, a l — długość linii).



Rys. 8.

formatorów płynie więc tylko minimalny prąd zerowy, odpowiadający pojemności tych uzwojeń względem ziemi, bo transformator znajduje się zawsze w końcu linii lub w odgałęzieniu od niej.

Faktycznego prądu w linii nie możemy odwzorować

tak, jak na rys. 7 prąd zerowy, bo nie jest on w fazie w poszczególnych przewodach; okazuje się jednak, że jeżeli od tego faktycznego prądu odjąć wektorowo prądy ładowania pojemności poszczególnych faz względem ziemi, takie, jakie płynęły przed momentem zwarcia, to otrzymamy „dodatkowy prąd”, wywołany zwarcie, który znów będzie w fazie we wszystkich przewodach (rys. 8).

Obraz ten bardzo przejrzysto odwzorowuje jakością i ilościową stroną zwarcia z ziemią.

Jedynie w fazie R, która podlega zwarcia z ziemią, normalny prąd ładowania jest w fazie z „prądem dodatkowym” (i oczywiście z faktycznym prądem zwarcia z ziemią). Te dwa prądy są przytem skierowane przeciwnie (na prawo od miejsca zwarcia).

Rys. 8-b przedstawia sumę tych dwóch prądów, czyli obraz faktycznego prądu, płynącego w „chorej” fazie R, obraz zgodny z rzeczywistością; na prawo od miejsca zwarcia nie płynie żaden prąd, między miejscem zwarcia i źródłem energii płynie cały prąd zwarcia z ziemią.

Odwzorowanie wektorowe na rys. 6 i linjowe na rys. 7 i 8 wykazują zupełną zgodność.

Po odjęciu od $\bar{I}_R, \bar{I}_S, \bar{I}_T$ czyli od prądów rzeczywistych na rys. 6, prądów ładowania pojemności względem ziemi przed zwarcie: $\bar{I}_{CR}, \bar{I}_{CS}, \bar{I}_{CT}$ — otrzymuje się prądy „dodatkowe” $\bar{I}'_R, \bar{I}'_S, \bar{I}'_T$ które są rzeczywistością w fazie dla wszystkich 3 przewodów. W powyższym w myśl uprzednich założeń pominięty jest prąd ładowania pojemności międzyprzewodowych, który się nie zmienia w chwili zwarcia z ziemią.

Ilościowo rys. 8 odpowiada rys. 6.

IV. Wielkość prądu zwarcia z ziemią.

Wielkość prądu zwarcia z ziemią w sieci Warszawskiej wyliczymy na podstawie dotychczasowych danych:

1) dla sieci niskiego napięcia: z danych tablic I i II pojemność całej sieci niskiego napięcia wynosi:

$$\sum_n C_n I_n = 214,87 \mu F$$

Prąd zwarcia z ziemią, w założeniu, że cała sieć jest połączona razem, to znaczy, że nie ma podziałów sieci — wyniosłby:

$$I_E = 3 e_R \omega \sum C I = 3 \frac{1}{\sqrt{3}} (2 \cdot 122 + 211) \cdot 314 \cdot 214,87 \cdot 10^{-6} = 17,75 \text{ A}$$

(W powyższym założyliśmy dowolnie, że kabli o napięciu 122 V jest dwa razy więcej, niż kabli o napięciu 211 V i posiłkowaliśmy się napięciem średnim).

Potwierdza się przewidywanie (patrz II E 2), że w sieci niskiego napięcia prąd zwarcia z ziemią nie ma znaczenia: wynosi on dla wypadku, zgodnego ze stanem faktycznym, to znaczy przy istniejących podziałach sieci, 3 do 5‰ wyżej wyliczonej wielkości czyli w wartości bezwzględnej:

$$I_E^{NN} = 0,05 \text{ do } 0,09 \text{ A}$$

2) dla sieci 5 kV, przy pojemności całej sieci względem ziemi (na jedną fazę) $\sum_n C_n I_n = 87,06 \mu F$, prąd zwarcia z ziemią wyniosłby

$$I_E = 3 \frac{5000}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 87,06 \cdot 10^{-6} = 236,2 \text{ A}$$

Według II E 3 widzieliśmy, że prąd zwarcia z ziemią, ze względu na podział sieci może wynieść najwyżej 74% otrzymanej wyżej wartości czyli

$$I_E^{5kV} = 0,74 \cdot 236,2 = 175 \text{ A}$$

3) dla sieci 15 kV otrzymamy analogicznie:

$$\sum_n C_n I_n = 9,168 \mu F$$

$$I_E^{15kV} = 3 \frac{15000}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 9,168 \cdot 10^{-6} = 74,8 \text{ A}$$

4) Wzajemne oddziaływanie na siebie poszczególnych sieci uwzględnimy w założeniu, że może ono powstawać jedynie przez transformatory, którymi te sieci są powiązane.

Zagadnienie to trzeba rozpatrzyć w sposób trojaki:

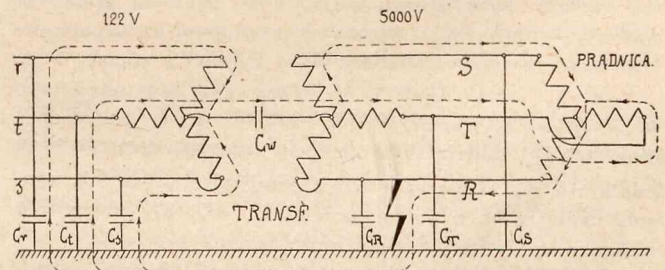
a) Wpływ zwarcia z ziemią w jednej sieci na sieć, która ją zasilą (np. wpływ zwarcia w sieci niskiego napięcia na sieć 5 kV, zwarcia w sieci 5 kV na sieć 15 kV albo zwarcia 15 kV na sieć 5 kV w rozdzielni) — ograniczy się do asymetrycznego obciążenia transformatorów i generatorów, spowodowanego zakłóceniem symetrii pojemności faz względem ziemi (rys. 4) i niejednakowymi spadkami napięć w linjach i transformatorach wskutek przepływu prądu zwarcia z ziemią (wykresy rys. 6).

Powyższe nie przedstawia żadnego niebezpieczeństwa, zwłaszcza na tle dużego stosunkowo obciążenia roboczego, prawie zupełnie symetrycznego.

b) Wpływ zwarcia z ziemią w sieci zasilającej na sieć zasilaną nie ma również praktycznego znaczenia. Ma tu co najwyżej miejsce minimalne zniekształcenie symetrycznego dotąd trójkąta napięć, dostarczanego sieci zasilanej, wskutek nierównych spadków napięć.

c) Najważniejszy jest dodatkowy wpływ, jaki wywiera na wielkość prądu zwarcia z ziemią w danej sieci pojemność sprzężonych z nią przez transformatory sieci, wpływ, wywierany za pośrednictwem pojemności wewnętrznej transformatorów (pojemności między jednym a drugim uzwojeniem transformatora).

Jeżeli wyobrazimy sobie tę pojemność, jako skupioną w formie kondensatora, włączonego między punkty zerowe obu uzwojeń transformatora, to będzie zrozumiałe, że powstanie dodatkowy prąd zwarcia z ziemią (rys. 9) wywołany tak,



Rys. 9.

jak normalny prąd zwarcia z ziemią napięciem punktu zerowego względem ziemi i przepływający przez pojemność wzajemną transformatora C_w oraz połączoną z nią szeregowo grupą trzech pojemności C_r, C_s, C_t , między sobą połączonych równolegle.

Istoty zjawiska nie zmienia oczywiście okoliczność, że jedno lub oba uzwojenia transformatora są połączone w trójkąt, bo obraz powyższy stworzyliśmy jedynie celem ułatwienia rozumowania.

Wielkość tego dodatkowego prądu zwarcia będzie:

$$I_{Ed} = \frac{E_R}{\sqrt{3}} \omega C_d$$

gdzie

$$C_d = \frac{C_w C_N}{C_w + C_N}$$

i $C_N = C_r + C_s + C_t = 3 C_r$, bo $C_r = C_s = C_t$

J_{Ed} oczywiście będzie w fazie z J_E , bo są to prądy pojemnościowe, wzniecone tem samym napięciem e_R .

Wpływ napięć fazowych e_r, e_s, e_t , pominięliśmy, bo wpływ ten znosi się w sumowaniu.

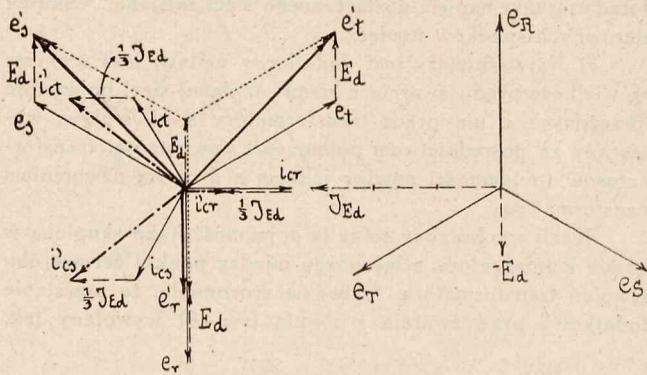
Również pominięliśmy wpływ oporu indukcyjnego uzwojeń transformatora, bo, jeżeli rozproszenie transformatora wynosi około 2% dla pełnego obciążenia, to dla tak minimalnego prądu (około 0,02 A), jaki tu wchodzi w grę — nie może odgrywać większej roli.

Należy wreszcie zauważyć, że w sieci „zdrowej”, sprężonej przez transformatory z siecią, dotkniętą zwarciami z ziemią, nastąpi pewne przesunięcie potencjału punktu zerowego względem ziemi, uwarunkowane wielkością prądu

$$J_{Ed} \text{ i oporu pojemnościowego } \frac{1}{\omega C_N}$$

$$E_d = I_{Ed} \cdot \frac{1}{\omega C_N}$$

Zachodzące stosunki ilustruje wykres wektorowy (rys. 10) \bar{J}_{Ed} — dodatkowy prąd zwarcia z ziemią, wzbudzony w obwodzie z rys. 9 napięciem \bar{e}_R ; — \bar{E}_d wywołany tym prądem spadek napięcia na pojemności C_N ; odwrotność tego spadku, czyli \bar{E}_d , jest napięciem, występującym faktycznie na tej pojemności. \bar{E}_d dodaje się do napięć względem ziemi po drugiej stronie transformatora $\bar{e}_r, \bar{e}_s, \bar{e}_t$; teraz te napięcia wyniosą $\bar{e}'_r, \bar{e}'_s, \bar{e}'_t$. Zamiast poprzednich równych prądów ładowania $\bar{i}_{cr}, \bar{i}_{cs}, \bar{i}_{ct}$ mamy obecnie prądy $\bar{i}'_{cr}, \bar{i}'_{cs}, \bar{i}'_{ct}$, które



Rys. 10.

od poprzednich są geometrycznie większe o $1/3 \bar{I}_{Ed}$. Te trzy prądy $1/3 \bar{I}_{Ed}$ dodają się w punkcie zerowym, tworząc prąd dodatkowy \bar{I}_{Ed} . W razie złej izolacji sieci \bar{E}_d będzie znacznie mniejsze, bo z pojemnościami C_r, C_s, C_t równoległe załączone są niewielkie opory upływności.

5) Ostatecznie ustalimy wielkość prądu zwarcia z ziemią dla sieci 5 kV, zasilanej z rozdzielni. (W tym przypadku właśnie mamy do czynienia z największym wogóle możliwym prądem zwarcia z ziemią w naszej sieci).

Pomiary pojemności międzyuzwojeniowej dla transformatorów powietrznych o mocach 5—200 kW, stosowanych przy przejściu z sieci 5 kV na niskie napięcie, dały wartość przeciętną około $0,018 \mu\text{F}$ na 1 transformator.

W założeniu, że 74% transformatorów i 74% ogólnej długości sieci niskiego napięcia przypada na tę część sieci 5 kV (patrz II, E, 3) — otrzymamy:

$$C_r = C_s = C_t = 0,74 \cdot 214 \cdot 87 = 159 \mu\text{F}$$

$$C_N = 3 C_r = 3 \cdot 159 = 477 \mu\text{F}$$

$$C_W = 0,74 \cdot 1370 \cdot 0,018 = 18,26 \mu\text{F}$$

$$C_d = \frac{C_W \cdot C_N}{C_W + C_N} + \frac{18,26 \cdot 477}{18,26 + 477} = 17,58 \mu\text{F}$$

$$I_{Ed} = \frac{E_R}{\sqrt{3}} \omega C_d = \frac{5000}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 17,58 \cdot 10^{-6} = 15,95 \approx 16 \text{ A}$$

Ostatecznie więc faktyczny prąd zwarcia z ziemią wyniesie:

$$I_E^{5kV} = 175 + 15 = 191 \text{ A.}$$

czyli o $\frac{16}{175} 100 = 9,15\%$ więcej, niż bez uwzględnienia wpływu sieci niskiego napięcia.

Dodatkowe napięcie punktu zerowego strony niskiego napięcia wyniesie:

$$|E_d| = I_{Ed} \cdot \frac{1}{\omega C_N} = \frac{16 \cdot 10^6}{314 \cdot 477} = 107 \text{ V.}$$

Oczywiście obliczenia powyższe mają charakter przybliżony, mowy bowiem niema o dokładnym ustaleniu rozplywu prądu w sieci złożonej. Analogicznie, przy zwarcia z ziemią w sieci 15 kV, trzeba uwzględnić wpływ pojemności całej sieci 5 kV poprzez 18 transformatorów na podstacjach i w centrali, dla których pomiary dały średnią wartość pojemności międzyuzwojeniowej $0,05 \mu\text{F}$.

$$C_N = 3 C_r = 3 \cdot 87,06 = 261 \mu\text{F}$$

$$C_W = 18 \cdot 0,05 = 0,9 \mu\text{F}$$

$$C_d = \frac{261 \cdot 0,9}{261 + 0,9} \approx 0,9 \mu\text{F}$$

$$I_{Ed} = \frac{15000}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 0,9 \cdot 10^{-6} = 2,45 \text{ A}$$

$$E_d = \frac{2,45 \cdot 10^6}{314 \cdot 261} = 29,9 \text{ V.}$$

Wpływ jest tu minimalny, prąd zwarcia z ziemią będzie o $\frac{2,45}{74,8} 100 = 3,3\%$ większy i wyniesie:

$$J_E^{15kV} = 74,8 + 2,45 = 77,3 \text{ A.}$$

W powyższych obliczeniach pominieliśmy zupełnie wpływ pojemności sieci 15 kV na zwarcie z ziemią w sieci 5 kV, bo nie przekroczy $1,1\% \left(\frac{3,3}{3} = 1,1 \right)$.

V. Skutki zwarcia z ziemią.

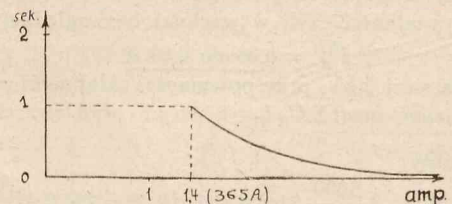
Przedewszystkiem przedstawimy stosowane zabezpieczenia sieci. Każdy kabel zasilający wyposażony jest obustronnie w wyłączniki olejowe automatyczne. Przekazniki w rozdzielni (lub podstacji) działają z opóźnieniem 2 sekund, niezależnym od prądu, i nastawione są na prąd 240 Amp. przy kablach 95 mm^2 i na mniejszy przy mniejszych przekrojach.

Przekazniki w punktach zasilających reagują na prąd przekraczający 365 A i mają czas wyłączenia 1 sekundę przy tym prądzie. Czas jest zależny od prądu, i jest tem mniejszy im większy prąd (patrz rys. 11).

Sieć rozdzielcza zabezpieczona jest olejowymi bezpiecznikami topikowymi, dawnego typu Lahmayer'a, przyczem dla osiągnięcia pewnej selektywności: 1) bezpieczniki znajdują się tylko w stacjach rozgałęźnych, z których wychodzą najmniej 3 kable wysokiego napięcia (w stacjach przelotowych na miejscu bezpieczników są wkładki metalowe); 2) odcinki kabli mają w bezpośrednim sąsiedztwie punktów zasilających zabezpieczenie o jeden stopień silniejsze: w naszym przypadku dla kabli $3 \times 16 \text{ mm}^2$ normalne bezpieczniki 60 A, przy punktach zasilających — 80 A.

Rozważmy dwie ewentualności zwarcia z ziemią:

1) Zwarcie z ziemią w sieci rozdzielczej. „Chory” kabel jest obustronnie zabezpieczony bezpiecznikami. Wielkość prądu, będącego sumą geometryczną prądu



Rys. 11.

zwarcia (191 A) i prądu obciążenia (kilkadziesiąt amp.), zapewnia momentalne (ułamek sekundy) spalanie się bezpieczników i odcięcie miejsca uszkodzonego. Gdyby bezpieczniki działały idealnie, to selekcja byłaby niemal zupełna. Odłączona zostałaby tylko faza uziemiona, bo w pozostałych ma miejsce minimalny wzrost prądu wskutek prądu pojemnościowego, rozplywającego się przez pojemność do ziemi w tej części sieci. Spaliłyby się tylko bezpieczniki najbliższe zwar-

cia leżące, jeżeli dalej prąd zwarcia z ziemią ma kilka dróg równoległych. Automat w punkcie zasilającym nie powinien reagować, o ile zwarcie z ziemią nie przejdzie szybko w normalne dwu lub trzybiegunowe zwarcie, bo suma geometryczna prądu ziemnozwarciowego 191 A i maksymalnego dopuszczalnego prądu obciążenia kabla zasilającego (160 A, zwykle znacznie mniej) nie przekroczy 365 A.

Wogóle obserwacja wypadków, zachodzących w praktyce, poucza nas, że w 99 wypadkach na 100 zwarcie z ziemią przechodzi w pełne krótkie zwarcie, zanim jakiegokolwiek zabezpieczenia zaczną działać i „chore” miejsce odizolują. Zasadniczą i decydującą rolę odgrywa tu wielkość prądu zwarcia z ziemią i związana z nią siła cieplna łuku wytworzonego.

W sieciach rozdzielczych, zasilanych z podstacji, składających się z 2 do 6 obszarów zasilania, mających więc prąd zwarcia z ziemią od $\frac{2}{34} 191 = 11,3$ A do $\frac{6}{34} 191 = 33,9$ A, mało jest prawdopodobne tak duże obciążenie kabli rozdzielczych, aby wystąpienie niewielkiego prądu zwarcia z ziemią mogło wystarczyć do wywołania palenia się bezpieczników. Długotrwały prąd zwarcia z ziemią ostatecznie doprowadzi do zwarcia zwykłego.

2) Zwarcie z ziemią w kablu zasilającym.

Przez każdy kabel zasilający płynie na szyny zbiorcze $\frac{191}{34 \cdot \sqrt{3}} \approx 3,3$ A. Przez kabel uszkodzony płynie z szyn jedną fazą do miejsca zwarcia 191 A. W większości wypadków prąd ten łącznie z prądem obciążenia nie wystarczy do wyłączenia automatu na rozdzielni. W razie, gdy wystarcza, może też nieraz nie nastąpić wyłączenie, jeżeli zwarcie z ziemią nastąpi w fazie S, niechronionej przekątnikami (które są w fazach R i T). Wyłączenie nastąpi dopiero po powstaniu zwykłego zwarcia.

W razie zwarcia z ziemią w kablu zasilającym z podstacji, okres trwania zwarcia z ziemią jest dłuższy, wobec mniejszej wartości prądu zwarcia z ziemią.

Zwarcie z ziemią w sieci 15 kV nie stanowi w żadnym razie dostatecznego bodźca do wyłączenia automatów. Zwarcie zwykle, będące nieodzowną konsekwencją zwarcia z ziemią, nie powoduje w sieci 15 kV przerw w ruchu, wobec podwójnego, równoległego zasilania podstacji i selektywnego zabezpieczenia kabli.

W obecnej chwili zwarcia z ziemią w sieci Warszawskiej nie dają się zbyt dotkliwie we znaki, a pewność i ciągłość ruchu są zupełnie zadowalające.

Dotychczas braliśmy pod uwagę jedynie zjawiska przeżeniowe, związane ze zwarciami z ziemią. Na szczególną uwagę zasługuje jednak również i strona przebiegiowa.

Wszelki łuk ziemnozwarciowy w momencie przerywania się pozostawia na pojemności, kórą zwierają, duży ładunek statyczny, bo dla prądu pojemnościowego napięcie osiąga swe maksimum w momencie przejścia chwilowej wartości prądu przez zero. Przy dalszym wzroście prądu, po przejściu jego wartości przez zero, następuje zwykle ponowny zapłon łuku. Łuk zapala się i gaśnie w takt częstotliwości prądu, dopóki dostateczne nagrzanie ośrodka nie zapewni mu ciągłości. Pozostawione za każdym razem ładunki sumują się, powodując przebiecia w wysokości 4—4,5-krotnego napięcia normalnego w fazach „zdrowych”, a 3—3,5-krotnego w fazie uziemionej.

Gwałtowne podskoki i spadki napięcia w momentach zapłonu i gaśnięcia łuku powodują powstawanie napięciowych fal wędrownych o bardzo stromym czole. Zbyteczne byłoby uzasadniać, jak szkodliwy będzie wpływ tych przebiegów na wszystkie części sieci. W równej mierze zagrożone

są transformatory, urządzenia rozdzielcze, jak również i kable.

Proces uszkodzenia kabli może następować stopniowo: słabe miejsce izolacji, zaatakowane przez przepięcie i nadwątlone jeszcze bardziej przy następnych przebiegach, jest tembardziej narażone na ich wpływ szkodliwy. Czas trwania tego niszczącego procesu może się przedłużać na tygodnie i miesiące przy sprzyjających warunkach atmosferycznych (susza, mróz).

Do możliwie dokładnej oceny znaczenia, jakie ma dla nas zagadnienie zwarcia z ziemią, pomocną nam będzie jeszcze analiza statystyki uszkodzeń w sieci 5 kV. W ciągu ubiegłych lat dziesięciu wogóle zanotowano 63 wypadki; w tem: 6 spowodowanych zalaniem wodą stacji transformatorowych, 12 wskutek uszkodzeń kabli przy robotach ziemnych gazowych, wodociągowych i t. d., 45 wypadków nie miało przyczyn ściśle określonych.

Oczywiście w ogromnej większości tych wypadków początkiem uszkodzenia było zwarcie z ziemią, które jednak tak szybko przechodziło w normalne zwarcie, że bezpieczniki paliły się już nie na jednej, lecz na 2 lub 3 fazach. W jednym tylko wypadku spaliły się bezpieczniki jednej fazy — czyli było czyste zwarcie z ziemią. Następnie godne jest zanotowania, że 12 z pośród wyżej wymienionych 45 wypadków miało miejsce równocześnie z innym, lecz w zupełnie innym, odległym zwykle miejscu, co by wyraźnie wskazywało na przebiecia, jako ich przyczyny. Również dla wszelkich wypadków, niespodowodanych wyraźnymi przyczynami, można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że przy pewnych przyczynach pierwotnych, jak: wady izolacji, uszkodzenia jej przy układaniu kabli, niedokładności montażu, powodujące zawilgocenie, dopiero powtarzające się przebiecia, wywołane między innymi zwarciami z ziemią w innych częściach sieci, doprowadziły ostatecznie do zupełnego przebicia izolacji.

Dla lepszego zapoznania się z przebiegiem zwarcia z ziemią oraz dla sprawdzenia wyników obliczeń dokonana została próba zwarcia z ziemią drogą bezpośredniego uziemienia jednej fazy szyn zbiorczych 5 kV w rozdzielni.

Uziemienie było wykonane przez zmontowanie na marowym końcu kabla, wychodzącego z rozdzielni, rękawa kablowego, z którego wypuszczono 3 żyły i przylutowano je do płyty uziemiającej, zakopanej na głębokości 2,5 m. Włączanie na ziemię dokonywane było wyłącznikiem olejowym, przy każdorazowym załączaniu odłącznika, przed nim w szeregu wbudowanego, tylko na 1 fazę. Pomiar prądu zwarcia z ziemią różnymi przyrządami i w różnych fazach dał wartości, wahające się od 97 do 120 A. Jest to wielkość mniejsza od obliczonej (191 A) ponieważ:

a) wartość pojemności kabli, użyta w obliczeniach, jest dosyć dowolna; należy przypuszczać, że kable, kładzione przed dwudziestu kilku laty, miały znacznie mniejszą pojemność — na co jednak brak danych liczbowych;

b) wskutek mrozów opór uziemienia był dość znaczny i wynosił 8,2 Ω (próby będą powtórzone w lecie).

c) wszelkie uproszczenia i przybliżenia, stosowane w obliczaniu, zmierzały do otrzymania raczej za dużej, niż za małej wartości (np. pominięcie impedancji linowej), bo z punktu widzenia ochrony i zabezpieczenia sieci interesuje nas właśnie największa możliwa wielkość prądu zwarcia z ziemią, względnie granica górna, której ta wielkość napewno nie przekracza.

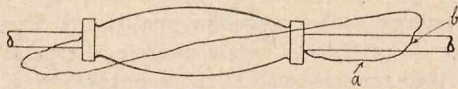
W czasie próby zwarcia z ziemią żadnych zjawisk przebiegiowych nie zaobserwowaliśmy, raz, że były one znacznie stłumione przez dobre gaszenie łuku ziemnozwarciowego w wyłączniku olejowym, i powtórnie wskutek braku

dość czułych urządzeń do zaobserwowania tych zjawisk. (Obserwowano wzrokowo i słuchowo rozłuki trójk./gwiazda siemensowskie na sieci 5 i 15 kV).

Wreszcie przewidywane przesunięcie względem ziemi potencjału punktu zerowego sieci niskiego napięcia nie dało też się stwierdzić wskutek przeważającego wpływu znacznej upływności sieci nad jej pojemnością.

Dodatek.

Poniżej podamy opis ciekawych obserwacji, poczynionych w sieci, w związku z uszkodzeniem w kablu zasilającym 5 kV. Zjawiska zaobserwowane dadzą się wyjaśnić właśnie dzięki poznaniu przebiegu zwarcia z ziemią. Przy poszukiwaniu uszkodzenia w kablu, odkopano na nim cały szereg muf łącznych. Przy wszystkich (na przestrzeni przeszło 2000 m) stwierdzono, że są popalone druty uziemiające (są to druty miedziane cynowane o przekroju $2 \times 1 \text{ mm}^2$, gołe, łączące płaszcz ołowiany kabla z obu stron mufy z korpusem mufy i ze sobą, — mają na celu uzie-



Rys. 12.

mienie tych części). Ostatecznie znalezione uszkodzenie miało postać mufy łącznej zupełnie rozsądzonej. Należy wnioskować, że zwarcie, które spowodowało to uszkodzenie było następstwem zwarcia z ziemią, spowodowanego np. zawilgoceniem mufy. Prąd zwarcia o znanej nam już wielkości stukilkudziesięciu amperów w swej drodze do ziemi wybrał sobie drogę najmniejszego oporu — płaszczem ołowianym kabla w obie strony od miejsca uszkodzenia (przejście z korpusu mufy do ziemi jest utrudnione przez warstwę smoły i rdzę). Cienkie druty uziemiające, przez które prąd ten omijał następne mufy, musiały się popalić. Musimy więc się liczyć z tem, że w sieci bardzo wiele muf nie ma uziemień, bo przecież nie wszystkie mufy się odkopuje po każdym wypadku. W danym wypadku jednak zaobserwowano jeszcze ważniejsze zjawisko. Oto przy jed-

nej z odkopanych muf obok przepalonego drutu uziemiającego była w kablu wypalona dziura o powierzchni $3-4 \text{ cm}^2$, dziura, która nie sięgała aż do żył: drut był przyszwesowany do kabla.

Okazuje się więc, że po przepaleniu się drutu w punkcie a (rys. 12) prąd zwarcia z ziemią w tym drucie, przepływając bezpośrednio do płaszcza ołowianego w punkcie b, wytworzył łuk, będący sprawcą tego wtórnego uszkodzenia, albo że łuk, powstały wskutek przepalenia się drutu, wypalił bezpośrednio dziurę w kablu.

W każdym razie jest niewątpliwe to, że drut uziemiający, nie będąc dość grubym dla przepuszczenia prądu zwarcia z ziemią, może powodować uszkodzenie kabla tem szkodliwsze, że nie występujące odrazu, lecz z biegiem czasu (kiedy wilgoć dostałaby się do wypalanej w ołowiu dziury). W danym wypadku odnalezienie tego uszkodzenia było czysto przypadkowe.

Dla zapobieżenia powyższemu należałoby albo zupełnie zarzucić stosowanie uziemień muf, albo używany drut musiałby mieć przekrój dostosowany do wielkości występującego prądu zwarcia z ziemią.

Zaniechanie stosowania uziemień byłoby w zasadzie rozwiązaniem najłatwiejszym, a to tembardziej, że celowość uziemień i ich skuteczność i tak wydają się problematyczne.

Ciekawe też będzie przytoczyć tu opinię Rüdemberga (Elektrische Schaltvorgänge 1933, str. 186): „Gdy zwarcie z ziemią powstaje w linii kablowej, to prąd zwarcia z ziemią przeważnie przechodzi w metalowe uzbrojenia kabla i dopiero stopniowo rozchodzi się w ziemi. Gdy przewodność tego uzbrojenia nie wystarcza dla wielkości prądu, a zwłaszcza gdy są przy mufach, między poszczególnymi odcinkami kabli, złe przejścia, to mogą spowodować groźne zjawiska przepalania się kabli. Jest więc konieczne dbać przy rozległych sieciach kablowych o dobre metaliczne połączenie poszczególnych odcinków płaszczy ołowianych kabli, albo też należy całkowicie je od siebie odizolować”.

Wskutek wyżej przytoczonych obserwacji i rozważań zaniechane zostało w sieci kablowej stosowanie połączenia metalicznego między płaszczami ołowianymi kabla z obu stron muf łącznych lub rozgałęźnych.

KONTROLA IZOLACJI W URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH.

Inż. Bogusław Tittenbrun.

Streszczenie. Po wyjaśnieniu pojęć zasadniczych omówiono znaczenie zagadnienia oraz czynniki, mające wpływ na stan izolacji, wreszcie podano ogólną charakterystykę stosowanych metod. Dzieliąc metody kontroli na okresowe i ciągłe, podano szereg układów, stosowanych przy różnych systemach prądu. Wreszcie wskazano warunki, jakim powinny odpowiadać sieci dla ułatwienia skutecznej kontroli, wymaganej przez odnośne przepisy.

W początkach rozwoju elektrotechniki nie zdawano sobie dokładnie sprawy z własności materiałów, używanych do budowy urządzeń elektrycznych i dzielono je pod względem przewodności na przewodniki i izolatory. Podział ten utrzymał się poniekąd i do dnia dzisiejszego, pojęcie jednak izolatora bezwzględnie dziś już nie istnieje. Porównyując materiały izolacyjne między sobą, operujemy przedewsz-

stkiem pojęciem oporu, odnosząc je przytem do warunków, w jakich dany materiał się znajduje. Jeżeli mówimy o stanie izolacji przewodów, maszyn, przyrządów czy też całej sieci, mamy przedewszystkiem na myśli opór materiałów izolacyjnych, oddzielających różnobiegunowe części urządzenia od siebie oraz części urządzenia, przeznaczone do pozostawiania pod napięciem, od tych, które mogą — ale nie powinny — prądu przewodzić. Ostatnie bywają w niektórych wypadkach uziemione, ogólnie zaś nie są umyślnie od ziemi izolowane — zatem pomiar oporu między przewodnikiem a ziemią daje nam przybliżony obraz stanu izolacji urządzenia względem tych jego części, które zamierzamy chronić od przedostania się do nich napięcia. Obraz stanie się dokładny, gdy te wszystkie części będą dobrze uziemione; ogólnie jednak dobra izolacja względem ziemi łącznie z dobrą izolacją biegunów względem siebie nie jest jeszcze wskazówką, że urządzenie jest pod względem stanu izolacji

bez zarzutu. Jak widzimy, zagadnienie stanu izolacji jest ściśle związane z kwestią uziemień. Wyniki pomiarów oporu izolacji zależą w dużym stopniu od ilości i dobroci uziemień ochronnych. Możemy się łatwo o tem przekonać, odłączając dla próby wszystkie lub choćby część tylko uziemień ochronnych danej sieci: pomiar wykaże natychmiast wzrost oporu izolacji względem ziemi, przez co urządzenie nie stanie się oczywiście lepsze, lecz wprost przeciwnie — pogorszy się. W praktyce stosujemy oprócz pomiarów izolacji biegunów względem siebie wyłącznie prawie pomiary względem ziemi; musimy jednak pamiętać, że wynik może być fałszywy, jeżeli uziemienia ochronne nie będą w porządku.

Opór izolacji danego urządzenia nie jest wielkością stałą, lecz zależy w dużym stopniu od wielu czynników. Wilgotność i temperatura powietrza, zawartość w niem gazów i pyłów należą do czynników, oddziałujących trwale na izolację; uszkodzenia mechaniczne wszelkiego rodzaju, zużycie się czy rozluźnienie części przyrządów, pozostających pod napięciem, zwłaszcza wyłączników, powodować mogą stałe lub przejściowe zmiany stanu izolacji. Ta właśnie wielka zmienność liczb, charakteryzujących stan izolacji, utrudnia znacznie zadanie utrzymania urządzenia w należytym stanie, szczególnie gdy sieć przewodów jest rozległa i gdy zachodzą w jej obrębie różnorodne i często powtarzające się procesy. Najwięcej z pewnością sprawiają kłopotu krótkotrwałe, nieraz ułamek sekundy trwające, pogorszenia się stanu izolacji, powstające np. przy uruchamianiu wyłączników; wyszukiwanie tego rodzaju błędów jest niełatwe.

Dobry stan izolacji ma przede wszystkim pierwszorzędne znaczenie dla pewności ruchu. Każda niemal wada izolacji ma tendencję do potęgowania się, czyli prowadzi w konsekwencji do zwarcia z ziemią lub między biegunami, zwarcia zaś z kolei pociągają za sobą przepięcia i przetężenia, nadwerężające miejsca słabszej izolacji. Drugim, niemniej ważnym punktem jest wzgląd na zwiększone niebezpieczeństwo porażenia. Wreszcie, przy złej izolacji sieci występują niepożądane zakłócenia, np. w telefonach i innych urządzeniach pomocniczych. Dlatego przepisy budowy i ruchu wszystkich krajów poświęcają zagadnieniom izolacji wiele uwagi, a jeśli dokładne liczbowe określenie wymaganego jej oporu spotyka się rzadko, to dzieje się to tylko ze względu na wspomnianą wyżej zależność jej od wielu czynników, wykluczającą prawie możliwość praktycznego stosowania norm ogólnych. Przepisy polskie wymagają, jak wiadomo, aby oporność izolacji odcinka sieci przewodów izolowanych, zawartego między dwoma bezpiecznikami lub za ostatnim bezpiecznikiem, wynosiła najmniej 1000 omów na 1 volt napięcia roboczego; dla miejsc wilgotnych, a także dla maszyn, transformatorów, akumulatorów, przyrządów, przewodów napowietrznych żaden określony opór izolacji nie jest przepisany. Dalej przepisy wymagają, aby pomiary izolacji wykonywane były możliwie napięciem, równym napięciu robocznemu, a w żadnym razie nie niższym, niż 100 woltów. Jest to zrozumiałe, jeżeli ważmiemy pod uwagę, że wyniki pomiarów przy użyciu różnych napięć mogą być różne, a chodzi nam przecie przede wszystkim o zorientowanie się co do stanu izolacji w normalnych warunkach ruchu. W razie użycia do pomiarów zbyt niskiego napięcia może wiele błędów, występujących przy napięciu roboczym, pozostać nieujawnionych; zbyt wysokie napięcie może natomiast spowodować niepotrzebne uszkodzenie tych punktów izolacji, które w normalnych warunkach mogłyby zapewne jeszcze dobrze spełniać swoje zadanie.

Wiadomo z praktyki, że większa część wypadków uszkodzenia izolacji dotyczy izolacji między przewodem

a ziemią; wady izolacji międzyprzewodowej są o wiele rzadsze. Pochodzi to stąd, że ilość i intensywność oddziaływania czynników zewnętrznych jest nierównie większa od przyczyn, występujących wewnątrz samego urządzenia, i że rozporządzamy lepszymi środkami dla zapobieżenia lub stłumienia w zarodku przyczyn natury wewnętrznej, jakimi są np. przetężenia i przepięcia. Z tego względu przywiązujemy większą wagę do kontroli izolacji przewodów względem ziemi, niż do sprawdzania izolacji międzyprzewodowej, a rozwój metod kontroli szedł również więcej w tym kierunku. Ogólnie rozróżniamy dwie metody kontroli: kontrolę okresową, uskutecznianą przez pomiary w ustalonych zgóry terminach oraz kontrolę ciągłą przy pomocy stale włączonych przyrządów, które mogą być skombinowane z przekazywanymi rejestrującymi, alarmującymi lub wyłączającymi. O ile pierwsza z tych metod nadaje się do urządzeń „spokojnych”, podlegających przeważnie wpływom powoli działających czynników zewnętrznych, o tyle w urządzeniach bardziej skomplikowanych, o wielkiej liczbie różnorodnych odbiorników i przy większej możliwości powstawania niespodziewanych uszkodzeń mechanicznych wskazane jest stosowanie metody drugiej. Kontrola ciągła daje pełniejszy obraz stanu izolacji, jest jednak znacznie kosztowniejsza, a wyniki pomiarów są naogół mniej dokładne, nadto, będąc zazwyczaj scentralizowana w większych rozdzielniach, obejmuje znaczniejsze kompleksy urządzeń; jeżeli więc chodzi o kontrolę szczególnie pieczołowitą, wskazane jest stosowanie obu metod naraz.

Do pomiarów oporności izolacji nadaje się najlepiej prąd stały. Prąd zmienny znajduje sobie bowiem drogę równoległą do drogi oporu izolacji poprzez pojemność sieci; można więc ten rodzaj prądu stosować tylko w urządzeniach o bardzo małej pojemności, lub gdy rezygnuje się z większej dokładności, a chodzi tylko o wykrycie znacznych błędów. Nie należy jednak zapominać, że przyrząd, najczęściej używany do badania izolacji — induktor, wytwarza prąd tętniący, zawierający zatem składową zmienną, która również płynie poprzez opory pojemnościowe. Składowa ta powinna być możliwie mała i możliwie zbliżona do sinusoidy; miarą jej, a zarazem poniekąd miarą dobroci induktora jako źródła prądu, jest stosunek najwyższej wartości krzywej napięcia do średniej jej wielkości. Stosunek ten w dobrych induktorach wynosi około 1,5 i mniej, w gorszych dochodzi do 3 i 4.

Urządzenia prądu stałego znajdują się w odniesieniu do kontroli izolacji w lepszych warunkach, niż urządzenia prądu zmiennego, gdyż do pomiarów daje się doskonale stosować własne napięcie sieci; jest tu szczególnie ułatwiona kontrola ciągła; również łatwiejsze jest określenie stanu izolacji poszczególnych biegunów oddzielnie. Tem się też tłumaczy, że w starszych urządzeniach prądu stałego spotykamy tak często na tablicach mierniki izolacji, gdy obecnie, przy całkowitem niemal przejściu na prąd trójfazowy widzimy ich mało; zastąpiły je przeważnie wskaźniki zwarcia z ziemią, dające tylko zgruba pojęcie o stopniu uszkodzenia izolacji. I te jednak, nieraz stosunkowo proste i tanie przyrządy, bywają przy projektowaniu urządzeń często pomijane, choć zasługują one na uwagę ze względu na znaczenie, jakie do stanu izolacji powinno się przywiązywać.

Przejdziemy teraz do krótkiego przeglądu metod pomiarowych, stosowanych przy kontroli stanu izolacji.

Badania okresowe najwygodniej jest przeprowadzać w urządzeniach, wyłączonych z pod napięcia. Używamy wówczas prostego układu, polegającego na utworzeniu obwodu ze źródła prądu, badanej izolacji i woltomierza lub galwa-

nometru. Przy znanym oporze woltomierza i niezmiennym napięciu może być skala woltomierza wprost cechowana w omach. Niewygodnym jest, że skala omów zgęszcza się w kierunku dodatnim, stosownie do wzoru

$$x = g \left(\frac{E}{E'} - 1 \right),$$

gdzie E jest napięciem źródła prądu, E' napięciem, odczytywanym przy pomiarze, i g oporem woltomierza. Najkorzystniejsze jest użycie specjalnie do tego celu przeznaczanego obcego źródła prądu (induktora, baterji), możliwe jest jednak stosowanie własnego napięcia sieci. W ostatnim razie wyniki są mniej dokładne, ponieważ sieć, z której pobieramy prąd dla pomiaru, posiada sama też niedoskonałą izolację; jeszcze mniej dokładne wyniki będą, oczywiście, przy pomiarze prądem zmiennym. Jako miernik służy przy prądzie stałym najlepiej woltomierz z ruchomą cewką, przy prądzie zmiennym zaś miernik elektrodynamiczny lub elektromagnetyczny. Dla dokładnego pomiaru opór woltomierza powinien być rzędu mierzonego oporu izolacji, dlatego pożądane są przyrządy z oporami przełączalnymi. Przy induktorze jako źródle prądu trudność sprawia nadanie twornikowi równomiernej szybkości, i to tem bardziej, im wyższe jest napięcie pomiaru. Powstający stąd błąd często niweczy korzyści, które daje stosowanie wyższego napięcia. Istnieją konstrukcje zatrzymujące samoczynnie wskazówkę woltomierza przy osiągnięciu żądanej szybkości twornika induktora. Ponieważ jednak wskazówka o wiele szybciej podąża za zmianą napięcia, niż wyzwalający zapadkę regulatorów odśrodkowy, nie wydaje się, żeby dokładność pomiaru na tem urządzeniu zyskiwała. Innym sposobem zmniejszenia wpływu wahań napięcia jest przy woltomierzach z ruchomą cewką zastąpienie sprężynki, przeciwdziałającej momentowi cewki mierniczej, przez drugą cewkę, umieszczoną na tej samej osi. Prąd, płynący przez tę cewkę, zamyka się przez stały opór i źródło prądu. Sposób ten jest bardzo skuteczny i w połączeniu z dobrym induktorem daje dostateczną dokładność pomiarów. Induktorem, zaopatrzonym w woltomierz z cewką ruchomą, można badać też urządzenia prądu zmiennego pod napięciem, o ile, oczywiście, napięcie robocze sieci nie jest zbyt wysokie w stosunku do wytrzymałości elektrycznej przyrządu. Aby nie wystąpił przytem rezonans mechaniczny ruchomego systemu mierniczego woltomierza, nie może być okresowość drgań własnych tego systemu wielokrotnością częstotliwości sieci.

Induktor jest przyrządem niezbędnym w każdym urządzeniu elektrycznym. Przy zakupie tego przyrządu należy zwrócić uwagę na wytwarzane napięcie, które nie powinno być za wysokie, a tylko być dostosowane do napięcia sieci, na system woltomierza, na dobrą izolację (zła izolacja powoduje fałszywe wyniki pomiarów!), na zrównoważenie twornika, wreszcie na ciężar i wymiary przyrządu.

Przy kontroli ciągłej stanu izolacji korzystamy zasadniczo z napięcia własnego sieci. Teoretycznie byłoby możliwe, oczywiście, zastosowanie przy prądzie zmiennym opisanego ostatnio sposobu; byłby to jednak już zbytek, wymagający zainstalowania stale działającego źródła prądu o odpowiednim napięciu i izolacji. W urządzeniach prądu stałego mamy do rozporządzenia oddawna opracowane metody pomiarów napięciem sieci, na których też bywają oparte stale działające wskaźniki. Według metody Frischa włączamy między każdy biegun a ziemię po woltomierzu o znanym oporze. Z ich odchyleń, proporcjonalnych do oporu izolacji odpowiedniego bieguna, można, znając napięcie sieci, obliczyć zarówno te opory oddzielnie, jak i odra-

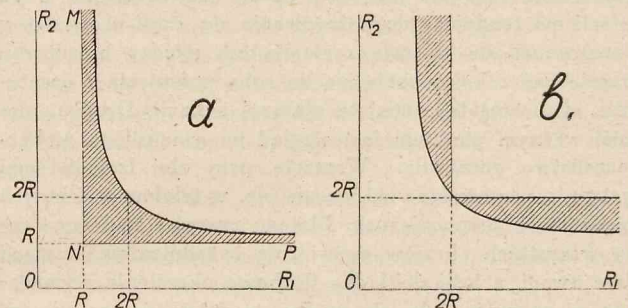
zu ich oporność wypadkową. I tu pożądane jest dla dokładności pomiaru, aby opór woltomierza i opór izolacji były jednego rzędu. Na powyższej zasadzie oparte też bywają przyrządy do kontroli ciągłej, mierzące zazwyczaj izolację wypadkową obu przewodów według wzoru

$$x = g \left(\frac{E}{E_1 + E_2} - 1 \right).$$

Woltomierz posiada w tym celu dwie cewki i skalę w omach, a także często kontakt, włączający obwód sygnałowy przy pewnym określonym odchyleniu. Mimoходом zauważymy, że właściwiej jest stawiać pewne wymagania co do stanu izolacji dla każdego bieguna z osobna. Gdy bowiem w ostatnim wypadku granicą obszaru dopuszczalnych (R) i niedopuszczalnych wartości izolacji będzie linja MNP (rys. 1a), to w wypadku takiego samego nastawienia kontaktu alarmowego w aparacie, mierzącym izolację wypadkową, granicą tych obszarów będzie hiperbola

$$R_2 = \frac{R R_1}{R_1 - R},$$

a w obszarze zakreskowanym przyrząd będzie wykazywał nadczułość, dochodzącą do 100%. Odwrotnie, gdy zwiększymy wymagania co do stanu izolacji, nie zmieniając nastawienia przyrządu, czułość jego będzie niedostateczna (obszar zakreskowany na rys. 1b). Niektóre przyrządy bywają zaopatrzone w przełączniki, włączające co pewien czas samoczynnie to jedną to drugą cewkę woltomierza. I przy tym jednak układzie, z przyczyn nieco bardziej skomplikowanych, idealna charakterystyka czułości według linii MNP nie da się osiągnąć.



Rys. 1.

Według Frölicha włączamy między biegunem a ziemią woltomierz o znanym oporze oraz bocznik o również znanym oporze. Znając napięcie sieci, możemy z odchyłu woltomierza bez bocznika i z bocznikiem obliczyć opór izolacji każdego bieguna. Sposób ten jest bardzo wygodny, wymaga jednak dwóch kolejnych odczytów i wskutek tego nie nadaje się do kontroli ciągłej. Przy dość dobrej izolacji najwygodniejsze jest użycie woltomierza o dużym oporze, ewentualnie woltomierza elektrostatycznego. Idea Frölicha rozwinięta została przez Sahuikę w zastosowaniu do prądu zmiennego i w szczególności do sieci trójfazowych. Według tej metody włącza się między przewodami sieci trójfazowej a ziemią znane opory, poczem dokonywa się pomiarów napięcia przewodów względem ziemi woltomierzem elektrostatycznym. Dla różnych oporów otrzymuje się szereg równań, z których można obliczyć opór izolacji sieci, całkowicie eliminując wpływ pojemności. Jest to prawdopodobnie jedyna dokładna metoda, posługująca się prądem zmiennym, zresztą dla celów praktycznych bez znaczenia. Metodami zaś Frischa i Frölicha posługiwać się można przy prądzie zmiennym ze względu na pojemność tylko wtedy, gdy chodzi o grube przybliżenie.

Przechodząc do sieci prądu zmiennego, a w szczególności trójfazowych, zauważymy, że stosowane tu metody i przyrządy nie tyle mają na celu ujęcie liczbowe stanu izolacji, ile samo tylko wykrycie grubszych błędów, lub zgoda zwarcie z ziemią. Stanem izolacji międzyprzewodowej nie zajmujemy się już zupełnie. Skal cechowanych w omach nie spotykamy; najwyżej będą one wskazywały „procent uziemienia” — pojęcie dość płynne, stworzone ad hoc dla ruchu; korzystamy przeważnie ze skal jak i ze wskaźników optycznych i t. p. dla porównania z pewnymi stanami normalnymi.

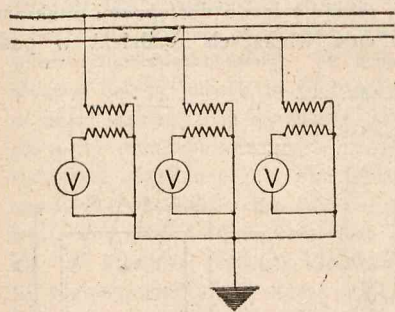
Pod względem sposobów wykrywania uszkodzeń izolacji czy zwarcie z ziemią *) musimy rozróżnić sieci trójfazowe z nieuziemionym i uziemionym punktem zerowym oraz sieci z przewodem zerowym i bez niego.

Przy nieuziemionym punkcie zerowym najprostszym sposobem wykrycia zwarcia z ziemią jest włączenie wskaźnika napięcia między punkt zerowy a ziemię. Wskaźnikiem takim może być nawet odpowiednio dobrana żarówka, najczęściej zaś woltomierz lub przekąźnik. Jeżeli punktu zerowego niema (transformator połączony w trójkąt), albo jest trudno dostępny (daleko położony), można stworzyć sztuczny punkt zerowy, łącząc w gwiazdę jednakowe opory, kondensatory lub dławiki. W tym wypadku prądy, płynące do takiego sztucznego punktu zerowego, muszą być znaczne w porównaniu z prądem, pobieranym przez wskaźnik. Przy normalnej pracy sieci wskaźnik stoi na zerze, w razie zwarcia z ziemią jednej fazy potencjał punktu zerowego różni się od potencjału ziemi i następuje odchył woltomierza. Częściej używa się układ z trzech woltomierzy, połączonych w gwiazdę, której punkt zerowy łączy się z ziemią. Normalnie wszystkie trzy woltomierze wskazują napięcie fazowe sieci, w razie zwarcia z ziemią odchyły jednego zbliżają się do zera, dwóch pozostałych — do napięcia międzyprzewodowego. Układ ten jest korzystniejszy od poprzedniego, ponieważ od razu wskazuje, w której fazie nastąpiło zwarcie z ziemią, pozatem jest on czulszy. Przy układzie jednouwoltomierzowym wskaźówka przyrządu, stojąca przez dłuższy czas na zerze, łatwo może się zatrzeć; przytem skala woltomierza jest w pobliżu zera zazwyczaj

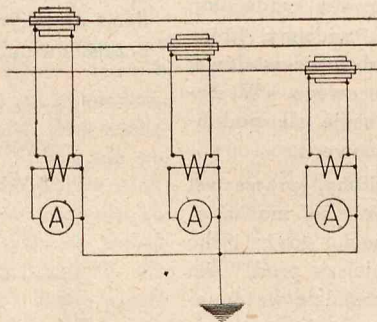
bowiem sposoby polegają na wykrywaniu przesunięcia się potencjału punktu zerowego względem ziemi, prądy zaś upływowe, o ile są we wszystkich fazach równe, utrzymują do pewnego stopnia potencjał ten w jego położeniu normalnym. Układy są więc czulsze w sieciach o małej pojemności. Dla tej samej przyczyny nie jest możliwe wycechować zgóry skale woltomierzy w omach na stan izolacji. Mogłoby to być zrobione tylko na podstawie doświadczeń w istniejącej sieci i byłoby ważne tylko dopóty, dopóki dane elektryczne sieci pozostałyby bez zmiany.

Do prądów, pomagających potencjałowi punktu zerowego utrzymywać się w jego położeniu normalnym, należą, oczywiście, także prądy, płynące przez same woltomierze. Nie jest więc rzeczą obojętną zużycie własne prądu przez układ mierniczy. Zasadniczo korzystniejsze są przyrządy o małym własnym zużyciu, jednak korzyść ta mniej się uwydatnia przy większej pojemności sieci, gdy prądy układu mierniczego są małe wobec prądów pojemnościowych. Dlatego przy sieciach o małej pojemności wskazane jest użycie woltomierzy elektrostacyjnych, gdy przy większej pojemności wybór systemu nie gra większej roli.

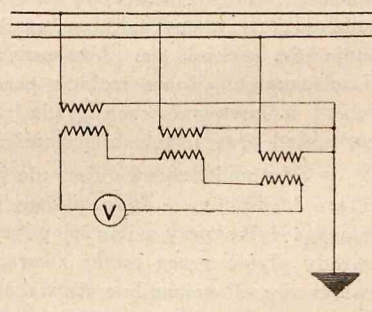
Na zasadzie trzech woltomierzy oparte są liczne układy, służące do wykrywania zwarcie z ziemią. Przy wyższych napięciach woltomierze przyłącza się nie wprost do sieci, lecz przez transformatoriki napięciowe. Normalny układ tego rodzaju przedstawiony jest na rys. 2. Przy bardzo wysokich napięciach osiąga się oszczędność na kosztach instalacji przez wyzyskanie do tego celu (składających się z kilku warstw) okładzin izolatorów przepustowych (rys. 3). Prąd pojemnościowy, płynący między okładzinami, a zależny od wysokości napięcia każdej fazy względem ziemi, przenosi się przez transformatoriki, podwyższające natężenie, na amperomierze o odpowiednim zakresie mierniczym. Kiedyindziej łączy się wtórne uzwojenia transformatorów napięciowych w szereg, przytem woltomierz wskazuje geometryczną sumę napięć wtórnych (rys. 4). Woltomierze układu rys. 2, zastępuje się niekiedy przez żarówki. Żarówki te, umieszczone we wspólnej oprawie za szkłem matowym, dają charakterystyczne efekty świetlne dla ruchu normalnego i dla różnego stopnia i rodzaju



Rys. 2.



Rys. 3.



Rys. 4.

ścieśniona, przez co mniejsze uszkodzenia izolacji mogą wywoływać zaledwie trudno dostrzegalne odchyły, wreszcie układ trójwoltomierzowy jest jednocześnie wskaźnikiem obecności napięcia w sieci. Czułość obu układów zależy w dużym stopniu od pojemności sieci, ściślej mówiąc — od natężenia wpływających prądów pojemnościowych, ewentualnie także od normalnego upływu poprzez izolację. Oba

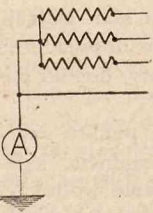
*) Dalsze rozważania będą dotyczyć zarówno uszkodzeń izolacji względem ziemi, jak i kompletnych zwarcie z ziemią; aby nie powtarzać za każdym razem obu tych określeń, będziemy używać tylko jednego wyrażenia „zwarcie z ziemią”.

zwarcie z ziemią *). Wszystkie te układy mogą być uzupełnione urządzeniami alarmującymi lub rejestrującymi.

Przy uziemionym punkcie zerowym transformatora w wielu przypadkach dostateczną wskazówką zwarcia z ziemią jest reagowanie przekąźników nadmiarowych lub nierównomierne obciążenie faz. Pewniejszym i czulszym sposobem jest umieszczenie wskaźnika między punktem zerowym, a ziemią. Wskaźnik ten, np. odpowiednio czuły amperomierz lub przekąźnik, reaguje na prąd, płynący od miejsca uszkodzenia izolacji przez ziemię do punktu zero-

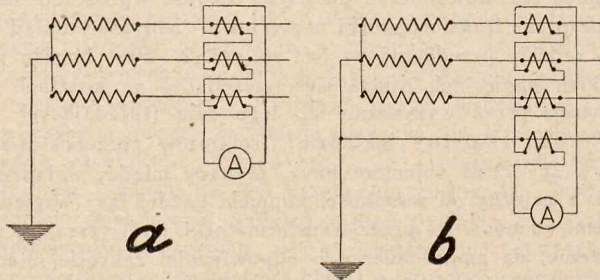
*) Ciekawe fotografie takich efektów świetlnych zamieścił „Electrical World” na str. 770 rocznika 1925.

wego. Sposób ten nadaje się również do sieci z przewodem zerowym, pod warunkiem wszakże, że przewód ten jest uziemiony tylko w jednym miejscu, przy transformatorze, na całej zaś pozostałej długości jest dobrze izolowany (rys. 5). Opisany przez p. B. Szapirę w Nr. 5 „Przeгляdu Elektrotechnicznego” z r. 1933 łącznik kontrolny należy do tej kategorii wskaźników.



Rys. 5.

Sposoby ujawnienia zwarcia z ziemią, oparte na przesunięciu potencjału punktu zerowego, mają tę wspólną wadę, że nie dają możliwości bezpośredniego wykrycia, w której części sieci względnie w której z linii odchodzących z punktu rozdzielczego, gdzie prowadzimy obserwacje, błąd się znajduje. Dla wykrycia uszkodzonej linii musimy kolejno wyłączać poszczególne linie dopóty, dopóki wskaźnik zwarcia nie powróci do swego położenia normalnego. Metody, usuwające tę niedogodność, oparte są na sumowaniu geometrycznym prądów, płynących w poszczególnych przewodach linii odchodzącej. Układy takie dla sieci o uziemionym punkcie zerowym z przewodem zerowym i bez niego przedstawia rys. 6a i 6b. W stanie normalnym suma geometryczna prądów w obu



Rys. 6.

układach równa jest zeru i przez wskaźnik żaden prąd nie płynie. Przy zwarcia z ziemią część prądu między miejscem uszkodzenia a punktem zerowym zamyka się przez ziemię, prądy w obwodzie wskaźnika już się wzajemnie nie znoszą i wskaźnik reaguje. Jeżeli na tablicy dla każdej linii odchodzącej mamy taki wskaźnik, od razu widzimy, która linia jest uszkodzona. I tu przy sieci czteroprzewodowej konieczna jest dobra izolacja przewodu zerowego. W sieciach trójprzewodowych prądu stałego stosuje się podobny układ przy użyciu amperomierza różnicowego.

Gdy punkt zerowy sieci nie jest uziemiony, sprawa jest nieco trudniejsza. Zadowalające rozwiązanie jej można osiągnąć tylko przy większej pojemności sieci, gdyż tylko wtedy płynie przez punkt zwarcia znaczniejszy prąd. Dla większej czułości buduje się wskaźnik na zasadzie watomierzowej, przyczem przez jedną jego cewkę płynie prąd odpowiadający upływowi przez miejsce zwarcia, w drugiej natomiast wykorzystuje się występujący jednocześnie wzrost potencjału punktu zerowego. Schemat zasadniczy takiego urządzenia przedstawia rys. 7; na rysunku tym opuszczone zostało dodatkowe połączenie służące do sztucznego odwrócenia o 90° fazy jednego z prądów obwodów mierniczych, co jest konieczne dla uzyskania momentu obrotowego watomierza.

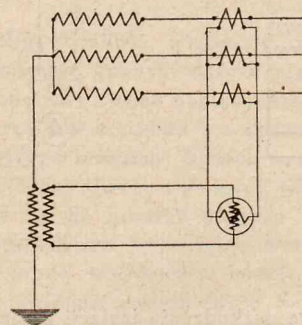
Zamiast trzech sumujących transformatorów prądowych, jak na rys. 6 i 7, może być użyty przyrząd, jak na rys. 8. Jako pierwotne uzwojenie służą wprost żyły kabla, otoczone obwodem magnetycznym w postaci rdzenia żelaznego, na którym mieści się uzwojenie wtórne. Z chwilą, gdy suma geometryczna prądów w żyłach kabła staje się

różną od zera, w żelazie występuje strumień magnetyczny i przez amperomierz płynie prąd. Układ ten jest jednak mniej czuły od poprzednich, ponieważ znaczna część i tak już małego (wskutek obecności tylko jednego zwoju) strumienia magnetycznego zamyka się przez pancierz kabla.

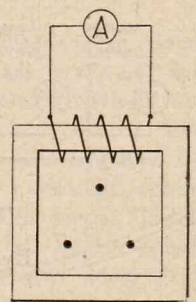
Każdemu praktykowi znane jest zjawisko brzęczenia w słuchawkach telefonów, występujące przy zwarciach z ziemią w urządzeniach prądu silnego. W większości wypadków przyczyną tego zjawiska jest również niecałkowite skompensowanie pola magnetycznego linii trójfazowej. Zaobserwowano niejednokrotnie, że telefony reagują już na takie błędy izolacji, których w układzie trójwoltomierzowym zupełnie jeszcze zauważyć nie można. Sieć telefoniczna może więc być nieraz cenną pomocą przy wykrywaniu błędów izolacji. Użyteczne być mogą i specjalne aparaty podsłuchowe, zwłaszcza ze wzmacnianiem lampowym, choć właściwym ich przeznaczeniem jest zwykle wyszukiwanie samego miejsca uszkodzenia.

Dla uzupełnienia powyższego przeglądu wspomnimy jeszcze o elektroskopach kieszonkowych, opartych na zjawisku Johnsona-Rahbecka. Są to aparaciki, używane przy napięciu do 700V do rozpoznania części urządzeń, będących pod napięciem. Nadają się one z powodu znikomego zużycia prądu również do wykrywania błędów izolacji zwłaszcza w takich wypadkach, kiedy niema uziemienia ochronnego lub jest ono niedostateczne. Np. przy dołączeniu takiego przyrządu do nieuziemionego kadłuba silnika o złej izolacji zauważymy odchył wskaźnika. Przyrządy te zasługiwałyby na jaknajszersze rozpowszechnienie, niestety jednak są one dość wrażliwe na wstrząsy i łatwo się psują.

Powyżej opisane metody i przyrządy do kontroli stanu izolacji służą do bezpośrednich obserwacji zjawisk, zachodzących w tej dziedzinie. Pomocą w tej mierze, dla stwierdzenia zarówno obecności błędu izolacji, jak i następującego potem zazwyczaj drugiego stadium roboty, a mianowicie wyszukiwania miejsca błędu, jest właściwe zaprojektowanie i utrzymanie sieci. Uwzględnić tu należy takie okoliczności, jak: wydzielenie dostatecznej liczby linii odchodzących z punktów rozdzielczych, zaopatrzenie tych linii, jak i odbiorników w odpowiednio dobrane organy przetężeniowe, podział dłuższych linii na sekcje z łatwo dostępnymi punktami przejściowymi, zaopatrzenie większych rozdzielni w pod-



Rys. 7.



Rys. 8.

wójne systemy szyn zbiorczych, prowadzenie w razie potrzeby linii rezerwowych i okrężnych i t. p. Ważne jest również posiadanie i utrzymywanie w aktualnym stanie planu sieci z zaznaczeniem na nim długości, przekroju i materiału przewodów. Zaniedbanie lub zły stan uziemień ochronnych prowadzi, jak to już zaznaczyliśmy, do optymistycznej oceny stanu izolacji. Podobnie rzecz się ma z łączniami, w punktach połączeń kabli, płaszczów, panczerzy i muł kablowych między sobą.

„Przepisy budowy i ruchu“ nakazują prowadzenie w urządzeniach o mocy powyżej 20 kW specjalnych ksiąg kontroli. Do najważniejszych zapisek w tych księgach należą niewątpliwie wyniki kontroli stanu izolacji. Zapiski takie, regularnie prowadzone, oddają znaczne usługi, kierując

uwagę osób dozorujących na słabsze pod względem izolacji części urządzenia. Należy tylko dbać o dostateczne zróżniczkowanie badanych obiektów i unikać łączenia w jedną grupę przy pomiarze przewodów z odbiornikami, transformatorami i t. p.

STATYSTYKA PORAŻEŃ ELEKTRYCZNYCH W POLSCE W ROKU 1933 I ICH ANALIZA NA TLE NASZYCH PRZEPISÓW BEZPIECZEŃSTWA.

Inż. Zdzisław Rychlik.

Streszczenie. Na wstępie autor omawia sposoby zbierania wypadków porażenia prądem elektrycznym w Polsce w roku 1933. Następnie omawia korzyści, płynące ze statystyki wypadków. W części II podaje zestawienia statystyczne zebranych wypadków i porównywa je z danymi szwajcarskimi. W części III podane są szczegółowe opisy niektórych lepiej znanych lub bardziej charakterystycznych wypadków, uporządkowanych według zawodu osób porażonych. Przy każdym opisie autor zajmuje stanowisko co do najprawdopodobniejszej przyczyny wypadku i analizuje go z punktu widzenia zachowania lub niezachowania przepisów S. E. P. W niektórych razach wyciąga wnioski co do poprawek, jakie możnaby wprowadzić do tych przepisów. W części IV omówiona jest szkodliwość prądu elektrycznego dla organizmu ludzkiego.

I. Wstęp.

Prowadzenie statystyki wypadków elektrycznych nie jest zadaniem wdzięcznym i dlatego niechętnie bywa zazwyczaj podejmowane. Szczególnie zakłady i instytucje, w interesie których leży rozwój elektryfikacji, są nieraz zdania, że ujawnianie wypadków porażenia elektrycznych szkodzi ich celom. Nie potrzeba udowadniać, że stanowisko takie jest krótkowzroczne. Każdy, kto ma styczność z elektrycznością wie, że z prądem elektrycznym związane jest pewne niebezpieczeństwo. W dzisiejszym stanie techniki uważać należy jednak to niebezpieczeństwo za opanowane w dużej mierze, a ta niewielka liczba porażenia, jaka zachodzi przy urządzeniach elektrycznych, z pewnością nie powstrzyma rozwoju elektryfikacji, jak w swoim czasie większa liczba wypadków nie zdołała powstrzymać rozwoju kolejnictwa, samochodów, lotnictwa i innych działów techniki. W interesie rozwoju elektryfikacji leży wszakże, aby to niebezpieczeństwo starać się zmniejszyć jaknajwięcej. Ten cel ma właśnie na oku Stowarzyszenie Elektryków Polskich, podejmując się zbierania danych statystycznych o porażeniach elektrycznych. Zebrany materiał będzie następnie wykorzystany przy układaniu i nowelizacji przepisów.

Statystyka porażenia elektrycznych była podejmowana przez S. E. P. już kilkakrotnie, ale dotąd niestety chybiała celu, gdyż zebrane za pewien okres czasu dane bywały tylko fragmentaryczne, albo obejmowały tak znikomą liczbę wypadków, że nie można ich było nazwać statystyką. Dopiero szczęśliwy pomysł wyzyskania informacji prasowej do zbierania wiadomości o wypadkach elektrycznych pchnął sprawę statystyki porażenia elektrycznych na tory właściwe. Za rok 1933 otrzymano za pomocą informacji prasowej zgóra 100 doniesień o wypadkach, do których dołączono jedno

przesłane przez Inspekcję Pracy, oraz kilka zebranych osobiście. Zebrane doniesienia dotyczyły razem 63 wypadków, z których jednak 6 musiano odrzucić, gdyż albo wydarzyły się poza Rzeczpospolitą Polską, albo nie w roku 1933, albo nie dotyczyły osób, albo wreszcie nie były wogóle natury elektrycznej. (Jeden z tych wypadków dotyczył konia; opis podano na końcu). Pozostaje zatem do rozpatrzenia 57 wypadków porażenia elektrycznych.

Celem zebrania bliższych szczegółów o tych znanych już wypadkach zasięgnięto informacji u tego źródła, o którym można było sądzić, że rozporządza fachowymi siłami do zbadania i właściwej oceny towarzyszących wypadkowi okoliczności. Niestety należy zgóry powiedzieć, że nie znaleziono jeszcze właściwej drogi do należytego ujęcia tej sprawy. W 20% nie otrzymano mimo przypomnień odpowiedzi wogóle. Z pośród pozostałych przeszło połowa zwróconych kwestionariuszy zawiera dane, które są przeważnie potwierdzeniem notatki dziennikarskiej, ujętej tylko nieco krócej i bardziej fachowo.

Tem większe zatem wyrazić należy podziękowanie tym wszystkim, którzy zadali sobie trud należytego zbadania wypadku i fachowej jego oceny. Szczególne podziękowanie należy się jednakże niektórym osobom, które oprócz szczegółowego opisu wypadku przesłali pod adresem S. E. P. wnioski, dotyczące zmiany lub ulepszenia przepisów. Wnioski te przekazano odnośnym Komisjom przepisowym, gdzie będą wzięte pod rozwagę w stosownym czasie. Zasługują także na wzmiankę niektóre, zresztą nieliczne, przypadki, w których kierownicy, zwłaszcza mniejszych elektrowni, zwracają się do S. E. P. z prośbą o poradę fachową na tle wypadku. Nie trzeba chyba nikogo zapewniać ani co do dyskrecji, ani co do tego, że S. E. P. nie odmówi w razie możliwości swej porady.

Jako zaszczycony z ramienia Komisji Bezpieczeństwa S. E. P. obowiązkiem referenta statystyki wypadków elektrycznych pragnę przy tej sposobności zwrócić się do wszystkich, zwłaszcza zaś do tych, którzy są szlonymi zarządów oddziałów S. E. P., z prośbą o popieranie akcji S. E. P. w zbieraniu informacji o porażeniach elektrycznych. Jestem zdania, że każdy wypadek porażenia elektrycznego powinien być zbadany u źródła przez fachowca - elektryka. Rozumiem bowiem, że w ten sposób osiągnąć można korzyść wielokrotną. Przedewszystkiem, o ile fachowiec może interwenjować natychmiast po wypadku, może on przez należyte udzielenie pierwszej pomocy jeszcze przed przybyciem lekarza przyczynić się do zmniejszenia skutków porażenia, a nawet do przywrócenia do życia pozornie zmarłego. Jak mało zaś znane są zasady ratowania porażonych prądem elektrycznym, dowiedzieć się można, studiując przebiegi wypadków

ze sprawozdań dziennikarskich; w dalszym ciągu referatu zajmę się jeszcze tą sprawą więcej szczegółowo.

Następnie elektryk niewątpliwie ograniczy ewentualne szkodliwe skutki wypadku dla samych urządzeń i postara się usunąć te odstępstwa od przepisów, które były przyczyną wypadku. Może nawet stwierdzi pewną niedoskonałość przepisów i właśnie nieszczęśliwy wypadek nasunie mu nowe myśli, nowe konstrukcje lub celowe zarządzenia. Szczególnie wdzięczne pole do działania istnieje tutaj dla osób, pracujących w elektrowniach. Elektrownie bowiem poza swymi własnymi zakładami wykonywują także z natury rzeczy pewnego rodzaju nadzór nad urządzeniami elektrycznymi swych odbiorców i mają wgląd do tych urządzeń zwłaszcza z okazji wypadku. Toteż nic dziwnego, że przeważna część szczegółowych opisów wypadków wpłynęła właśnie od elektrowni. To obywatelskie stanowisko elektrowni, które rozumieją, że doświadczeń, płynących z każdego wypadku, nie należy ukrywać pod korcem, ale przeciwnie, należy je analizować i podawać do wiadomości ogółu elektryków polskich, aby również i inni odnosili z nich korzyść, pragnę na tem miejscu podkreślić tem więcej, że z zasady wszystkie statystyki, a także opisy poszczególnych wypadków ogłaszane są anonimowo, a więc nie sposób wymienić żadnego zakładu lub osoby, która zajmowała się opracowaniem poszczególnego wypadku. Z tej analizy wypadków, wniosków stąd płynących, a wreszcie uchwał, zbieranych w ogólnej skarbnicy, zwanej przepisami, płyną dalsze korzyści, które oczywiście zapisać należy już głównie na konto S. E. P.

Jeżeli wypadek może być badany dopiero po pewnym czasie, to tylko fachowiec może wyluskać ziarno prawdy na podstawie oględzin miejsca wypadku oraz na podstawie sprawdzenia zwykle bardzo napuszonych notatek prasowych. Uważam zatem, że jest obowiązkiem każdego, a szczególnie członków S. E. P., nie dozwolić, aby nauka, płynąca z każdego wypadku, zwłaszcza śmiertelnego, przepadła i nie była wyzyskana dla dobra ogółu *).

II. Statystyka za rok 1933.

Wypadków objętych statystyką było 66, w tem śmiert. 32 w tem porażonych było mężczyzn . . . 57, „ „ 29 kobiet 9, „ „ 3

Według podziału terytorjalnego Rzeczypospolitej wypadki te wydarzyły się, jak następuje.

	Liczba wypadków	Liczba porażonych osób	
		wogóle	śmiertelnie
W mieście stoł. Warszawie	2	2	—
W woj. warszawskiem . .	6	6	3
„ pomorskiem . . .	10	10	7
„ poznańskiem . . .	5	6	3
„ łódzkim	3	3	2
„ kieleckiem	3	4	1
„ śląskiem	12	16	7
„ krakowskiem . . .	3	3	2
„ lwowskiem	5	5	3
„ stanisławowskiem .	1	1	1
„ tarnopolskiem . .	2	3	2
„ poleskiem	1	1	—
„ wileńskiem	3	4	1
„ białostockiem . .	1	2	—
Razem	57	66	32

*) Poza akcją prasową, która rozpoczęta została dopiero w r. 1933, zdołano uzyskać również pewne dane statystyczne, odnoszące się do porażań elektrycznych w Polsce w zakładach przemysłowych w latach 1931—1932. Dane te, uzyskane z Zakładów Ubezpieczeń Społecznych, będą przedmiotem osobnego artykułu.

Jak widać, nieliczne tylko województwa wolne były od wypadków i to oczywiście województwa najslabiej zelektryfikowane, chociaż nie można być zupełnie pewnym, że i tam wypadków wogóle nie było, a brak wiadomości może być wywołany tylko skutkiem wadliwego i niedokładnego zbierania wypadków przez agencje prasowe; oczywiste jest, że w tych województwach, których dzienniki są przez agencje pilniej przeglądane, stosunek zebranych wypadków do rzeczywiście zaszłych będzie większy. Że liczba wypadków zależy także od stopnia zelektryfikowania danego województwa, jest również oczywiste, jako przykład tego mogą służyć województwa śląskie i pomorskie, w których stan samych urządzeń nie pozostaje z pewnością w tyle za innymi województwami. W odniesieniu do województwa śląskiego zauważyć należy, że liczba wypadków, zebranych poza agencją prasową, wynosi 4 i dotyczy 4 osób, z których porażonych śmiertelnie było 3. Wynikałoby z tego, że gdyby to miały być wszystkie wypadki porażań elektrycznych zaszłe w r. 1933, to całkowitą liczbę porażań elektrycznych należałoby ocenić na ok. 50% wyższą od liczby podanej przez agencje prasowe. Przypuszczam jednakże, że procent ten jest jeszcze wyższy.

Pod względem skutków, jakie pociągnęły za sobą wypadki porażań elektrycznych, można je podzielić na śmiertelne oraz ciężkie i lekkie. Jako lekkie określam takie, które spowodowały jedynie lekkie, przemijające poparzenie, a czasem nawet tylko przestraszyć lub omdlenie i które nie pozostawiły skutków trwałych. Wypadki te nie zawsze można dobrze odróżnić, zwłaszcza na podstawie notatek dziennikarskich, które są zwykle przejawiskrawione. Z pośród 66 osób odniosło:

	p o r a ż e n i a		
	lekkie	ciężkie	śmierteln.
przy wysokim napięciu	22 os.	12 os.	32 os.
„ niskim „	8 „	6 „	8 „
„ napięciu nieznanem	14 „	4 „	22 „
	—	2 „	2 „

Uderza wielka liczba wypadków śmiertelnych przy niskim napięciu oraz ciężkich przy wysokim napięciu. Ostatnie polegają przeważnie na ciężkim poparzeniu kończyn, niejednokrotnie zakończonym amputacją, jak o tem będzie mowa poniżej. O ile wziąć pod uwagę tylko liczbę wypadków, a nie poszkodowanych osób, to przypada:

na wysokie napięcie prądu trójfazowego	17 wypadków	8	w tem śmiertelnych
„ „ „ „ stałego	2 „	—	
napięcie 380/220 V prądu trójfazowego	14 „	9	
„ 220 V „ „ „	17 „	12	
„ 220/127 V „ „ „	2 „	—	
„ 250 V „ stałego	1 „	1	
„ nieznanne	4 „	2	
Razem	57 wypadków	32	

Co do napięcia 220 V, to nie zawsze można było na podstawie posiadanego materiału stwierdzić dokładnie, czy wchodzi w rachubę prąd trójfazowy 380/220 V, czy 220/127 V, czy też 220 V w innym połączeniu lub też prąd zmienny 220 V. Te przypadki, w których to nie podlegało wątpliwości, obliczono oddzielnie dla 380/220 V lub też 220/127 V. Punkt zerowy zaznaczono w przeważającej liczbie przypadków jako uziemiony, oporu uziemienia nie podano jednak ani razu. Prąd stały zanotowano tylko 3 razy, z tego dwa razy przy kolejkach.

Przy wysokim napięciu przeważają wypadki przy przewodach napowietrznych lub urządzeniach rozdzielczych; przy niskim napięciu również przy przewodach napowietrznych i lampach; szczegółowy podział podaje następująca tabelka:

	Liczba wypadków	Liczba osób porażonych	
		wogóle	śmiertelnie
Przy przewodach izolowanych w budynkach . . .	4	6	2
Przy przewodach napowietrznych niskiego napięcia . . .	14	15	11
Przy przewodach napowietrznych wysokiego napięcia . . .	7	9	4
Przy przewodach gołych wewnątrz budynków . . .	1	1	—
Przy drutach roboczych kolejek	1	1	1
Przy kablach (podziemnych i gumowych)	3	4	2
Przy licznikach elektryczn.	1	1	—
Przy urządzeniach rozdzielczych (szynach zbiorczych i t. p.)	4	4	—
Przy wyłącznikach	4	5	3
„ odłącznikach	2	2	—
„ silnikach	4	5	3
„ lampach ręcznych	2	2	2
„ innych lampach	5	6	2
Blżej niewyjaśnionych	5	5	2
Razem	57	66	32

W następujących 2 tabelkach zestawiono osoby porażone z podaniem ich wieku oraz zawodu:

Liczba osób porażonych		wiek								Ogółem
		do 10 lat	od 11 do 20	od 21 do 30	od 31 do 40	od 41 do 50	ponad 50	wiek nieznan		
ogółem	mężczyzn	3	10	7	16	8	1	12	57	
	kobiet	1	1	2	—	2	—	3	9	
	razem	4	11	9	16	10	10	15	66	
śmiertelnie	mężczyzn	4	3	5	6	3	1	7	29	
	kobiet	—	2	—	—	1	—	—	3	
	razem	4	5	5	6	4	1	7	32	

Liczba osób porażonych	fachowców								razem	
	inż. elektryków	elektromonterów	pom. elektryków, ferów, praktyk., maszyn. ślusarzy	robotników	rzemieślników	pracown. umysł.	inne zawody	nieznane		dzieci
ogółem	2	11	6	18	3	3	11	5	7	66
śmiertelnie	—	2	4	12	3	—	4	2	5	32

Pod względem miejsca wypadku można wypadki podzielić, jak następuje:

Miejsce wypadku	Liczba wypadków	Liczba osób porażonych	
		wogóle	śmiertelnie
Elektrownie, podstacje i t. p.	10	11	3
Fabryki lub warsztaty	8	8	6
Kopalnie na powierzchni	3	4	1
„ pod ziemią	1	1	1
Ulice i place	8	8	6
Pola orne	3	5	1
Lasy lub ogrody	4	5	3
Podwórza	4	4	3
Mieszkania (biura)	3	4	—
Piwnice	5	6	3
Łaźnie	1	2	—
Dachy budynków	2	2	2
Budowy	1	1	1
Stodoły lub obory	2	3	2
Blżej niewyjaśnione	2	2	—

Najważniejszym z punktu widzenia przepisów jest jednak podział wypadków według przyczyn. Niestety, zupełnie ściśle i jednoznaczne ustalenie przyczyny wypadku jest bardzo rzadko możliwe. Kto miał kiedykolwiek do czynienia z wypadkami, a szczególnie wypadkami elektrycznymi, wie dobrze, że na każdy wypadek składa się kilka przyczyn; bardzo często wypadek powstaje właśnie wskutek niepomysłnego zbiegu naraz kilku różnych okoliczności. Bardzo często mała nieostrożność poszkodowanego jest w danych warunkach przyczyną wypadku, podczas gdy takie samo zachowanie się go w innych warunkach nie spowodowałoby wypadku. Dlatego też określenie bezwzględnej przyczyny wypadku pozostaje rzeczą dosyć subiektywną. W następującym zestawieniu starałem się zawsze wziąć za kryterjum najważniejszą, moim zdaniem, przyczynę wypadku, przy czym rozróżniałem nieostrożność, lekkomyślność i nieuwagę, jakkolwiek różnice, jakie zachodzą między nimi, są dość drobne.

Przyczyną wypadku była

nieostrożność poszkodowanego w 10 wypadkach (4 śmiertelne)		
nieuwaga lub omyłka	5	(4 „)
lekkomyślność	6	(1 „)
nieszczęśliwy zbieg okoliczn.	2	(1 „)
przypadek	6	(— „)
niedbalstwo obcych	4	(3 „)
zamach samobójczy	2	(1 „)
wadliwa instalacja	14	(10 „)
nieznana lub niewyjaśniona	8	(8 „)

Razem 57 wypadków (32 śmiertelne)

Wreszcie zestawiono wszystkie wypadki porażenia prądem elektrycznym z zaznaczeniem, kiedy nie były zachowane przepisy S. E. P., przy czym brano pod uwagę głównie przepisy budowy i ruchu. Stwierdzono zatem na podstawie szczegółowych opisów, że

- nie były zachowane przepisy budowy SEP w 16 wypadkach (11 śmiertelnych),
- nie były zachowane przepisy ruchu SEP w 17 wypadkach (5 śmiertelnych),
- niewiadomo w 13 wypadkach (11 śmiertelnych),
- zamach samobójczy w 2 wypadkach (1 śmiertelny),
- przepisy SEP były zachowane w 9 wypadkach (4 śmiertelne).

Chciałbym przytem zauważyć, że przy każdym wypadku roztrząsałem skrupulatnie, czy przepisy S. E. P. były zachowane, czy też nie, i zdanie moje było niejednokrotnie inne, aniżeli to podano w kwestjonariuszu, zwłaszcza jeśli piszący nie poparł w kwestjonariuszu swej opinii żadnym

argumentem, a z opisu przebiegu wypadku nasuwały się inne wnioski. W wypadkach wątpliwych zaliczałem wypadek raczej do niewyjaśnionych.

Na tle ostatniego zestawienia widać, że w przeważającej większości wypadków (33 na 44) przepisy S. E. P. nie były zachowane, przyczem nieprzestrzeganie przepisów budowy i przepisów ruchu spowodowało w przybliżeniu tę samą liczbę wypadków. Jeśli wziąć pod uwagę tylko wypadki śmiertelne, to przeważają wypadki, spowodowane nieprzestrzeganie przepisów budowy (11 na 21). Mojem zdaniem jednak należy brać pod uwagę wszystkie wypadki, a nie tylko śmiertelne, gdyż każdy z wypadków tak lekkich, jak i ciężkich mógł stać się śmiertelnym, a że się nim nie stał, zależało najczęściej od okoliczności zupełnie przypadkowych i nie stojących w związku z przepisami, jak np. odporność fizjologiczna porażonego i t. p. Do kwestji tej powrócę w rozdziale ostatnim. Tutaj zaś chcę zwrócić uwagę na fakt, że zachodzi stosunkowo znaczna liczba wypadków (ok. 75%) z powodu niezachowania przepisów S. E. P., a przy wypadkach śmiertelnych aż ponad 50% spowodowanych jest nieprzestrzeganie przepisów budowy. Uprawnia to do apelu o popieranie przepisów budowy i ruchu S. E. P. celem wprowadzenia ich także tam, gdzie dotychczas nie zostały wprowadzone lub gdzie nie są dostatecznie przestrzegane, gdyż przez należyte ich przestrzeganie będzie można liczbę wypadków porażenia elektrycznego bardzo znacznie zmniejszyć.

O ile, pomimo zachowania przepisów S. E. P., zachodzą wypadki porażenia, to jest to dowodem albo ich niedoskonałości, albo też niedoskonałości stosowanych materiałów, albo też siły wyższej. Z dwiema pierwszymi przyczynami musimy walczyć przez doskonalenie siebie i doskonalenie naszego przemysłu; zdaje mi się, że na tem polu jest także jeszcze wiele do zrobienia.

Dla porównania pozwolę sobie przytoczyć liczby, odnoszące się do porażenia elektrycznych według statystyk państw obcych. I tak np. w Szwajcarii, gdzie te statystyki prowadzone są najwięcej wyczerpująco przez t. zw. Inspekcję prądu silnego, liczba wypadków śmiertelnych od szeregu lat nie zmienia się zbyt silnie i to mimo rozwoju elektryfikacji i wzrostu sieci elektrycznych. Świadczy to o coraz lepszym stanie samych urządzeń. Liczba wypadków śmiertelnych wynosi w ostatnich 12 latach ok. 28 rocznie. Ogólna liczba wypadków jest natomiast coraz większa, co należy tłumaczyć coraz lepiej działającym meldunkom. Liczba porażenia (bez śmiertelnych) doszła w r. 1928 do 73.

Liczb tych nie można oczywiście porównywać bezpośrednio z naszymi przedewszystkiem dlatego, że co do uchwycenia u nas wszystkich wypadków trzeba mieć jeszcze poważne wątpliwości, a powtórze dlatego, że stopień zelektryfikowania obu krajów jest różny. Szwajcaria ma przy 41 tys. km² i ok. 4 milj. mieszkańców okrągle 1 milion kW zainstalowanych, Polska zaś przy 388 tys. km² i ok. 32 milj. mieszk. okrągle 1,5 milj. kW zainstalowanych.

Szczegółowe zestawienie wypadków z uwzględnieniem zawodu osób porażonych podaje tabela obok.

Jak widać, liczby te są u nas mniejsze dla kategorii monterów, a nawet i robotników, natomiast większe dla dzieci oraz innych osób, jak rzemieślników, urzędników i osób o nieznanym zawodzie.

III. Opisy wypadków i ich analiza.

Z materiału rozporządzalnego nie wszystkie wypadki wykorzystano do szczegółowego opisu i zanalizowania na tle polskich przepisów bezpieczeństwa. Mianowicie, gdy podobnych wypadków było kilka, opisywano szczegółowo i

Osoby	Dla Szwajcarii (za lata 1925–1928)				Dla Polski za 1933 r.		
	porażień		razem	za 1 rok	porażień		Ogółem
	nie- śmier- tel.	śmier- tel.			nie- śmier- tel.	śmier- tel.	
Inżynierowie i technicy . . .	5	5	10	2,5	2	—	2
Maszyniści i dozorczy	42	12	54	13,5	2	2	4
Monterzy i pomocnicy oraz instal.	72	20	92	2,3	8	5	13
Inni robotnicy w elektrowniach	15	6	21	10,2	2	—	2
Robotnicy fabryczni	48	18	66	14,5	3	6	9
Robotnicy budowlani	20	13	33	8,2	—	1	1
Rolnicy i ogrodnicy	2	9	11	2,7	2	5	7
Strażacy	3	5	8	2	3	—	3
Służba domowa	4	7	11	2,7	1	1	2
Dzieci	5	4	9	2,2	2	5	7
Inne osoby	9	2	11	2,7	9	7	16
Razem	225	101	326		34	32	66

analizowano tylko jeden z nich, niektóre zaś nie nadawały się do opisu ze względu na szczupłość danych lub brak ważnych okoliczności. Dla łatwiejszej orientacji uporządkowano opisane wypadki według osób, których dotyczyły, z wyjątkiem wypadków przy przewodach napowietrznych i przy lampach ręcznych, które ujęto w osobne grupy, jako szczególnie liczne i typowe.

A. WYPADKI INŻYNIERÓW ELEKTRYKÓW.

1. Porażenie na radjostacji.

W czasie pracy radjostacji kierownik jej objaśniał monterom prace, które miały być wykonane, dotknął przytem przez nieostrożność gołego przewodu, będącego pod napięciem 8 500 V prądu stałego, trzymając drugą rękę na uziemionej barjerze. Wskutek skurczu ręki zaciśnięty został silnie przewód w ręce, przyczem przepłynął przez ciało porażonego prąd ok. 300 do 400 mA, co zarejestrował automat. Automat wskutek przeciążenia wyłączył prąd po 3 sekundach, poczem porażony przyszedł zaraz do siebie i mógł pracować dalej. Przewód był pod napięciem 8 500 V prądu stałego, a składowa zmienna modulacji wynosiła ok. 5 000 V maksymalnie.

Przyczyną wypadku była nieostrożność porażonego.

2. Ciężkie poparzenie prądem trójfazowym 3 000 V.

Inżynier elektrowni, będąc w mieście, zauważył duże wahania napięcia w sieci. Pośpieszył więc do elektrowni, gdzie stwierdził, że jest to wywołane zwarcie w sieci napowietrznej wysokiego napięcia. Równowaga na sieci wysokiego napięcia została wkrótce przywrócona, poczem inżynier wydał maszyniście dyspozycję do zbadania przyczyny braku prądu w aparatach wtórnych. Po chwili poszedł również sam do rozdzielni i zauważył, że maszynista zbliża się z lampą probierczą do przewodów wysokiego napięcia. Prerażony tem inżynier ostrzegł maszynistę i odciągnął go, poczem zabrał mu lampę, aby zbadać osobiście stan bezpieczników niskiego napięcia. Trzymając lampę w lewej ręce, potknął się o kabel, skutkiem czego przewody od lampy spowodowały na szynach 3 000 V zwarcie, które objęło

wszystkie trzy fazy. Łuk elektryczny poparzył ciężko całą jego lewą rękę i wierzchnią część prawej ręki, którą zasłonił sobie oczy.

Przyczyną wypadku był zbieg różnych okoliczności, jak np. zbyt długie przewody przy lampie, niewłaściwie ułożony kabel, a zwłaszcza łatwa do zrozumienia w opisanych okolicznościach nerwowość. Z opisanego wyżej wypadku płynnie kilka cennych wskazówek dla przepisów bezpieczeństwa. Przedewszystkiem co do układania kabli w rozdzielniach wysokiego napięcia. Wprawdzie zwykle kable układane są (ze względu na możliwość uszkodzenia samych kabli) w specjalnie do tego celu przewidzianych kanałach kablowych, przepis ten nie jest jednak w przepisach PNE-10 dostatecznie jasno zredagowany. Należałoby moim zdaniem wyraźnie zaznaczyć w rozdziale III w § 15, iż przejścia przed i za szrankami rozdzielczymi muszą być swobodne i nie mogą być zastawione żadnymi przedmiotami, tamującymi komunikację.

Brak również wzmianki, która tam moim zdaniem winna się znajdować, o manipulowaniu w rozdzielniach długimi przedmiotami lub narzędziami, zwłaszcza w pobliżu niedostatecznie chronionych urządzeń rozdzielczych wysokiego napięcia. Wzmianka taka powinna się znajdować w przepisach PNE-10 w § 54 lub 55.

B. WYPADKI FACHOWCÓW ELEKTRYKÓW.

1. Zranienie i poparzenie prądem trójfazowym 60 kV.

Wbrew wyraźnej instrukcji monter K. „ułatwił” sobie robotę przy szynach zbiorczych 60 kV w ten sposób, że zamiast wchodzić w każdym polu po drabinie, chodził w górę po desce, ułożonej na przewodach. System przewodów, przy którym pracował, był wyłączony, zwarty i uziemiony, drugi system jednakże znajdował się pod napięciem. Podczas przechodzenia K. przybliżył się prawdopodobnie zbyt blisko do jednego z odłączników i wskutek tego powstał łuk zwarcia, który monterowi poparzył lewą dłoń, lewą stopę, podudzie i kolano, pozatem K. stracił przytomność i zleciał na murek, a następnie na ziemię, przyczem złamał nogę w udzie. Zastosowano natychmiast sztuczne oddychanie, poczem K. przyszedł do siebie.

Przyczyną wypadku jest nieprzestrzeżenie instrukcji przez montera, a zatem własna nieostrożność. Przepisy S. E. P. były w pełni zachowane, gdyż było obecnych przy tej pracy 2 monterów; obaj jednak umówili się, że będą przechodzili górą.

2. Lekkie poparzenie przy 15 000 V.

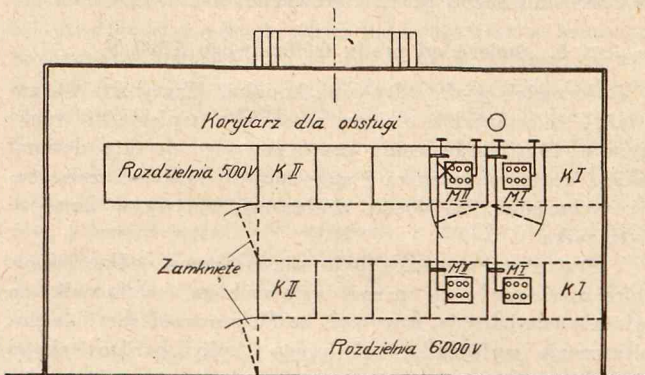
Starszy monter W. chciał nastawić przekaźniki wyłącznika olejowego, ale zapomniał wyłączyć odłączniki; wskutek tego doznał lekkiego poparzenia 2 palców lewej ręki i małego palca lewej nogi. Należy zauważyć, że: 1) zetknięcie palców z przekaźnikiem w chwili porażenia nie było zupełne, 2) część przekaźnika (cewka), której chciał dotknąć, była izolowana, 3) w chwili porażenia został odrzucony w bezpieczne miejsce. Kierownictwo elektrowni jest zdania, że tym właśnie okolicznościom zawdzięcza W. ocalenie. Przypuszczam, że tylko ostatnia okoliczność jest istotna, gdyż dzięki niej czas przepływu prądu był krótki, a oparzenie nieznaczne.

Przyczyną wypadku było niewyjęcie noży odłączników (PNE-10 § 56).

3. Śmierć i poparzenie prądem trójfazowym 3 000 V.

Elektromonter M. zatrudniony był wraz z pomocnikiem K. w podstacji doprowadzaniem do porządku napędu wyłącznika olejowego. Napęd ten składał się, z powodu pewnej odległości samego wyłącznika od miejsca przeznaczone-

go do obsługi, z kółka ręcznego, kółek zębatach, połączonych łańcuszkiem, z osi pośredniej, z którą był znowu połączony zamek wyłącznika za pomocą kółek zębatach i łańcuszka (por. rys. 1). Umocowanie tych części było już nieco obluźnione.



Rys. 1.

MI, MII — pola rozdzielcze, ... — ściany z siatki,
KI, KII — kable zasilające, O — miejsce, w którym stał M.
— ściany pełne, X — miejsce wypadku.

Przed przystąpieniem do pracy M. wyłączył wszystkie odpowiednie odłączniki i przekonał się, że niema napięcia ani w łączniku, ani wogóle w żadnej z komórek, w których mieli pracować. Kiedy napęd został już naprawiony, M. kazał nieco naoliwić łańcuszki, sam zaś stanął w korytarzu, oddzielonym pełną blachą, i kręcił kółkiem ręcznym w obie strony. Tymczasem K., nabrawszy oleju do pakuł, trafił przez pomyłkę zamiast do właściwej komórki rozdzielczej do sąsiedniej, w której wyłącznik znajdował się pod napięciem. Tam spowodował zwarcie, a łuk był tak silny, że poparzył K. bardzo ciężko na całym ciele, a nawet wygiął blachę i poparzył M. twarz i rękę. K. stanął w płomieniach i ogień ugaszono z trudem. K. zmarł z poparzenia w kilka godzin później, M. zaś wyleczył się z oparzenia.

Przyczyną wypadku jest omyłka. Przepisy S. E. P. były zachowane. Wszystkie pola rozdzielcze były osłonięte drzwiczkami z siatki drucianej i wyraźnie oznaczone tabliczkami z przodu i z tyłu. Wobec tego, że omyłki tego rodzaju nie są odosobnione, zachodzi pytanie, czy nie byłoby wskazane oznaczać wyłączone pole, w którym się pracuje lub ma się pracować, w sposób jeszcze wyraźniejszy i bardziej wpadający w oko.

4. Ciężkie okaleczenie napięciem 6 000 V.

Pomocnik elektromontera J. otrzymał polecenie oczyszczenia wyłączników i urządzeń rozdzielczych 6 000 V. W tym celu kierownik ruchu wyłączył kabel zasilający i wyjął noże odłączników, poczem sprawdził, że w szynach zbiorczych niema napięcia. J. czyścił komórkę jedną po drugiej, aż doszedł do komórki, w której znajdował się wyłącznik olejowy drugiego kabla zasilającego, który normalnie nie był używany. Kabel jednak znajdował się pod napięciem, a odłączniki nie były wyłączone. Toteż zaciski na izolatorach na tylnej stronie wyłącznika olejowego znajdowały się pod napięciem. J. odniósł ciężkie poparzenia prawej dłoni, łokcia i ramienia, którem opierał się o uziemioną konstrukcję żelazną. W szpitalu stwierdzono, że całe ramię musi być odjęte.

Przyczyną wypadku była nieostrożność poparzonego, albo też cudze niedopatrzenie. Przepisy S. E. P. były o tyle niespełnione, że nie odłączono także drugiego kabla zasilającego, na co wskazuje P. N. E. — 10 § 56 p. 2. Przy badaniu tego wypadku okazało się także, jak ważnym jest ściśle wydawanie zarządzeń o robotach, jakie mają być wykonane

(§ 54 p. 1). W danym wypadku zachodziły np. wątpliwości co do tego, czy zarządzenie odnosiło się tylko do jednej komórki, którą otworzył kierownik ruchu, czy też także do następnych komórek, które otwierał uszkodzony klucza- mi, pozostawionymi przez kierownika.

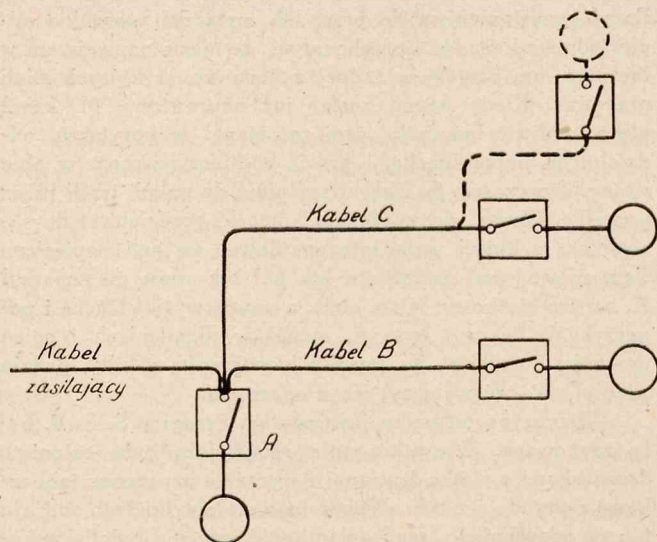
5. Śmierć od prądu trójfazowego 5 500 V.

Wypadek wydarzył się na kopalni. Maszynista M. zauważył, że wyłącznik olejowy wysokiego napięcia nie funkcjonuje. Przy sprawdzaniu przyczyny tego defektu dotknął jakiejś części wyłącznika i spowodował zwarcie i zniszczenie wyłącznika. M. został znaleziony martwy w komórce wyłącznika.

Przyczyną wypadku było niewyłączenie odłączników, które znajdowały się przed wyłącznikiem. Odłączniki te należało tem bardziej otworzyć, że M. pracował sam i że pomieszczenie wyłącznika olejowego było bardzo skąpo oświetlone.

6. Poparzenie prądem trójfazowym 2 000 V w kopalni.

Z rozdzielni głównej wychodził jeden kabel, który dochodził do zacisków wyłącznika A (por. rys. 2). Od zaci-



Rys. 2.

sków tego wyłącznika odgałęzione były jeszcze 2 kable B i C, idące do nieczynnego od dłuższego czasu silnika i innego jeszcze odbiornika. Odbiornik C miał być przeniesiony do odleglejszego miejsca i wskutek tego kabel C miał być przedłużony. W tym celu jeden z monterów otworzył wyłącznik C oraz wyłącznik główny w rozdzielni, poczem odłączył kabel C na zaciskach wyłącznika A, gdyż odbiornik A miał być w czasie robót utrzymany w ruchu. Tymczasem przez omyłkę zamiast kabla C odłączył kabel B, prowadzący do nieczynnego silnika, i zabrał się do roboty przy przedłużaniu kabla. Na początku dla pewności zwarł dwie żyły kabla C w wyłączniku kawałkiem drutu, trzymany w cęgach. Powstał wtedy łuk elektryczny, który oparzył montera W. oraz jego pomocnika M. na twarzy i rękach.

Przyczyną wypadku była nieuwaga montera, jakkolwiek przyznać trzeba, że działał on zgodnie z przepisami ruchu i tylko dzięki temu wypadek nie miał groźniejszych następstw.

7. Lekkie poparzenie prądem trójfazowym 2 000 V.

Wypadek wydarzył się na kopalni i był o tyle podobny do opisanego pod B 5, że przyczyną było również niewyłączenie odłączników. Inne okoliczności były jednak od-

mienne. Mianowicie w wyłączniku olejowym obluźował się izolator i silnik znajdował się po otwarciu wyłącznika olejowego jednobiegowo pod napięciem. Monter K., mierząc szczelinę, otrzymał lekkie uderzenie prądem, które go ostrzegło i doprowadziło do wykrycia uszkodzenia w wyłączniku.

8. Poparzenie prądem trójfazowym 380/220 V.

Podczas sprawdzania licznika prądu trójfazowego w elektrowni, monter K. zdejmował przykrywkę zacisków licznika. Czynność tę wykonywał, jak to się zwykle robi, nie odłączając licznika, a więc zaciski były pod napięciem. Podczas swej czynności prawdopodobnie przycisnął metalową przykrywkę zacisków zbyt mocno i przez to spowodował zwarcie, wskutek czego zarówno przykrywka, jak i osłona licznika została odrzucona i uderzyła montera w twarz, poparząwszy go przytem dotkliwie. Bliższe badanie wykazało, że odległość przykrywki metalowej od zacisków była istotnie bardzo mała i wynosiła zaledwo 1—2 mm, co powstało zapewne wskutek tego, że licznik był przeznaczony na 50 A, a modele użyte przez firmę były takie same, jak dla liczników 5 amperowych.

Przyczyną wypadku była niewłaściwa konstrukcja licznika. Odnosne normy nie zostały jeszcze przez S. E. P. wydane; cały materiał wraz z rysunkami i wnioskami, dostarczonemu przez sprawozdawcę, przesłano do Głównej Komisji Przepisowej. Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych były pozatem zachowane.

9. Śmierć od prądu stałego 250 V.

Wypadek wydarzył się w kopalni pod ziemią przy kolejce elektrycznej. Ładowacz S. układał wielkie bryły węgla, t. zw. kęsy, tuż pod drutem jezdnym kolejki, i, nie mogąc dosięgnąć ręką środka wózka, wszedł na zderzak i dotknął przy tem głową czy szyją drutu roboczego.

Przyczyną wypadku była nieostrożność uszkodzonego, gdyż drut jezdny znajdował się na przepisanej wysokości (PNE-17 § 11).

C. WYPADKI ROBOTNIKÓW.

1. Poparzenie prądem trójfazowym 35 000 V.

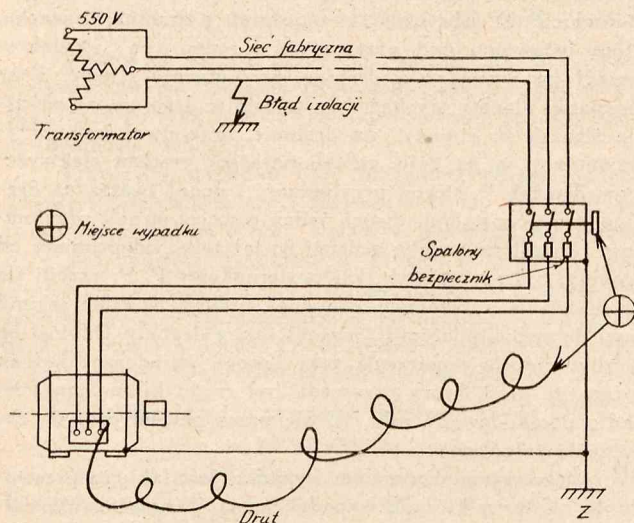
Poparzony robotnik S. przyglądał się próbom na podstacji 35 kV. Gestykułując zbyt żywo, zbliżył rękę do odłącznika nożowego na odległość około 20 cm i wtedy nastąpił przeskok iskry elektrycznej do palców lewej ręki. S., padając w tył, trzymał rękę wyciągniętą przed siebie i iskra miała się rzekomo wydłużyć aż do ok. 1,5 m. Porażony nie stracił przytomności, mimo to jednak zastosowano sztuczne oddychanie w ciągu kilku minut. Skutki poparzenia widoczne były jako opalenie naskórka lewej dłoni i guz (?) wielkości orzecha nad lewą piętą.

Przypuszczam, że podane przez świadków obie odległości są nieco przesadzone, w każdym razie jednak przyczyną wypadku była nieostrożność porażonego. O zachowaniu się osób obcych w pomieszczeniach ruchu elektrycznego mówi § 55 p. 2.

2. Śmierć od prądu trójfazowego 550 V.

Robotnik fabryczny M. zatrudniony był przy nawijaniu drutu na bębny. Nawinąwszy cały bęben, odciął kawałek ok. 10 m, który rzucił w kierunku drugiego stołu. Drut rozwinął się i koniec jego upadł na silnik elektryczny, a nawet prawdopodobnie dostał się pod osłonę silnika. Widząc to, czy też z innych bliżej nieznanych powodów, M. podszedł do wyłącznika, trzymając drugi koniec drutu w ręku. W chwili, gdy dotknął rączki wyłącznika, został śmiertelnie rażony.

Szczegółowe badanie wykazało, że zarówno kadłub silnika, jak osłona wyłącznika były dobrze uziemione, natomiast jeden z bezpieczników w wyłączniku był spalony, a jedna z faz sieci miała błąd izolacji, zresztą zmienny i niezawsze widoczny (por. rys. 3). Robotnik M. znalazł się więc



Rys. 3.

pod napięciem ok. 550 V przez goły drut, trzymany w ręku; ponieważ jednak stał na suchej ceglanej podłodze, a opór izolacji w punkcie błędu był dość znaczny, nie czuł prądu; dopiero gdy chwycił drugą ręką za dobrze uziemioną rączkę wyłącznika, otrzymał śmiertelne uderzenie. Wymieniony bezpiecznik spalił się prawdopodobnie od razu, gdy drut dostał się pod osłonę i buczenie silnika skłoniło M. do wyłączenia.

Wypadek jest więc dosyć skomplikowany i powstał wskutek nieszczęśliwego zbiegu okoliczności. Inżynier - elektryk, badający ten wypadek, polecił w każdym razie usunąć wspomniany błąd izolacji oraz osłonić należycie doprowadzenie prądu do silnika tak, aby nawet drut nie mógł się tam przedostać.

3. Poparzenie prądem trójfazowym 380/220 V.

Podczas mycia okien w fabryce robotnik S. wszedł na drabinę i zwarł gołą ręką wskutek nieostrożności gołe przewody 380 V. Przewody znajdowały się w pobliżu okna i prowadziły do instalacji silnikowej.

Przyczyną wypadku była własna nieostrożność; do ułatwienia wypadku przyczyniło się też częściowo kierownictwo ruchu fabryki z powodu niewyłączenia na czas mycia okien gołych przewodów w ich sąsiedztwie. W razie, gdyby z ważnych względów przewody musiały pozostać w czasie mycia okien pod napięciem (ze sprawozdania nie można wywnioskować, czy taka okoliczność zachodziła), wówczas należało zastosować wszelkie możliwe środki ostrożności i robotę zlecić osobom, obeznanym z niebezpieczeństwem (PNE-10 § 58). Przepisy S. E. P. prawdopodobnie więc nie były zachowane.

4. Śmierć od prądu trójfazowego 380/220 V we młynie.

Robotnik młyński Z. wziął lampę ręczną do ręki i udał się z nią na żelazne schodki ratunkowe, znajdujące się w odległości ok. 7 m od gniazdka wtyczkowego. Na schodkach Z. został znaleziony martwy i przypuszczano, że został on śmiertelnie ranny prądem elektrycznym. Początkowo nie znaleziono jednak przyczyny porażenia, dopiero po skrupulatnych poszukiwaniach zauważono, że kabel był przełamany w odległości ok. 80 cm od ebonitowej oprawki żarówki. Przez to uszkodzenie przeszło napięcie na drut żelazny, którym kabel był nazewnątrz osłonięty dla ochrony przed zni-

szczeniem izolacji. Drut ten był też przełamany. Z. otrzymał więc uderzenie prądem prawdopodobnie przez ten drut.

Główną przyczyną wypadku jest prawdopodobnie niewłaściwy przewód, użyty do instalacji lampy ręcznej, bądź też niewłaściwe zainstalowanie tegoż przewodu. Do instalacji urządzeń przenośnych, takich jak lampa ręczna, winny być bowiem stosowane w myśl przepisów S. E. P. (por. PNE-10 § 31 p. oraz PNE-5 § 39—45) przewody jednego z typów oznaczonych SPW1, SW1, SW, OI, O lub SP. Żaden z tych typów nie posiada zewnętrznego żelaznego drutu, służącego jako ochrona przed zniszczeniem izolacji. O ileby zaś przewód, starszego typu lub służący do pewnych specjalnych celów, posiadał wyjątkowo oplecenie z drutów, to oplecenie ten musiałby być starannie uziemiony lub przyłączony do wyłącznika ochronnego (PNE-10 § 45, p. 10). Przepisy S. E. P. zatem nie były zachowane.

5. Śmierć od prądu trójfazowego 220 V.

Robotnik S. zajęty był wraz z monterem i innymi pomocnikami przy wymianie przewodów sieci miejskiej rozdzielczej na przewody o większych przekrojach. S., jako były pracownik pocztowy, przywiązywał przewody na słupach do izolatorów. Pod koniec dniówki, kiedy inni pracownicy składali już narzędzia, został S. nagle porażony prądem elektrycznym od przywiązywanego przewodu. Okazało się, że maszynista uruchomił prądnicę w elektrowni wcześniej, niż zwykle, gdyż potrzebował światła i włączył również wyłącznik sieci miejskiej mimo, iż wisiało na nim ostrzeżenie „nie włączać”.

Przyczyną wypadku było obce przewinięcie. Przepisy S. E. P. (por. § 57) nie były zachowane.

D. WYPADKI DZIECI.

1. Oparzenie i zranienie przez linję napowietrzną 3 000 V.

Na krańcowy słup żelazny kratowy wspiął się 12-letni chłopiec i uległ oparzeniu podudzia, przyczem spadł ze słupa i złamał stopę. Słup był ustawiony prawidłowo i zaopatrzone w tabliczkę ostrzegawczą i wieniec kolców u góry. Przyczyną wypadku była lekkomyślność porażonego.

2. Śmierć od prądu trójfazowego 220 V.

4-letnia dziewczynka K. została śmiertelnie porażona prądem elektrycznym od rynnny deszczowej, bądź też połączonego z nią drutu kolczastego (tuż obok wejścia do kina, a zatem na ruchliwej ulicy). Niestety nikt z przechodniów, ani z personelu kina nie umiał jej udzielić pomocy. Rynna deszczowa znajdowała się pod napięciem 220 V względem ziemi, które się tam przedostało z kabelka ołowianego, zasilającego żarówkę w przedsiönku kina; kabelek wyprowadzony był nazewnątrz budynku i dotykał płaszczem ołowianym blaszanego daszka przybudówki, w której mieścił się przedsiönek kina. Kabelek, zasilający reklamy nad kinem, również był uszkodzony; izolacja tego kabelka posiadała opór w stanie suchym ok. 1 000 Ω . Inne części instalacji również nie odpowiadały przepisom budowy i ruchu, skutkiem czego zarówno daszek, jak rynna i wszystkie stykające się z niemi druty znajdowały się pod napięciem 220 V wzgl. ziemi. Stan ten trwał zapewne dłuższy czas, gdyż kabelek miał w kilku miejscach uszkodzony płaszcz ołowiany, a niektóre z tych miejsc były załatane taśmą izolacyjną i przykryte rurką bergmanowską. Na rynnicy stale napięcia nie było, lecz wystarczyło przycisnąć kabelek do daszka, aby ten znalazł się pod napięciem.

Przyczyną wypadku jest więc bezwątpienia niezachowanie przepisów budowy urządzeń elektrycznych prądu silnego.

Przedstawicielowi elektrowni dał powyższy wypadek sposobność wkroczenia i zarządzenia, by wszystkie niepra-

widłowo wykonane części instalacji zostały doprowadzone do porządku przed ponownym przyłączeniem do sieci.

Należy zauważyć, że bezpieczniki 6 A przy odgałęzieniu kabelka nie przepaliły się, mimo uziemionego punktu zerowego; oporu tego uziemienia nie podano, a sprawozdawca tłumaczy to jeszcze zbyt dużym oporem izolacji. Przez opór izolacji należy tu jednak rozumieć opór izolacji rynny daszku do ziemi, gdyż one to zamykały obwód pomiędzy punktem zerowym transformatora, a uszkodzoną fazą. Jeśli suma oporów, złożona z oporu uziemienia punktu zerowego sieci 380/220 V i oporu uziemienia rynny deszczowej, była zbyt duża, to prąd płynący przez bezpiecznik i ziemię był niewystarczający do stopienia go. Do stopienia stopki 6 A trzeba, jak wiadomo, prądu conajmniej 8,4 A, czyli, aby taki prąd przepłynął, opór obwodu musiałby być mniejszy od 220 : 8,4 omów, a nawet uwzględniając prąd żarówek reklamowych (1 000 W) od 220 : 3,8 = 58 omów. Opór izolacji rynny był prawdopodobnie nawet w czasie deszczu większy od tej liczby.

Wnioski, jakie sprawozdawca wyciąga z wyżej opisanego wypadku, są następujące: a) Personel techniczny kina powinien być obowiązkowo obznajmiony ze wskazówkami niesienia doraźnej pomocy w wypadkach porażenia prądem elektrycznym, co powinno być stwierdzone przez władze bezpieczeństwa; b) przepisy techniczne urządzeń kinematograficznych powinny określić dla starych kin, w ciągu jakiego czasu mają być usunięte wszystkie braki w instalacjach, które mogłyby narazić życie lub zdrowie ludzkie na niebezpieczeństwo.

Wnioski te przekazano komisji urządzeń kinematografów; żądanie analogiczne do b) zawarte jest już w PNE-10 § 69.

3. Śmierć dziecka od napięcia 220 V.

Przewody na podwórzu założone były na izolatorach wzdłuż ściany. Po pewnym czasie założono na tej samej ścianie rynnę pionową, nie dochodzącą do ziemi. Rynna krzyżowała się z przewodami i po pewnym czasie przetarła lub uszkodziła izolację przewodów (typu haketalowskiego), co spowodowało, że rynna była stale pod napięciem, o czym zresztą wiedzieli wszyscy sąsiedzi i lokatorzy.

Pewnego dnia wieczorem jeden z lokatorów zdejmował antenę, biegnącą ponad dachem, ale nie zdjął jej całkowicie, lecz pozostawił ją zwisającą z dachu i opartą na rynnie; drut antenowy był więc pod napięciem. Następnego dnia 7 letnie dziecko zaplątało się w drut anteny i poniosło śmierć od prądu elektrycznego.

Wypadek jest, jak widać, nieco skomplikowany i współdziałało tu kilka przyczyn; najważniejsze z nich przedstawiają się, jak następuje. Przedewszystkiem nie były zachowane przepisy budowy (por. PNE-10 § 25 A p. 3). Winę tego ponosi jednak nie instalator, lecz przedsiębiorca, który później już zakładał rynny i nie zażądał odpowiedniego przerobienia instalacji elektrycznej; powtórnie — lokatorzy, którym znana była okoliczność elektryzowania rynny i którzy zaniedbali zawiadomić o tem właściciela budynku czy też elektrownię, która niechybnie byłaby spowodowała usunięcie wadliwej instalacji; podkreślić należy również lekkomyślność sąsiada, który zdejmował antenę.

Przy tej sposobności należałoby zwrócić uwagę na różne komplikacje, które zachodzą przy zakładaniu anten radiowych w sąsiedztwie napowietrznych przewodów elektrycznych prądu silnego podczas ich pracy a szczególnie przy zdejmowaniu, ze względu na to, że te przewody często zakładane bywają pod drutami lub linkami antenowymi.

E. WYPADKI PRZY PRZEWODACH NAPONIETRZNYCH.

1. Porażenie 3 ludzi prądem trójfazowym 40 000 V.

W dniu świątecznym wywieszona została na przewodach napowietrznych wysokiego napięcia płachta komunikacyjna. Celem zdjęcia tej płachty zajęła na żądanie posterunku P. P. fabryczna straż pożarna z drabiną strażacką, którą ustawiono pod przewodami; jeden ze strażaków wszedł na wyciągniętą drabinę, aby płachtę strącić. Przy szarpaniu płachty słyszał było trzaski w drabinie, aż wreszcie strażak P. stojący na drabinie, oraz dwaj inni, przytrzymujący ją na dole, zostali porażeni prądem elektrycznym. Strażak P. stracił przytomność i upadł twarzą na drabinę, a z pozostałych dwóch jeden również stracił przytomność i upadł na ziemię, a drugi został tylko odepchnięty od drabiny. Starszy strażak H. i posterunkowy P. P. rzucili się do ratowania porażonych, ci jednak przyszli w kilka sekund sami do siebie, poczem P. zeszedł sam z drabiny. Odnosił on niezbyt ciężkie poparzenia ręki i nogi, świadczące jednak o tem, że prąd, który przeszedł, był rzędu kilku amperów; nadto poszkodowany uskarżał się przez pewien czas na zaburzenia żołądkowe.

Ciekawszym szczegółem wypadku jest fakt, że przewody 40 kV, przy których wypadek nastąpił, należały do całkiem innego przedsiębiorstwa, które o całym tym wypadku nic nie wiedziało. Opisany wypadek wydarzył się w bardzo uprzemysłowanej okolicy, tem więcej więc podziwiać należy zimną krew i lekceważenie życia przez strażaków. Po wypadku bowiem starszy strażak H. wszedł powtórnie na drabinę i zapomocą biczyska zrzucił wreszcie płachtę z przewodów.

Przyczyną wypadku była nieświadomość niebezpieczeństwa; zadziwiający jest fakt, iż mimo niezachowania żadnych środków bezpieczeństwa skutki wypadku były tak nikłe. Zastępa to bodaj czy nie największa mechaniczna drabina strażackiej, której konstrukcja była tego rodzaju, iż wszystkie okucia i części metalowe zmontowane były na drewnianych ramach. Ważną okolicznością było również to, że praca odbywała się w suchy dzień przy ładnej pogodzie. Warto również wspomnieć, że opisany wypadek zaszedł ok. godz. 8-ej rano, a może nie jest całkiem rzeczą przypadkową, że z pośród 10 wypadków śmiertelnych, których godzinę zdołano ustalić, aż 9 przytrafiło się w godzinach popołudniowych (między godz. 14-tą a 2-ą), tylko 1 zaś w godzinach przedpołudniowych.

2. Śmierć od przewodów napowietrznych 15 000 V.

Chałupnik N., zbierając w lesie gałęzie, dotknął się konara, leżącego na opuszczonym przewodzie linii napowietrznej o napięciu 15 000 V, który odłamał się od ścinanego przez robotników leśnych drzewa.

Bliższe szczegóły wypadku nie są znane, dziwną wydaje się w każdym razie niezwykle lekkomyślność zatrudnionych przy robotach leśnych robotników (i ich dozorców), którzy przy robotach w pobliżu linii wysokiego napięcia nie tylko nie wyłączyli przewodów, ale pozostawili po ścięciu drzewa zawieszony na przewodach napowietrznych konar.

3. Śmierć od przewodów napowietrznych 500 V.

Robotnik F. zatrudniony był smarowaniem dachu smołą koło komina kręgowego. Przewody przebiegały na wysokości ok. 1,20 m nad dachem. F. dotknął przewodów z niewiadomych powodów i uległ poparzeniu obu rąk. Zmarł w godzinę po wypadku.

Przepisy S. E. P., jak widać, nie były zachowane. Po wypadku przewody podniesiono na przepisową wysokość.

4. Śmierć dziecka od przewodu napowietrzego 220 V.

7 letni chłopiec R. wszedł podczas zabawy z kolegami na daszek stodoły o wysokości ok. 1,50 m nad ziemią i do-

tknął przewodów napowietrznych 220 V. Przewody te były tak nisko zawieszane, że omal dotykały daszku stodoły, a daszek pokryty był dachówką kamienną.

Przyczyną wypadku było niezachowanie przepisowej odległości przewodów od dachu.

5. Śmierć od prądu trójfazowego 220 V.

Malarz K. wyszedł przez okno facjaty na dach i przypadkiem dotknął karkiem przewodu, będącego pod napięciem. Gdy go tyką odepchnięto od przewodu, spadł z dachu na betonowe schodki.

Przyczyną wypadku było przedewszystkiem niedopatrzenie właściciela domu i malarza, którzy powinni byli przed rozpoczęciem roboty wyłączyć przewody napowietrzne z pod napięcia, zwłaszcza o ile były to przewody gołe. Następnie niesienie pomocy było nieumiejętne, wreszcie okoliczności były o tyle niepomyślne, że malarz stał w skarpetkach na mokrym dachu. Co do rodzaju izolacji przewodów i ich wysokości nad dachem, nie podano bliższych danych.

6. Porażenie od przewodów napowietrznych 220 V przez antenę.

Wypadek miał podobny przebieg, jak opisany pod D 3. Wypadek dotyczył jednakże dorosłego człowieka i zakończył się tylko chwilową utratą przytomności.

Przyczyną wypadku była niewłaściwie zmontowana antena. Zwracam uwagę, że wydane zostały przez SEP „Przepisy budowy napowietrznych anten odbiorczych” (PNE-25/32), przeciw którym grzeszy się jednak bardzo często. Z wielu stron podnoszą się głosy, iż konieczny jest większy nacisk władz państwowych przy wprowadzeniu i tych także przepisów. Przy coraz to większym rozpowszechnieniu radja przestrzeganie tych przepisów staje się coraz nieodzowniejsze.

F. WYPADKI PRZY LAMPACH RĘCZNYCH.

1. Śmierć od lampy ręcznej 220 V.

Pomocnika rzeźnickiego F. znaleziono w lodowni piwnicy martwego z lampą ręczną, trzymaną za trzonek żarówki i oprawkę. Przyczyną wypadku była wadliwa lampa ręczna. Sprawozdawca proponuje wprowadzenie przymusu w stosowaniu transformatorów na 24 czy też 42 V do lamp ręcznych. Zdaje mi się, że takie żądanie jest nieco za daleko idące, gdyż lampy ręczne, prawidłowo wykonane i używane w normalnych warunkach, nie przedstawiają niebezpieczeństwa. W miejscach zaś specjalnie niebezpiecznych już przepisy obecne nakazują stosowanie takich transformatorów (PNE-10 § 31 p. 1 f). Większość wypadków przy lampach ręcznych powstaje natomiast z tej prostej przyczyny, iż używane bywają bardzo często lampy ręczne, wykonane niezgodnie z przepisami, a więc bez klosza ochronnego lub bez osłonnego pierścienia izolacyjnego. Jakżeż często widuje się lampy ręczne nawet bez rękojeści, zwykła poprostu oprawka z 2 krótkimi drucikami i żarówką już się nazywa szumnie lampą ręczną lub lampą probierczą! Pewną niedoskonałość prawidłowych nawet lamp ręcznych stanowi brak kurka; jest to copperszawa z innych względów zabronione (por. PNE-10 § 31 p. 1 d), ale jest często przyczyną, że dla zgaszenia lampy wykręca się żarówkę i można dotknąć wtedy przypadkowo nieochronionego trzona żarówki. Toteż na ten szczegół należy zwrócić szczególną uwagę przy lampach ręcznych (por. § 31, p. 1 b).

2. Poparzenie 2 elektromonterów przez lampę probierczą 220 V.

Poparzenie nastąpiło przy sprawdzaniu przewodów za pomocą lampki probierczej. Żarówka uległa prawdopodobnie w czasie drogi uszkodzeniu, tworząc wewnątrz zwarcie, o czym monterzy nie wiedzieli. Podczas sprawdzania prze-

wodów żarówka pękła i powstał łuk, który poparzył jednemu z pracujących twarz i ręce, drugiemu zaś ręce.

Przyczyną wypadku był przypadek. Wniosek, żeby usunąć żarówkę jako przyrząd do sprawdzania instalacji, byłby jednak zdaniem moim zbyt daleko idący, a to z tego powodu, że żarówka jest tak prostym i tanim, a zarazem wygodnym w użyciu przyrządem, że żadne zakazy nie odniosłyby skutku, a pozbawiłyby monterów użytecznego przyrządu. Natomiast wypadek ten i jemu podobne wskazują na to, że przyrząd ten wymaga technicznego opracowania, aby uniknąć niebezpieczeństw, które połączone są z używaniem żarówek probierczych w formie dzisiaj powszechnie używanej.

G. WYPADKI INNYCH OSÓB.

1. Śmierć od prądu trójfazowego 380/220 V.

Robotnik dniówkowy A. został porażony w piwnicy przy wkręcaniu żarówki w lampie ściennej. Przy badaniu stwierdzono, że denat upadając oderwał od ściany oprawkę wraz z rurką bergmanowską z gipsem na długości ok. ½ m. Cała instalacja była wykonana wadliwie, a mianowicie w rurkach bergmanowskich pod tynkiem na gipsie w pomieszczeniu tak wilgotnym, że gips po tygodniu był jeszcze całkiem miękki. Oprawki były zwyczajne (niehermetyczne i nieizolowane), a ta, która stała się przyczyną śmierci, nie miała pierścieni (metalowego i porcelanowego). W kilku oprawkach przewod zerowy przyłączony był do spodka oprawki, zamiast do części gwintowanej (PNE-10 § 28 A p. 5 a).

Przyczyną wypadku była wadliwie wykonana instalacja, przyłączona do sieci bez wiedzy elektryka. Podkreślić należy również niezgodność instalacji z PNE-10 § 28 a i § 40. Sprawozdawca stawia na tle opisanego wypadku 2 wnioski: aby w pomieszczeniach wilgotnych zabezpieczać wszelkie urządzenia elektryczne przed przypadkowym dotknięciem, np. przez możliwie gęste siatki ochronne, oraz, aby zabronić wykonywania w takich pomieszczeniach instalacji pod tynkiem. Drugie żądanie, choć nieco w innej formie, przewidziane jest w § 40 p. 12, pierwsze zaś — w § 40 p. 2.

2. Śmierć i porażenie od prądu trójfazowego 380/220 V w rolnictwie.

Przy młóceniu zboża silnikiem elektrycznym spadł pas, poczem robotnik K. wraz z robotnikiem F. schwycili drażkami ramę, na której zmontowany był silnik, dla lepszego naprężenia pasa. Przy też czynności K. otrzymał uderzenie prądem, a F. pozostał z rękami, zaciśniętymi na rączkach prężenia pasa. Przy tej czynności K. otrzymał uderzenie prądem. Wypadek zdarzył się na podwórzu gospodarskim, gdzie ziemia była wilgotna. Punkt zerowy transformatora był uziemiony, ale uziemienie ramy silnika było zerwane.

Przyczyną wypadku był błąd w izolacji silnika oraz zerwane uziemienie; przepisy SEP nie były więc zachowane. Przy okazji tego wypadku sędzia, który wypadek badał z urzędu miał polecić, aby „rączki od ramy silnika były izolowane i bezpieczniki były w porządku”. Instrukcja ta, wydana w najlepszej wierze przez człowieka niefachowego, ale cieszącego się w kołach rolników wielkim autorytetem, wskazuje dobitnie, jak potrzebna jest w takich wypadkach interwencja inżyniera - elektryka.

3. Śmierć i poranienie od prądu zmiennego 250 V.

2 robotników dniówkowych zatrudnionych było w sadzie zrywaniem owoców. Przy tej sposobności dotknęli przypadkiem drutów nieizolowanych, zawieszonych w sadzie i pozostawionych po festynie od kilku tygodni. Jeden poniósł śmierć, drugi — lekkie porażenie.

Przyczyną jest prawdopodobnie obce zaniedbanie.

4. Porażenie 2 osób w łaźni.

Na sali ogólnej w łaźni osoba X dotknęła ręką zwisającego przewodu, pozbawionego w tym miejscu izolacji, o napięciu 220 V wzgl. ziemi. Gdy gwałtowny skurcz mięśni nie pozwolił jej puścić przewodu, przyszła jej z pomocą druga osoba Y i uległa temu samemu losowi. Obie osoby zostały uwolnione przez wyłączenie linii. Normalnie przewody wisiały na rolkach u sufitu, wykonane jednakże były w czasie wojny gorszym materiałem i oberwały się.

Przyczyną wypadku była wadliwa instalacja, a następstwa wypadku mogły być znacznie poważniejsze ze względu na zmniejszony opór ciała w łaźni.

5. Poparzenie prądem stałym 600V.

Wypadek wydarzył się przy wsiadaniu do tramwaju. Podróżna wsiadając chwyciła za poręcz i w tej chwili została porażona prądem elektrycznym, przyczem równocześnie zgąsło światło. Tramwaj został natychmiast wyłączony, a podróżna odniosła lekki tylko wstrząs nerwowy i opalenie, widoczne zwłaszcza na rękawiczkach. Kierownictwo tramwajów tłumaczy wypadek w ten sposób, iż w chwili, gdy podróżna dotknęła poręczy, wóz stał na zapiaszczonych szynach. Prąd był włączony, gdyż światło paliło się. Duży spadek napięcia z powodu zapiaszczonych szyn odczuła zatem pasażerka.

Przyczyną wypadku jest nieszczęśliwy zbieg okoliczności. Jest to zarazem wskazówką dla tramwajów, aby nie stosować poręczy metalowych.

H. WYPADEK Z KONIEM.

1. Zabicie konia od napięcia 60 V.

Koń węglarza drobnicowego został zabity wedle wszelkiego prawdopodobieństwa prądem elektrycznym w chwili, gdy wszedł w kałużę wody deszczowej. Inne konie w tym miejscu też podobno podskakiwały. Wobec tego zbadano bliżej, czy tam niema jakich napięć, i stwierdzono, że pomiędzy kałużą, a wodociągiem sąsiedniej kamienicy istnieje napięcie ok. 60 V. Przy szerokim rozstawieniu nóg można było również odczuć napięcie. Przy bliższym badaniu kabli niskiego napięcia (380/220 V) znaleziono w odległości ok. 200 m od miejsca wypadku mufę kablową, zalaną masą kablową nieco porowatą i to mogło powodować upływ prądu do ziemi.

Mufę tę przerobiono, uziemiając nie tylko pancierz ołowiany, ale i pancierz stalowy kabla, i zalano ją na nowo. Po przeróbce żadnych napięć więcej w ziemi nie zauważono.

Przyczyną wypadku była prawdopodobnie niedoskonałość zalania masą. Z tego też względu połączenie pancierza żelaznego kabla oraz mufy z uziemionym płaszczem ołowianym winno być uznane za obowiązkowe. W PNE-10/32 § 27 p. 10 uznane to jest jako pożądane.

IV. Wpływ prądu elektrycznego na organizm.

Na tle opisanych wyżej wypadków widoczny jest szkodliwy wpływ prądu elektrycznego na organizm ludzki. Wpływ ten może być rozmaitego rodzaju. Po pierwsze może to być wpływ pośredni przez poparzenie w wysokiej temperaturze łuku elektrycznego, jaki powstaje przy zwarciach między fazami albo do ziemi. Poparzenia te nie bywają głębokie, bywają natomiast rozległe, gdyż przyłącza się do tego oparzenie od płonącego ubrania. Powtórne może to być oparzenie, powstałe bezpośrednio od przepływu prądu o dużym natężeniu przez ciało ludzkie. To natężenie prądu bywa nie raz dosyć duże (kilka amperów i więcej), co przy dłuższym czasie trwania może spowodować duże i głęboko sięgające rany od spalania tkanek prądem elektrycznym. Bezpośredni wpływ wywiera przez porażenie prąd elektryczny, dzia-

łając bezpośrednio na organy wewnętrzne, jak mózg i serce, i działanie to powoduje w takim razie niejednokrotnie śmierć. Jakie jest to działanie, jak wielkiego prądu potrzeba do zabicia, dlaczego działanie to jest czasem śmiertelne, a czasem nie, nie jest dotychczas dostatecznie wyjaśnione. Zdaje się, że duże znaczenie ma tu moment zaskoczenia, podczas gdy świadomość niebezpieczeństwa obniża ogromnie niebezpieczeństwo zabicia. Oprócz działania na centralny system nerwowy prąd elektryczny może oddziaływać również na system nerwowy wegetatywny i pozostawić przez pewien czas ujemne skutki. Naturalnie w praktycznym wypadku bywają zwykle skutki i pośrednie i bezpośrednie. Należy wreszcie wspomnieć także o zranieniach lub złamaniach, spowodowanych upadkiem w momencie porażenia.

Opisane wypadki są przykładem dla wszystkich kategorii. Jest rzeczą charakterystyczną, że wypadki, w którychby przeważało ciężkie oparzenie, czy to powierzchowne, czy też głębokie, zdarzają się najczęściej u elektromonterów i wogóle u ludzi, którzy mają zawodowo do czynienia z prądem elektrycznym; taki jest też często rezultat u samobójców. Śmierć jest tu najczęściej zjawiskiem wtórnym jako wynik poparzenia. Natomiast stosunkowo największy odsetek śmiertelności wykazują dzieci, rzemieślnicy i robotnicy.

W literaturze znaleźć można twierdzenie, że natężenie prądu w granicach od ok. 50 mA do 1 A jest dla ludzi najniebezpieczniejsze. Opisane wyżej wypadki nie wydają się tego potwierdzać. W opisanym bowiem przypadku pod A 1 zdołano w czasie wypadku odczytać natężenie prądu i czas jego trwania (300 mA i 3 sek); wypadek nie miał żadnych następstw mimo tak niebezpiecznego natężenia prądu. W przypadku E 1 natężenie prądu również było prawdopodobnie właśnie w tych niebezpiecznych granicach. Mimo to wszyscy 3 porażeni przyszli zaraz do siebie. Inne jednak wypadki, w których natężenie prądu z pewnością nie było większe, miały wynik śmiertelny (D 3, F 3, B 9).

Z drugiej strony można przytoczyć kilka takich wypadków, gdzie natężenie prądu, które przeszło przez ciało, było bardzo duże (B 3, B 4, D 1), a jednak porażeni nawet nie utracili przytomności.

O ile chodzi o wysokość napięcia, to w r. 1933 wypadków przy napięciu szczególnie niskim nie było, było natomiast kilka przy napięciach b. wysokich (60 kV, 40 kV, 35 kV), które dziwnym zbiegiem okoliczności miały przebieg dosyć lekki. Przy napięciach wysokich od 500 V do 15 kV ok. 1/3 miało przebieg śmiertelny. Natomiast przy napięciach niskich, a zwłaszcza 220 V liczba wypadków śmiertelnych przekracza 60% wypadków znanych. Dużą rolę grały tu niekorzystne okoliczności, np. wilgotne piwnice; na te więc pomieszczenia należy zwrócić szczególniejszą uwagę.

Wiele wypadków miało przebieg śmiertelny z tego powodu, że albo porażonemu nie udzielono wcale pomocy, albo też pomoc ta była niewłaściwa. Wogóle z opisów wypadków wynika, że sposoby ratowania porażonych prądem elektrycznym są bardzo mało znane; nadto z notatek dziennikarskich widać, że wśród najszerszych kół społeczeństwa, a nawet wśród ludzi, którzy się uważają za wykształconych, istnieją najszkodliwsze przesady. W razie wypadku zatem tylko w b. rzadkich razach znajduje zastosowanie natychmiast właściwa metoda ratowania i dlatego rzadko kiedy następuje uratowanie porażonego, — daleko rzadziej, niżby to być powinno. Toteż pragnę zakończyć apelem, aby w miarę możliwości dbano o wyszkolenie całego personelu fachowego oraz wszystkich tych, którzy z wypadkami mogą mieć styczność w ratowaniu prądem elektrycznym (strażacy, pielęgniarki, dozorczy). Odnośne wskazówki zawierają przepisy PNE-9.

DZIAŁ KONSTRUKCYJNY.

CHŁODZENIE TRANSFORMATORÓW OLEJOWYCH I STOSOWANIE KONSERWATORÓW.

Inż. J. Angerman.

Streszczenie. Ilości ciepła, oddawane przez transformator, rozkład temperatur na powierzchni zbiornika, ciepło promieniowania i przewodzenia, chłodzenie naturalne i sztuczne, ilość powietrza chłodzącego, zasady przewietrzania transformatorowni. Systemy sztucznego chłodzenia. Konserwatory olejowe.

Warunkiem prawidłowej pracy transformatorów pod względem cieplnym jest danie im możliwości oddania wytworzonego ciepła otoczeniu, a następnie — odprowadzenie ogrzanego powietrza nazewnątrz budynku. Częste bowiem wypadki nadmiernego nagrzewania się transformatorów, umieszczonych w pomieszczeniach zamkniętych, powodowane są przeważnie niedostatecznymi warunkami chłodzenia i odprowadzania ciepła — czy to wskutek nieuzasadnionej oszczędności, czy też z nieświadomości.

Ilość ciepła, jaką transformator ma do oddania pod obciążeniem, równa jest wartości cieplnej jego strat w żelazie i miedzi:

$$Q = 860 N_n \left(\frac{100 - \eta}{100} \right) \text{ kal. kg/godz.} \quad (1)$$

gdzie N_n = moc pobierana w kW,

η = współczynnik sprawności przy danym obciążeniu.

Tę ilość kalorii winniśmy odprowadzić, jeżeli nie chcemy przekroczyć dopuszczalnych temperatur nagrzania uzwojeń, rdzenia czy oleju.

Dla transformatorów suchych chłodzenie nie przedstawia zagadnienia poważniejszego, w rachubę bowiem wchodzi tu transformatory niewielkie, wyjątkowo do mocy 150 kVA, w przeważnej zaś ilości jednostki mniejsze od 20 ÷ 25 kVA. Oddawanie ciepła ogranicza się tu do samego promieniowania części nagrzanych, t. j. uzwojeń, rdzenia a nadto blach dodatkowych, wkładanych między cewki dla powiększenia powierzchni promieniowania. Normalnie naturalny ruch powietrza wystarcza do odebrania wypromieniowanego ciepła, z chwilą jednak umieszczenia transformatorów w zamkniętych kolumnach słupowych, w otworach podziemnych kopalń i t. p., proces chłodzenia komplikuje się, gdyż warunki przepływu powietrza są ograniczone, a nadto kładzie się nacisk na odgrodenie transformatora od bezpośredniego dopływu powietrza zewnętrznego, celem zmniejszenia kondensowania wilgoci, zawartej w powietrzu, na jego częściach.

Chłodzenie transformatorów olejowych jest bardziej skomplikowane, nie tylko z powodu konieczności przejścia ciepła z cewek i rdzenia przez warstwy oleju i ściany zbiornika przy ograniczonej temperaturze maksymalnej nagrzania oleju, ale i z tej przyczyny, że mamy tu nieraz do czynienia z jednostkami o bardzo wielkiej mocy, które wymagają odprowadzania ogromnych ilości ciepła.

Stosowane są dwa rodzaje chłodzenia: naturalne i sztuczne. Naturalne będzie miało zawsze więcej zwolenników, niż sztuczne, jest bowiem wygodniej mieć w pracy

transformatory bez specjalnego stałego dozoru i dodatkowych urządzeń chłodniczych, wymagających stałej kontroli. Jednak w niektórych wypadkach, przy złych warunkach wentylacji i braku odpowiedniego pomieszczenia, sztuczne chłodzenie może się kalkulować lepiej.

Należy wyjaśnić zasadniczą różnicę między chłodzeniem „naturalnym” i „sztucznym”: naturalne jest wówczas, gdy ciepło transformatora drogą promieniowania i przewodzenia oddawane jest przez ściany zbiornika otaczającemu powietrzu; sztuczne zaś wtedy, gdy ciepły olej zapomocą dodatkowych urządzeń oddaje ciepło wodzie czy powietrzu. Jednak chłodzenie naturalne wymaga również całego szeregu urządzeń, czego niejednokrotnie nabywcy nie chcą rozumieć, a co powoduje skolei kłopotliwe nieporozumienia między dostawcami a odbiorcami.

Chcąc zdać sobie należycie sprawę z przebiegu chłodzenia transformatorów olejowych, rozpatrzmy zjawiska kolejnego przechodzenia ciepła z nagrzanych uzwojeń i rdzenia przez ośrodek pośredniczący do zewnętrznego powietrza chłodzącego. Dla transformatorów o chłodzeniu naturalnym średnie różnice temperatur wynoszą:

między wewn. temperaturą cewki a powierzchnią cewki około 8°C,

między temp. powierzchni cewki a olejem ok. 19°C,

między olejem a wewnętrzną ścianą zbiornika ok. 3°C,

między ścianą zewn. zbiornika a powietrzem ok. 40°C,

Cyfry podane słuszne są przy założeniu, że temp. nagrzania wynosi ok. 70°C i nie przekracza górnej dozwolonej granicy.

Oddawanie ciepła przez ściany zbiornika odbywa się przez promieniowanie, przewodzenie i konwekcję. Wskutek różnych wartości przewodności cieplnej ściany zbiornika wzgl. powietrza z jednej strony, a oleju z drugiej, wymienione wyżej różnice temperatur rozkładają się nieproporcjonalnie.

Ciepło wypromieniowane (Q_{pr}) jest proporcjonalne do powierzchni promieniującej (P_p), różnicy temperatur ściany i powietrza, oraz pojemności cieplnej powierzchni ściany wzgl. powietrza (c)

$$Q_{pr} = c P_p \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

gdzie T_1 i T_2 są temperaturami absolutnymi ściany i powietrza.

Upraszczając powyższy wzór przez wstawienie zamiast wyrazu w nawiasie różnicy temperatur $t_1 - t_2 = \delta$, popełniamy błąd około 10 ÷ 20%, co jednak możemy naprawić przez dobór odpowiedniej wartości stałej c :

$$Q_{pr} = c' P_p (t_1 - t_2) = c' P_p \delta \text{ kal./godz.} \quad (3)$$

Ciepło przewodzenia zależy od powierzchni przewodzącej, różnicy temperatur i od przenikalności cieplnej:

$$Q_{prz} = k P_k (t_1 - t_2) \text{ kal./godz.} \\ = k P_k \delta \text{ kal./godz.} \quad (4)$$

gdzie „ k ” określa się ze wzoru $\frac{1}{k} = \frac{1}{\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_2} + \frac{d}{\lambda}$,

przyczem: σ_1 — przewodność ścianki względem oleju,
 σ_2 — przewodność ścianki względem powietrza,
 d — grubość ścianki w mm,
 λ — przewodność właściwa żelaza (56 kal/mm/godz.⁰C).

Dla σ_1 odpowiednia różnica temperatur wynosi 3⁰ C, zatem dla 10⁰ C.

$$\sigma_1 = 3 + 0,08 \Delta = 3 + 0,08 \cdot 3 = 3,24.$$

Dla σ_2 odpowiednia różnica temperatur wynosi 40⁰ C, zatem dla $\Delta > 10^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_2 = 2,2 \sqrt[4]{\Delta} = 2,2 \sqrt[4]{40} = 5,5.$$

W powyższych wzorach spóczynniki c' i k można dla wygodniejszego manipulowania sprowadzić do wielkości jednostek oddawanego przez ściany zbiornika ciepła o wymiarze $\text{W}^{\circ}\text{C m}^2$.

Przez c' oznaczamy zatem jednostkę ciepła oddawanego przez promieniowanie; jest ona zmienna, rośnie bowiem, jak wspomniane było wyżej, wraz z przyrostem temperatury ścian zbiornika i temperatury powietrza. Średnio c' dla temp. powietrza 20⁰ C i różnicy temperatur między zbiornikiem a powietrzem 40⁰ C wynosi $6 \text{ W}^{\circ}\text{C m}^2$ z dokładnością dostateczną dla obliczenia przebiegu cieplnego.

Przez k oznaczamy jednostkę ciepła oddawanego przez przewodzenie i konwekcję. Drogą doświadczalną jej wielkość ustalona jest na $7 \div 8 \text{ W}^{\circ}\text{C m}^2$, dla pewności jednak jest przyjmowana wartość niższa.

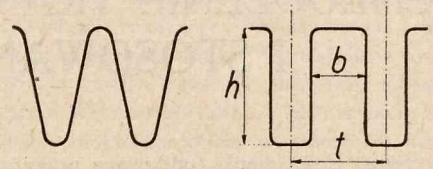
W ten sposób ciepło, oddawane otoczeniu tak przez promieniowanie, jak i przewodzenie, wynosi $Q = (6 P_p \div 7 P_k)$ watów = stratom żelaza i miedzi . (5)

P_p , powierzchnia miarodajna dla promieniowania ciepła, obejmuje tylko tą część powierzchni zbiornika, która może promieniować ciepło bezpośrednio do wolnego otoczenia; odpadają tu te części powierzchni, które mogą wzajemnie na siebie oddziaływać. Ponieważ dla obliczania P_p i P_k przyjmuje się tylko powierzchnię płaszcza transformatora, bez uwzględnienia powierzchni dna i pokrywy (dno nagrzewa się znikomo mało, a pokrywa po odjęciu miejsca, zajętego przez izolatory i t. p. promieniuje bardzo słabo wobec braku przewiewu), przeto wartość P_p ogranicza się do tej powierzchni, jaka utworzona jest przez obwód dookoła zbiornika, liczony po obrysie zewnętrznym, i czynną wysokość zbiornika. Obwód w tym przypadku będzie tworzyć obwód po zewnętrznej stronie fal, jeżeli zbiornik jest zbudowany z blachy falistej, względnie po zewnętrznej stronie rur chłodniczych (rury wpuszczane w ściany zbiornika). P_k natomiast jest dla zbiorników falistych i rurowych znacznie większe od P_p , gdyż wchodzi tu w rachubę dokładny obwód zbiornika z uwzględnieniem powierzchni fal względnie rur. Należy jednak uwzględnić pewną poprawkę dla takiego wykonania zbiornika, w którym rury są ustawione ciasno obok siebie, albo w którym fale są zbyt wąskie, wskutek czego hamowany jest dopływ chłodzącego powietrza.

Ponieważ $P_k > P_p$, dla zbiorników falistych i rurowych oddawanie ciepła przez przewodzenie jest znacznie większe od promieniowania.

Zbiorniki dla transformatorów do 20 kVA posiadają ściany gładkie, wówczas $P_p = P_k$. Powierzchnie te wystarczają zupełnie dla oddania wytworzonego ciepła. Jednostki większe, od 30 kVA do 4000 kVA, w miarę wzrostu mocy

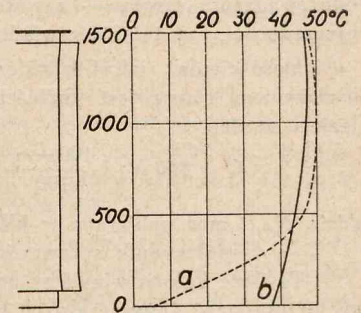
zaopatrzone są w zbiorniki o falach coraz głębszych, względnie o większych ilościach rur chłodniczych (więcej szeregów). Fale, prowadzone pionowo, muszą mieć odpowiednie wymiary. Rys. 1 przedstawia dwa typy fal: zaokrąglonej i prostokątnej. Aby otrzymać wartość $k = 7 \text{ W}^{\circ}\text{C m}^2$, fale zaokrąglone muszą mieć szerokość minimum 15 mm, prostokątne — szerokość kanału powietrznego $30 \div 70$ mm, olejowego zaś $5 \div 25$ mm.



Rys. 1.

Zbiorniki z rurami chłodzącymi posiadają rury odpowiednio wygięte, dawniej zawalcowywane, obecnie zaś przypawane do zbiorników i uszeregowane w 2÷5 rzędów, zależnie od wielkości transformatora. W takiej konstrukcji pewną trudność stanowi czyszczenie rur z powodu wygiętego ich kształtu. Olej ochłodzony opada w rurach nadół, powodując stałą cyrkulację, — podobnie zresztą, jak w zbiornikach falistych.

Chłodzenie naturalne można znacznie poprawić przez przepompowywanie oleju z górnej części do dolnej. Polepszając cyrkulację oleju, osiągamy bardziej równomierny rozkład temperatur powierzchni ściany zbiornika, jak to uwidocznione jest na rys. 2 dla transformatora 320 kVA. Krzywa „a” przedstawia temperatury nagrzania powierzchni zbiornika przy chłodzeniu naturalnym bez cyrkulacji sztucznej, „b” — przy przepompowywaniu oleju.



Rys. 2.

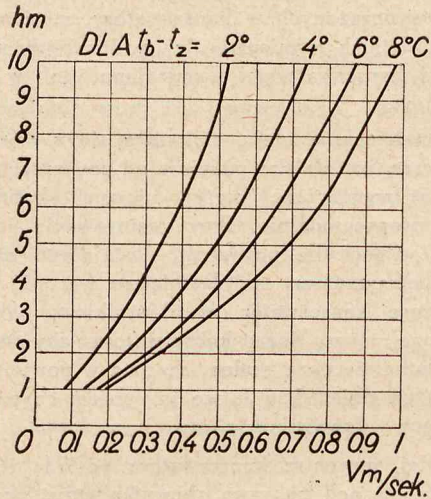
Transformatory większe — od 4000 kVA — zaopatrzone są w radiator, składające się z poszczególnych systemów chłodnic blaszanych wzgl. złożonych z rur, pionowo ustawionych między skrzyniami dolnymi i górnymi. Skrzynie te, zbierające olej, wpływający wzgl. wypływający z radiatorów, umocowane są przy pomocy kryz do zbiornika bezpośrednio albo pośrednio przez zawory. Radjatory odejmowane mają tę zaletę, że mogą być przy transporcie zdjęte, a w czasie pracy mogą być wymieniane w razie uszkodzenia. Rys. 3 przedstawia zbiornik z blaszanymi radiatorami transformatora 4000 kVA. Osiągnięta tutaj powierzchnia, przewodząca ciepło, jest tak znaczna, że gwarantuje pewne oddawanie ciepła; w danym przypadku 44 000 kal/godz. Na wypadek przeciążenia transformatora o 20÷30% radjatory takie mogą być ochładzane przez dodatkowe powietrze z wentylatorka, które wypływa szeregiem rurek pomiędzy radiatorami, zwiększając znacznie natężenie chłodzenia.

Ciepło, oddane przez transformator otaczającemu powietrzu, powoduje skolei jego nagrzanie. Wyobraźmy sobie transformator, umieszczony w oddzielnym pomieszczeniu, o maksymalnej temperaturze zbiornika T_t , temperaturze otaczającego powietrza w budynku T_b i temper. powietrza zewnątrz budynku T_z . T_t powoduje wzrost T_b aż do pewnego stanu równowagi, przy którym T_b ustala się.

Przy założeniu, że T_t i T_z pozostają niezmiennie, a odpowiednia wentylacja jest utrzymana,

$$T_t > T_b > T_z$$

Temperatura pomieszczenia jest zatem wyższa od temperatury powietrza zewnętrznego; wpływają na nią



Rys. 3.

warunki klimatyczne danego miejsca i czas trwania maksymalnych temperatur w lecie. W Polsce maksymalna T_z waha się około 26÷32° C. Biorąc pod uwagę niedługie okresy silnego wzrostu temperatury latem, następnie porę szczytów tych temperatur, przypadających w innym czasie, niż bywa szczyt obciążenia sieci, wreszcie możliwość chwilowego przeciążenia transformatorów, przyjmuje się przy obliczeniu 25° C jako maksymalną temperaturę zewnętrzną. W pomieszczeniach dostatecznie przewietrzanych T_q jest o 6 ÷ 7° C wyższa od T_z , zatem przy max. $T_z = 25° C$ wartość T_b będzie wynosić około 32° C.

Podkreślić tu należy niejednokrotnie spotykany warunek przy zamawianiu transformatorów, aby temperatura pomieszczenia nie przekraczała np. 25° C (przy naturalnym chłodzeniu).

Jak z powyższego wynika, tego rodzaju żądanie jest oczywiście nie do pomyślenia przy chłodzeniu naturalnym, samoczynnym.

Ważną rzeczą jest odpowiednie rozplanowanie otworów, doprowadzających i odprowadzających powietrze z transformatorni, oraz nadanie im odpowiednich wymiarów. Strumień zimnego powietrza, doprowadzony od dołu, powinien jaknajbardziej obejmować ze wszystkich stron transformator; otwory, odprowadzające gorące powietrze, powinny być umieszczone u góry najlepiej na przeciwległej ścianie, licząc od dopływu powietrza, względnie u góry nad transformatorem.

Ilość ogrzanego powietrza, jaką mamy odprowadzić na zewnątrz, określa wzór

$$V = \frac{Q'(1 + \alpha t_s)}{0.307(t_b - t_z)} \text{ m}^3/\text{godz.}$$

- gdzie: Q' — ilość ciepła w kal/godz. do odprowadzenia,
- t_b — maksymalna temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia,
- t_z — maksymalna temperatura powietrza doprowadzonego z zewnątrz,
- α — współczynnik rozszerzalności powietrza 1 : 273.

Q' nie jest identyczne z Q , obliczonym wg. wzoru (1), jako ilość ciepła, dostarczana przez transformator w pracy; odliczyć tu bowiem należy tę część ciepła, jaka prze-

chodzi zewnątrz pomieszczenia przez ściany budynku, a równą co do wielkości:

$$Q'' = k_s F (t_b - t_z) \text{ kal/godz.},$$

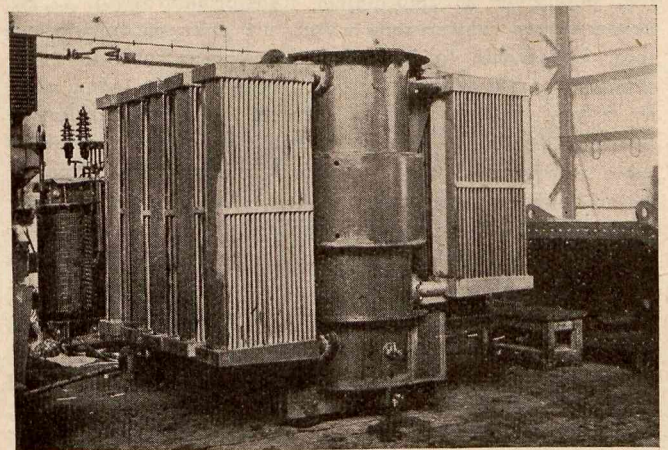
przyczem k_s jest spólc. przewodzenia ciepła przez ściany, a F — sumaryczną powierzchnią ścian wewnątrz (spólczynnik k_s wynosi np. dla muru z cegieł i tynku o grubości 380 mm około 1,49).

Ciepło zatem, które należy odprowadzić w postaci ogrzanego powietrza, wynosi:

$$Q' = Q - Q'' \text{ kal/godz.}$$

Spotykane niejednokrotnie uproszczone sposoby przewietrzania transformatorowni przez otwieranie drzwi lub okien, są skuteczne tylko w czasie specjalnych warunków atmosferycznych zewnętrznych, jednak w czasie ciszy i braku wiatru najoczywiściej zawodzą. Prawdłowo rozwiązanie przewietrzanie powinno gwarantować dostateczny przeciąg powietrza, bez względu na zewnętrzne warunki atmosferyczne. Dla obliczenia przekroju otworów dla odpływającego powietrza obrać należy najkorzystniejszą prędkość przepływu, podaną na wykresie rys. 3, gdzie jest ona funkcją wysokości środka otworu wylotowego od poziomu neutralnej sfery ciepłej (normalnie sfera neutralna znajduje się w połowie wysokości pomieszczenia transformatora). Na rysunku podane są 4 krzywe dla różnic temperatur $t_b - t_z$, wynoszących 2, 4, 6 i 8° C.

Jeżeli drogą naturalnego chłodzenia danego pomieszczenia przewiewu nie da się rozwiązać odpowiednio, zostaje zastosowanie wentylatorów śrubowych ssących wzgl.



Rys. 4.

łoczących. Pierwsze mają większe zastosowanie w porównaniu z drugimi, które przy zawilgoceniu czy zanieczyszczeniu powietrza zewnętrznego tłoczą je w takim stanie do środka. Przekrój otworu powietrznego powinien być nieco większy od średnicy skrzydeł wentylatora D , przyczem

$$D = 1.3 \sqrt{\frac{V}{v}}$$

- gdzie: V — ilość powietrza w m³/sek,
- v — prędkość maksymalna przepływu — około 2,5 m/sek.

Jako środek ostateczny pozostaje zastosowanie transformatorów o chłodzeniu sztucznym. Zmusza do tego najczęściej brak miejsca dla chłodzenia naturalnego, względnie moc jednostki, większej od 4000 kVA i umieszczonej w budynku. Jako środek chłodzący stosuje się wodę albo powietrze. Jest kilka systemów chłodzenia wodnego; w najbardziej rozpowszechnionych umieszcza się węzów-

nicę wodną z rur ołowianych albo miedzianych w górnej części transformatora (nad uzwojeniami) albo wzdłuż całego płaszcza zbiornika od wewnątrz (system amerykański). Ujemną cechą tych systemów jest możliwość przesiąkania wody do oleju przez nieszczelności. Woda musi być, technicznie biorąc, czysta, aby nie dawała osadu, utrudniającego przewodzenie ciepła. Ilość wody określa się praktycznie na 1,5 l/min i kW odprowadzonych strat, przy nagraniu jej o ok. 10° C. Powierzchnia węzownicy będzie wystarczająca, jeżeli przyjąć 0,5 m² na 1 kW strat.

Najbardziej racjonalny jest system przepompowywania gorącego oleju przez węzownicę, zanurzoną w zbiorniku wodnym, umieszczonym obok transformatora. W tym wypadku ilość oleju jest stosunkowo mniejsza, niż w systemach poprzednio opisanych, nadto odpada możliwość przedostawania się wody do oleju, gdyż olej jest pod ciśnieniem pompy; wreszcie skutek chłodzenia jest znacznie lepszy. Istnieją jeszcze wykonania sztucznego chłodzenia przy pomocy specjalnych chłodzi, gdzie olej jest w przeciwnym kierunku z powietrzem; chłodzi są umieszczone obok transformatora. Bywają wreszcie urządzenia ze sztucznym chłodzeniem powietrzem, w których specjalny wentylator tłoczy powietrze pod transformator w wykonaniu normalnym, dzięki czemu zbiornik falisty czy rurowy może znacznie większe ilości ciepła oddać na zewnątrz.

Konserwatory olejowe.

Dla zapewnienia całkowitego napełnienia zbiornika olejem w czasie jego pracy stosuje się już od r. 1905 naczynia, połączone ze zbiornikiem transformatorowym, t. zw. konserwatory, umieszczone wyżej, niż pokrywa transformatora. Urządzenie to już od samego początku było zwalczane tak przez wytwórców, jak i odbiorców, z jednej strony z powodu zwiększenia kosztu wyrobu transformatorów, z drugiej — z powodu trudności w uszczelnieniach, jakie powstawały przy wzroście ciśnienia oleju. Konserwator bowiem, podnosząc wysokość ciśnienia oleju, wymaga doskonałego uszczelnienia pokrywy do zbiornika, izolatorów w pokrywie i nasadkach górnych. Trudności te rzeczywiście nie były łatwe do usunięcia, lecz po zastosowaniu najlepszych materiałów uszczelniających niereagujących na olej transformatorowy i niezanieczyszczających go, doprowadzono wykonanie do takiego stanu, że obawy o przesiąkanie oleju zniknęły.

Utrzymując zatem zbiornik pod ciśnieniem oleju, konserwator zabezpiecza w ten sposób jego wnętrze przed niepożądaną obecnością powietrza. Ujemną cechą urządzenia jest niewielkie zwiększenie ilości oleju, zwiększenie kosztu wykonania transformatora i konieczność stosowania najlepszego gatunku uszczelnień pokrywy i izolatorów. Wady te są nieznaczne w porównaniu z następującymi zaletami stosowania konserwatora:

a) Niedopuszczanie do wnętrza transformatora (a więc do części pod napięciem) powietrza, które w razie przeskoku napięcia (międzyfazowego, albo między fazą a pokrywą) w obecności gazów, wydzielanych z oleju, może być przyczyną pożaru transformatora.

b) Niedopuszczanie powietrza do zetknięcia się z tak wielką powierzchnią oleju, jaką stanowi przekrój wewnętrzny zbiornika. Odpadają zatem niepożądane tego skutki, jak: możność kondensowania się pary wodnej na wewnętrznych ścianach zbiornika i szybsze starzenie się, utlenianie i wilgotnienie oleju. Doświadczenie wykazuje, że w transformatorach, niewyposażonych w konserwatory, musi się w okresach 2 ÷ 3-letnich wymieniać olej, podczas gdy w transformatorach z konserwatorami wymienia się go w okresach 8 ÷ 10-letnich.

c) Powierzchnia oleju, stykająca się z powietrzem w konserwatorze, jest daleko mniejsza od powierzchni w zbiorniku, tak iż wymienione wyżej ujemne skutki zmniejszają się proporcjonalnie. Przy zastosowaniu jeszcze pochłaniacza wilgoci dla powietrza, dostającego się do konserwatora, otrzymujemy najidealniejsze warunki dla oleju. Rury, łączące konserwator ze zbiornikiem, powinny być wprowadzone ponad dnem konserwatora, aby kondensująca się ewentualnie para wodna, zawarta w powietrzu, mogła zbierać się na dnie, skąd łatwo ją spuścić co pewien czas przy pomocy odpowiedniego otworu u dołu.

d) Olej wewnątrz konserwatora posiada temperaturę niższą, niż olej pod pokrywą zbiornika, gdyż powierzchnia konserwatora przyczynia się do ochładzania go.

e) Jako ostatni argument należy wymienić możliwość umieszczania — czy to na rurach łączących konserwator ze zbiornikiem, czy też wewnątrz konserwatora — aparatów, zabezpieczających prawidłową pracę transformatora. Zadaniem ich jest alarmowanie obsługi w razie rozpoczynającego się miejscowego rozkładu oleju pod wpływem lokalnego nagrzania, względnie opadnięcia oleju poniżej dopuszczalnej granicy, a na wypadek zwarcia międzyfazowego, przeciążenia, pod wpływem eksplozji spowodowanie natychmiastowego wyłączenia transformatora z pod napięcia.

Wskaźnik oleju, umocowany na bocznej ścianie konserwatora, nie tylko wskazuje obsłudze poziom oleju w danej chwili, ale nadto stopień zanieczyszczenia oleju, czy zestarzenia się.

Istnieją jeszcze urządzenia amerykańskie, w których transformator bez konserwatora napełniony jest w wolnej przestrzeni pod pokrywą azotem o pewnym, niewielkim nadciśnieniu. Jest to praktyczne z tego powodu, że azot nie dopuszcza do zetknięcia się powietrza z olejem, jednak kłopotliwe, gdyż azot musi być stale uzupełniany wobec jego ulatniania się przez nieszczelności; nadto nie można stosować ich do napięć wyższych, przy których ze względów konstrukcyjnych odległości międzyfazowe i wymiary wewnętrzne izolatorów wobec braku oleju pod pokrywą trzeba by poważnie zwiększyć.

Zestawiając zatem wady i zalety stosowania konserwatorów, możemy obiektywnie osądzić, czy dodatkowy koszt, związany z wykonaniem konserwatora, wraz z dodatkowym kosztem oleju, może się opłacać w porównaniu do szeregu zalet.

SIŁY MECHANICZNE PRZY ZWARCIACH W TRANSFORMATORACH.

Inż. W. Kopczyński

Streszczenie. Wzory rozmaitych autorów na siły mechaniczne przy zwarciu transformatorów wykazują wielkie różnice. Wywody prof. G. Benischke'go, podane w Arch. f. El. t. 22-gi, zes. 3-ci, z dn. 15.7. 1929 r. dają wielkości 10 do 50 razy mniejsze dla uzwojeń walcowych, niż wzory prof. M. Vidmar'a w książce „Die Transformatoren”. Wzór zaś prof. R. Richter'a w książce „Die Transformatoren”, pomimo zgodności w podstawowym ujęciu, daje w ostatecznej formie wielkość 2 razy większą od wzoru Vidmar'a. Dla uzwojeń krążkowych wzór R. Richter'a daje też wielkość 2 razy większą, niż wzór Vidmar'a.

Zwarcia bywają bardzo różnorodne: zdarzają się w uzwojeniu pierwotnym, wtórnym, między zwojami, między zwojnicami w połączeniach zaczipów i t. p.¹⁾, a potem mogą powstać nazewnątrz transformatora w obwodzie wtórnym. Wszystkie one wytwarzają siły mechaniczne w uzwojeniach. Jak potężne siły powstają tu niekiedy, sądzić można z deformacji uzwojeń lub części transformatorów. Badanie uzwojeń oraz uszkodzonych części może być niekiedy bardzo poważnym środkiem do określania sił mechanicznych zwarcia. Oczywiście, należy pamiętać, że pewne uszkodzenia części są możliwe też przed zwarciem, np. przy prasowaniu uzwojeń.

Z pomiędzy różnych rodzajów zwarć charakterystycznym i często zdarzającym się jest *zwarcie na zaciskach wtórnych transformatora*. Zwarcie to powstanie np. przy uderzeniu pioruna w transformatorze, przyłączonym stroną pierwotną do elektrowni, a stroną wtórną do linii napowietrznej. Przepisy wymagają, aby transformatory znosiły to zwarcie przy napięciu znamionowym, jeśli udarowy prąd zwarcia nie przekroczy 75-krotnie skutecznej wartości prądu znamionowego. Doświadczalne sprawdzenie tej wytrzymałości jest naogół trudne do wykonania nawet dla mniejszych transformatorów, a dla wielkich, w których siły zwarcia osiąągają nieraz wielkość setek tonn, jest niemal zupełnie niemożliwe. Sprawa staje się tem poważniejszym zagadnieniem konstrukcyjnym, im większa jest moc transformatora. Wykonywanie pewnych doświadczeń, określających zależność między prądem i siłami mechanicznymi, widocznie jest również niełatwe, skoro wzory teoretyczne różnych poważnych autorów wykazują tak znaczne różnice. Mimo to wywody teoretyczne pozwalają nam poznać dążenia do ujęcia tej kwestji.

Prądy zwarcia.

W poszczególnych wypadkach praktyki wielkość prądu zwarcia zależy od sumy oporności obwodu pierwotnego, np. generatorów, sieci i transformatora. Zwykle więc przy zwarciu na zaciskach wtórnych transformatora napięcie pierwotne opada. Gdyby jednak nie opadało, to w kilka sekund po zwarciu płynąłby przez transformator *ustalony prąd zwarcia* I_z , wyznaczony wzorem:

$$I_z = \frac{100 I_1}{e_z} \dots \dots \dots (1)$$

gdzie I_1 jest prądem znamionowym, a e_z — napięciem zwarcia w % napięcia znamionowego.

Udarowy prąd zwarcia i_{uz} może osiągnąć wartość:

$$i_{uz} = \sqrt{2} \left(1 + e^{-\frac{t}{T}} \right) I_z \dots \dots \dots (2)$$

W powyższym wzorze: t — czas w sekundach, T — stała czasu, I_z — ustalony prąd zwarcia (wartość skuteczną). Udarowy prąd zwarcia składa się z sinusoidalnego ustalonego prądu zwarcia oraz składowej o charakterze zanikającego prądu stałego. Jeśli oporność rzeczywista jest bardzo mała, to udarowy prąd może osiągnąć swą wartość największą:

$$i_{uz} = 2 \sqrt{2} I_z \dots \dots \dots (3)$$

Nie należy jednakże liczyć, że ten największy prąd może powstać przy zwarciu każdego transformatora. W małych normalnych transformatorach (do 100 kVA) udarowy prąd zwarcia tylko nieznacznie różni się od największej wartości ustalonego. R. Richter w książce „Die Transformatoren”, na str. 82-ej, podaje stałe czasu dla małych transformatorów: $T = \sim 0,003$ sek., a dla wielkich: $T = \sim 0,03$ sek. tak, iż dla małych:

$$i_{uz} = \sim 1,5 I_z \dots \dots \dots (4)$$

a dla wielkich:

$$i_{uz} = \sim 2,4 I_z \dots \dots \dots (5)$$

Mogą być więc wypadki, iż przy badaniu na zwarcie małych transformatorów udarowego prądu zwarcia wogóle nie będziemy otrzymywali.

Siły mechaniczne zwarcia.

Prof. G. Benischke w Arch. f. Elektr., tom 22-gi, zes. 3-ci, z dn. 15 lipca 1929 r. wskazuje, że dotychczasowe metody określania sił zwarcia opierały się na błędnych podstawach, gdyż były wyliczane z oddziaływania pola rozproszenia transformatora na podstawie wzoru:

$$F = \frac{H i l}{10} \text{ dyn} \dots \dots \dots (9)$$

We wzorze tym natężenie pola H nie jest wypadkowym z oddziaływania pola prądu i na pole pierwotne, które istniało, gdy prądu i nie było, lecz właśnie natężeniem tego pola pierwotnego. Można brać pod uwagę tylko magnetyczne siły oddziaływania na przewody prądowe, gdyż elektryczne są nikłe. Benischke dowodzi, że nie są to siły oddziaływania *pól rozproszenia* lub *pól wypadkowych*, lecz jedynie tak nazywanych przez niego *pól fikcyjnych*²⁾. Benischke podaje pozatem wzór:

$$F = -2 i_1 i_2 \frac{l}{a} \dots \dots \dots (7)$$

jako siłę między dwoma przewodami równoległymi o długości l w odstępnie a . Wspomnimy też, że natężenie pola w odległości a od nieskończenie długiego przewodu prostoliniowego wynosi:

$$H = 0,2 \frac{i}{a} \dots \dots \dots (8)$$

²⁾ Pobieżne określenie pól fikcyjnych podane w Przegl. El. z 1925 r., str. 285.

¹⁾ O zwiarcich. B. Gimbut. Wiad. El. zes. 11, 1933 r.

gdzie i w amp., a zaś w cm. Podstawiając wyrażenie wzoru 8-go do wzoru 6-go, otrzymamy przy prądzie w amperach:

$$F = \frac{0,2 i_1 i_2 l}{10 a} \text{ dyn} \quad \dots \quad (9)$$

Benischke określa jednakże siły z energii magnetycznej:

$$P = \frac{i^2}{2} L^3 \quad \dots \quad (10)$$

Siła dowolna kierunku x ma być:

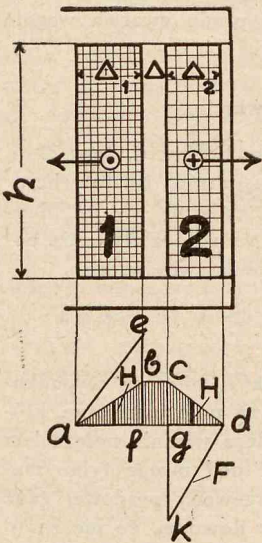
$$F = \frac{dP}{dx} = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \quad \dots \quad (11)$$

W przykładach siły, określone na zasadzie wzoru 11-go, zgadzają się z danymi przez wzór 7-my. Zauważymy tu, że wzór 11-ty nie określa miejsca działania siły, a właściwie wyznacza oddziaływanie pola na swe własne przewody, posiadające indukcyjność L .

R. Richter we wspomnianej wyżej książce, wydanej w 1932 r., wyprowadza siły, działające przy zwarciu, z *pól rozproszenia* tak, jak to czynili autorzy dawniejsi, np. Kapp, E. Reed oraz M. Vidmar. Rozpatrzmy pokrótce na czym ten sposób polegał.

Uzwojenia walcowe.

W uzwojeniach walcowych symetrycznych o równej wysokości h (rys. 1) powstają siły oddziaływania jednego uzwojenia na drugie w kierunkach prostych do osi rdzenia. Nazwiemy te siły „promieniowemi”. Poza to działają tu siły, ściskające uzwojenie w kierunku osi, t. j. siły przyciągania między zgodnymi prądami tegoż uzwojenia. Na skrajne zwoje lub zwojnice działają też w kierunku osi rdzenia siły przeciwnie, t. j. siły odpychania między przeciwnymi prądami obu uzwojeń, które zmniejszają nieco działanie sił przyciągających, t. j. ściskających zwojnice.



Rys. 1.

Rys. 1 przedstawia przekrój uzwojeń walcowych. U dołu linia a, b, c, d oznacza zmienne natężenie pola H , największe w szczelinie Δ między obu uzwojeniami i malejące linijowo do zera w kierunkach do zewnętrznej powierzchni 1-go i wewnętrznej 2-go uzwojenia. Siły mechaniczne, prostopadłe do kierunku linii sił i prądu, będą rozpierały uzwojenie 1-sze (zewnętrzne) i zginały 2-gie (wewnętrzne). Pę wzoru 6-go siły te będą proporcjonalne do H . Linia a, e, f, g, k, d przedstawia rozkład tych sił w przekroju uzwojeń. Siły te będą największe przy szczelinie i stopniowo malejące ku zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni uzwojeń. Oczywiście siły będą tak działały, jeśli nie uwzględnimy poglądu G. Benischke'go i przyjmujemy, że siły powstają między prądami i polem rozproszenia.

³⁾ We wzorze 10-tym i 11-tym L spółczynnik samoindukcji.

Średnia wartość natężenia pola w przekroju miedzi uzwojenia wynosić będzie 0,5 największej, t. j. 0,5 odcinka uzwojenia wynosić będzie 0,5 wartości największej, t. j. 0,5 odcinka fb na rys. 1 tak, iż:

$$H_s = \frac{0,4 \pi I z \sqrt{2}}{2 h} \quad \dots \quad (12)$$

gdzie I jest wartością skuteczną prądu, z ilością zwojów, h zaś wysokością uzwojenia w cm.

Podstawiając wartość wzoru 12-go do wzoru 6-go, jeśli we wzorze tym zamiast i podstawimy Iz a zamiast l wstawimy l_s , czyli średni obwód zwoju w cm, otrzymamy największą wartość sumy sił, działających promiennie na uzwojenia:

$$F = \frac{0,4 \pi (Iz)^2 l_s}{10 h} \text{ dyn} \quad \dots \quad (13)$$

Przy zwarciu, ustalonym pę wzoru 1-go, powstaną siły:

$$F_z = \frac{0,407 \pi (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{h e_z^2} \text{ kg} \quad \dots \quad (14)$$

W powyższym wzorze I_1 jest skuteczną wartością prądu znamionowego. Jeśli napięcie jest sinusoidalne, to siły będą proporcjonalne do \sin^2 , a więc średnia wartość sumy sił będzie równa połowie największej. Jak wiadomo z teorii przyrządów pomiarowych, siły będą proporcjonalne do skutecznej wartości prądu. W kilka sekund po zwarciu będą działały siły:

$$F_z = \frac{0,407 \pi \cdot (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{2 h e_z^2} \text{ kg} \quad \dots \quad (15)$$

Udarowy zaś prąd zwarcia, określony wzorem 3-cim, wytworzy siły:

$$F_{uz} = \frac{1,63 \pi (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{h e_z^2} \text{ kg} \quad \dots \quad (16)$$

Przyjmujemy, że udarowy prąd zwarcia płynie w obu uzwojeniach, a więc siła wzrasta proporcjonalnie do kwadratu prądu. Na ten to prąd udarowy obliczamy wytrzymałość mechaniczną uzwojeń w obawie, aby prąd ten, działając wybuchowo, nie zdeformował uzwojeń, choć przy badaniach moglibyśmy określać tylko wartość osiem razy mniejszą, podaną przez wzór 15-ty.

M. Vidmar w książce „Die Transformatoren” na str. 152 podaje wzory, które można wyprowadzić z wzoru 13-go.

Oporność urojona uzwojenia transformatora:

$$X = \frac{8 f z^2 \delta l_s 10^{-8}}{h} \quad \dots \quad (17)$$

gdzie δ zredukowana szczelina w cm:

$$\delta = \Delta + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{3} \quad \dots \quad (18)$$

Napięcie rozproszenia:

$$E_s = XI = \frac{8 f l z^2 \delta l_s 10^{-8}}{h} \quad \dots \quad (19)$$

Podstawiając wyrażenie dla:

$$\frac{(Iz)^2 l_s}{h}$$

z wzoru 19-go do wzoru 13-go, otrzymamy:

$$F = 1,6 \frac{E_s I}{\delta f} \text{ kg} \quad \dots \quad (20)$$

Podstawiając dalej do wzoru 20-go wartość ustalonego prądu zwarcia z wzoru 1-go, przyczem napięcie rozproszenia staje się nieco mniejsze od napięcia znamionowego, otrzymamy:

$$F_z = 1,5 \frac{E I_1 10^2}{\delta f l_z} \text{ kg} \quad (21)$$

Udarowy zaś prąd zwarcia, dwukrotnie większy od amplitudy ustalonego, da wielkość cztery razy większą, gdyż we wzorze 19-tym napięcie rozproszenia też dwukrotnie wzrośnie, tak iż:

$$F_{uz} = 6 \frac{E I_1 10^2}{\delta f l_z} \text{ kg} \quad (22)$$

W transformatorze trójfazowym moc $P = 3 \cdot E \cdot I_1$ kVA a więc

$$F_{uz} = 0,2 \frac{P 10^6}{\delta f e_z} \text{ kg} \quad (23)$$

Wzór 23-ci daje wielkość zbliżoną do wartości wzoru 16-go, ponieważ jest on wyprowadzony z tegoż wzoru 13-go.

G. Benischke na str. 241 wspomnianej wyżej publikacji daje również określenie sił promieniowych w uzwojeniach walcowych na jednostkę wysokości h , a mianowicie wzorem:

$$F = K \frac{(i z)^2}{h^2} \frac{2 l_s}{a} \quad (24)$$

W powyższym wzorze K jest współczynnikiem, zależnym od rozproszenia. Dla transformatorów normalnych K jest bliskie jedności. Dla całego uzwojenia siła będzie h razy większa, a więc:

$$F = K \frac{(i z)^2}{h} \frac{2 l_s}{a} \quad (25)$$

Jeśli wyrazimy prąd w amperach i jeśli I oznaczać będzie wartość skuteczną, to dla największej wartości prądu siła promieniowa będzie:

$$F = K \frac{0,4}{10} \frac{(I'z)^2}{h} \frac{l_s}{a} \text{ dyn} \quad (26)$$

Wzór 26-ty daje wartość πa razy mniejszą, niż wzór 13-ty. Wzór więc G. Benischke'go daje wartość πa razy mniejszą, niż wzór 23-ci M. Vidmar'a.

Zauważymy tu, że, porównując wzory 8 i 12-ty, przy $z/h = 1$, otrzymamy taką samą różnicę, t. j. wzór 12-ty wyznaczać będzie wartość πa razy większą, niż wzór 8-my, jeśli prądy w obu będą brane, jako wartości chwilowe. Benischke zaznacza w swej pracy, że wzór 24-ty jest identyczny z 7-ym.

R. Richter w książce „Die Transformatoren“ na str. 83-ej i następnych wyprowadza siły zwarcia z rozproszenia, jak na rys. 1, a mianowicie z energii pola magnetycznego:

$$P = \frac{i^2}{4 \pi f} X \quad (27)$$

gdzie X jest opornością urojoną wg wzoru 17-go (z małą zmianą współczynnika, mianowicie 7,9 zamiast 8, co pominiemy). Przy zmianie zredukowanej szczeliny na $d\delta$, energia zmienia się na dP . Jeśli prąd nie ulegnie zmianie, to siła w kierunku δ , a więc i promieni, będzie:

$$F = \frac{dP}{d\delta} = \frac{i^2}{4 \pi f} \frac{dX}{d\delta} \quad (28)$$

Znajdując pochodną z wzoru 17-go i podstawiając do wzoru 28-go, otrzymamy:

$$F = 0,63 \cdot 10^{-2} \frac{l_s}{h} \left(\frac{iz}{1000} \right)^2 \text{ Joule/cm} \quad (29)$$

czyli:

$$F = 0,064 \frac{l_s}{h} \left(\frac{iz}{1000} \right)^2 \text{ kg} \quad (30)$$

Wzór 30-ty wyznacza tę samą wartość, co wzór 13-ty, o czym się przekonamy, podstawiając $i = l\sqrt{2}$ i zamieniając kg na dyny.

W dalszym ciągu R. Richter przekształca wzór 30-ty w sposób taki sam, jak Vidmar, zastępując:

$$\frac{l_s z^2}{h} = \frac{X 10^{-8}}{8 f \delta} \quad (31)$$

z wzoru 17-go oraz i przez i_{uz} z wzoru 2-go, a I_z przez

$$I_z = \frac{I_1}{e_k} \quad (32)$$

gdzie e_k jest napięciem zwarcia, wyrażonym jako ułamek. Urojony spadek napięcia wynosi:

$$e_b = \frac{X I_1}{V_1} \quad (33)$$

gdzie V_1 napięcie fazowe, a I_1 prąd znamionowy. Ostatecznie będzie:

$$F_{uz} = 3,25 \left(1 + e^{-\frac{t}{T}} \right)^2 \frac{e_s P_s}{e_k f e_k \delta} \text{ kg} \quad (34)$$

W powyższym P_s jest mocą jednej fazy transformatora:

$$P_s = V_1 I_1 \quad (35)$$

przy $t = 0$, t. j. jeśli udarowy prąd zwarcia osiąga wartość, wyznaczoną przez wzór 3-ci, wzór 34-ty daje wartość *dwukrotnie większą*, niż wzory 16 i 23-ci, co jest dziwne, gdyż wszystkie zostały wyprowadzone z tegoż wzoru 13-go. Jeśli wykonamy czynności, wskazane tu od wzoru 30-go do 33-go, to otrzymamy:

$$F_{uz} = 1,62 \left(1 + e^{-\frac{t}{T}} \right)^2 \frac{e_b}{e_k} \frac{P_s}{f \cdot e_k \cdot \delta} \text{ kg} \quad (36)$$

Możliwe więc, że zaszła tu omyłka, lub też R. Richter zapomniał nadmienić czegoś dodatkowo. Np. dla transformatora 3000 kVA na 30000/3000 V $h = 87$ cm, $l_s = 140$ cm $e_z = 5,25\%$, $I_1 = 334$ A, $z = 130$, $f = 50$ o zredukowanej szczeliny $\delta = 4,3$ cm otrzymujemy:

pg wzoru 16-go:

$$F_{uz} = \frac{1,63 \pi (333 \cdot 130)^2 140 \cdot 10^{-3}}{87 \cdot 5,25^2} \text{ kg} = 562000 \text{ kg},$$

pg wzoru M. Vidmar'a (23-go):

$$F_{uz} = 0,2 \frac{3000 \cdot 10^{-6}}{4,3 \cdot 50 \cdot 5,25} \text{ kg} = 532000 \text{ kg},$$

pg wzoru R. Richtera (34) przy $e_b : e_k = 1$ oraz $\left(1 + e^{-\frac{t}{T}} \right)^2 = 4$

$$F_{uz} = 3,25 \cdot 4 \cdot \frac{1000000 \cdot 100}{50 \cdot 5,25 \cdot 4,3} \text{ kg} = 1150000 \text{ kg}$$

pg wzoru 36-go:

$$F_{uz} = 575000 \text{ kg}$$

Dla transformatora 24 000 kVA o danych $e_z = 13\%$, $h = 180$ cm, $l_s = 260$ cm, $I_1 = 1270$ A $Z = 84$, $\delta = 15$ cm pę. wzoru 16-go otrzymamy:

$$F_{uz} = 498\,000 \text{ kg}$$

Przykłady wskazują, że niekiedy przy wielkich transformatorach siły mogą być mniejsze, niż przy średnich, jeśli napięcie zwarcia jest wielkie.

Przyjmując we wzorze Benischke'go (25), że odległość a jest zredukowaną szczeliną, co może nie być zupełnie ściśle, przekształcając ten wzór dla prądu udarowego zwarcia pę wzoru 3-go i przyjmując, że $K = 1$, otrzymamy:

$$F_{uz} = \frac{1,63 (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{h a e_z^2} \text{ kg} \dots (37)$$

Dla warunków transformatora 3 000 kVA, przyjmując, że $a = \delta = 4,3$ cm, otrzymamy:

$$F_{uz} = 41\,800 \text{ kg}$$

a dla warunków transformatora 24 000 kVA, przyjmując, że $a = \delta = 15$ cm, otrzymamy:

$$F_{uz} = 10\,550 \text{ kg}$$

W obu wypadkach otrzymaliśmy liczby πa razy mniejsze, niż pę wzoru 16-go. Przypuszczalnie jest to dlatego, że wzory Benischke'go są oparte na siłach odpychania między przewodami prostymi, określonych wzorem 7-ym, i nie uwzględniają wcale strumienia, objętego przewodami kołowymi zwojnic.

Siły w kierunku osi rdzeni.

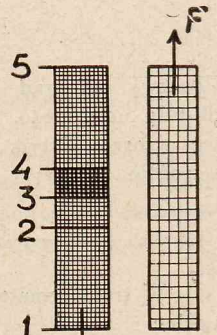
Nazwiemy te siły dla skrócenia „osiowymi” w odróżnieniu od „promieniowych”. W uzwojeniach walcowych siły osiowe osiągają pewne wielkości przy przesunięciu się jednego uzwojenia względem drugiego, co może nastąpić przy złym montażu lub przy transporcie i dlatego też należy po nadejściu na miejsce większych transformatorów sprawdzić położenie uzwojeń względem siebie. Niekiedy też po kilkuletniej pracy wskutek zużycia się materiałów izolacyjnych jedno z uzwojeń może osiąść. Zwarcie, nie

sób, że starają się powiększyć niesymetrię położenia uzwojeń.

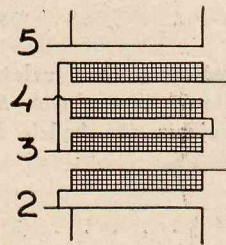
Niesymetria w układzie powstaje też przy przełączaniu na zaczepekach, jeśli zaczepek są wykonane na końcu uzwojeń, jak na rys. 3. Cokolwiek lepsze warunki otrzymuje się przy wykonaniu zaczepek w środku uzwojeń, lecz przy połączeniu na środkowy zaczepek 3-ci (rys. 4) powstaje też nierówne położenie w kierunku osiowym.

Zupełną symetrię otrzymuje się tylko przy wykonaniu zaczepek, jak pokazane jest na rys. 5. Jeśli nawet uzwojenia są zupełnie symetryczne, lecz jedno jest dłuższe, niż drugie, jak rys 7-my, to końce uzwojenia ab i cd są rozpychane z pewną siłą przy zwarciu w obu kierunkach. Przytem całe uzwojenie nie otrzymuje parcia, usiłującego je przesunąć, lecz końcowe zwojnice mogą być partę z wielką siłą.

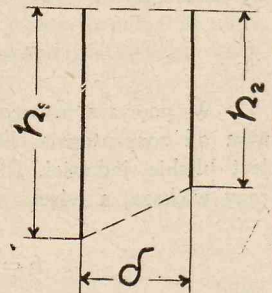
Przykład. Transformator 270 kVA, 3000/36 300 V o napięciu zwarcia $e_z = 4,4\%$ otrzymał zwarcie od pioruna po



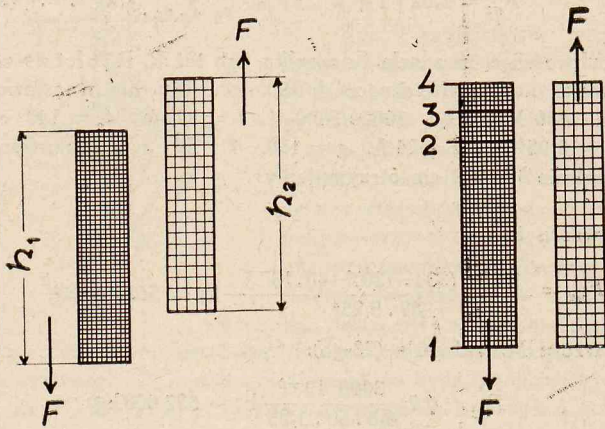
Rys. 4.



Rys. 5.

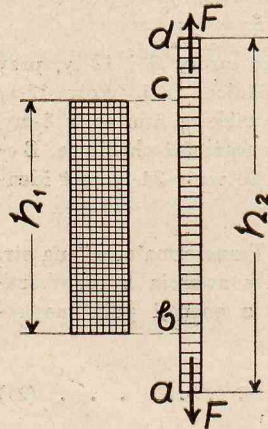


Rys. 6.

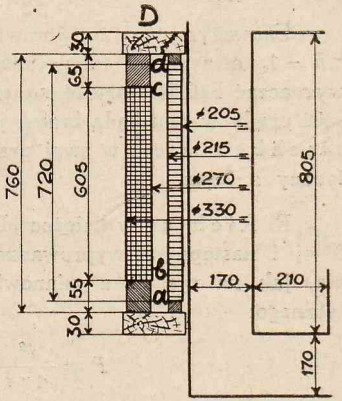


Rys. 2.

Rys. 3.



Rys. 7.



Rys. 8.

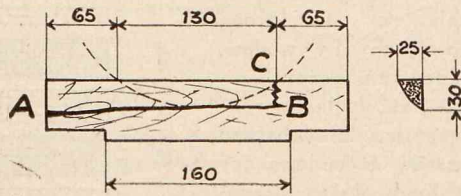
stronie 36 300 V; po zwarciu transformator pracował jeszcze około pół roku, dopiero po tym czasie został zbadany, gdyż zaczął dawać oznaki przebicia. Po rozmontowaniu stwierdzono złamanie górnej podkładki drewnianej buko-

czyniące transformatorowi żadnej szkody, może też niekiedy przesunąć uzwojenie tak, iż drugie, następane zwarcie może już wywołać większe siły osiowe. Dlatego też po zwarciu należy obowiązkowo dokładnie obejrzeć transformator i sprawdzić położenie uzwojeń. Rys. 2 przedstawia takie przesunięcie uzwojeń; siły osiowe działają w ten spo-

wej na skrajnej fazie. Podkładka ta została rozłupana i ścięta po linii A. B. C. (rys. 9) ⁴⁾. Rys. 8 daje wymiary uzwo-

⁴⁾ Rys. 9a i 9b przedstawiają zdjęcie złamanej podkładki drewnianej i uszkodzonego pierścienia z bakelizowanego papieru.

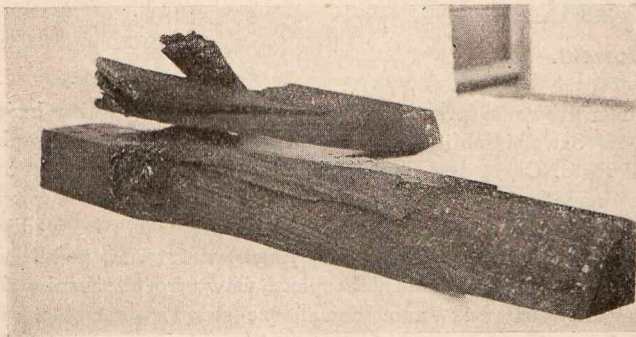
jeń. Część uzwojenia pierwotnego (3000 V) została wyrzucona ku górze. Drzewo podkładki było zdrowe, a popeknięcie wzdłuż mogło nastąpić z przesuszenia. Ścięcie jed-



Rys. 9.

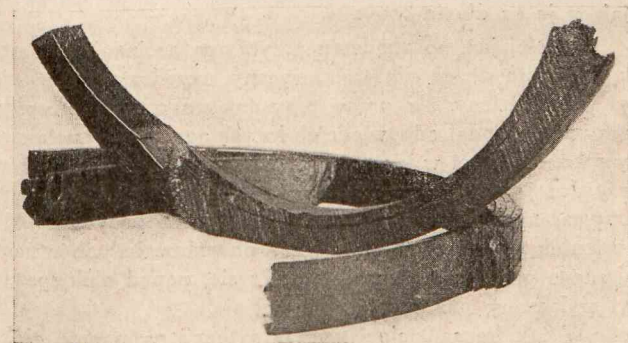
nakże na przekroju ok. 3,75 cm kw. mogła wykonać znaczną siłą, choć możliwe też było, że podkładka była już nadwyręzona przed zwarcie przy prasowaniu uzwojeń, co się zdarza i dlatego nie można zupełnie pewnie sądzić o siłach z uszkodzenia przy zwarcie.

Całkowita ilość zwojów uzwojenia 3000 V wynosiła $Z_1 = 276$ zwojów przy wysokości uzwojenia 720 mm, przekrój przewodów 10×2 mm, uzwojenie spiralne. Część wystająca u góry $cd = 65$ mm. Pozostałe podkładki, jak dolne, tak i obie podkładki drugiego uzwojenia skrajnego, były zdrowe i całe.



Rys. 9-a.

Półowa siły, wypierającej część cd uzwojenia, mogła działać na podkładkę, i z tej siły tylko półowa mogła dokonać ścięcia 3,75 cm kw drzewa bukowego, t. j. czwarta część siły osiowej uzwojenia powinna by dokonać deformacji, z którejbyśmy mogli obliczać tę siłę⁵⁾.



Rys. 9-b.

Nie można też przypuszczać, aby przy tak małym transformatorze udarowy prąd zwarcia osiągał swą największą wartość, podaną przez wzór 3-ci.

⁵⁾ Wytrzymałość drzewa na ścięcie, określona doświadczalnie, wynosiła 275 kg/cm² przy powolnym ścinaniu (ok. 30 sek). Nagłe ścięcie mogła wytworzyć siła 300 kg/cm², a więc siła = 1125 kg, co dałoby siłę osiową — 4500 kg.

R. Richter na str. 89-iej wspomnianej już książki podaje wzór pg. obliczeń Bodefeld'a, który w skróceniu przedstawia się jak następuje:

$$F_0 = 0,37 \varepsilon I g (\varepsilon^2 + C^2) F_{pr} \dots (38)$$

W powyższym F_0 — siła osiowa, F_{pr} — siła promieniowa:

$$C = \frac{\delta}{h}; \quad \varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \dots (39)$$

pg. rys. 6-go. Uzwojenia są tu przedstawione jako nieskończenie cienkie walce w odstępie zredukowanej szczeliny δ . Przy $\varepsilon \ll 0,1$ i $\varepsilon \gg C$ wzór 36-ty ma dawać pg. Richtera wartości o ok. 30% mniejsze od rzeczywistych.

Siły osiowe mogą być sprowadzone do bardzo małych wartości przez odpowiedni montaż transformatora, należy tylko pamiętać, że nietylko jest tu ważna symetria geometryczna, co symetria amperozwojów. Świadomość jednak przyczyn, wywołujących te siły, jest ważna, gdyż tylko wtedy można wykonać transformator, odporny na zwarcia.

Uzwojenia krążkowe.

W uzwojeniach krążkowych siły osiowe działają na dwie skrajne półkowe zwojnice przy równych ilościach amperozwojów grup oraz zwojnic. Grupę stanowi jedna zwojnica wysokonapięciowa, otoczona przez dwie półwki zwojnicy niskonapięciowej. Ilość grup oznaczmy przez q . Jeśli natomiast zwojnice półkowe będziemy liczyli za oddzielne zwojnice, to ilość zwojnic jednego uzwojenia oznaczmy przez m . Na rys. 10 mamy $q = 3$ i $m = 6$. Siły osiowe, powstające tu przy zwarcie w całym uzwojeniu, wzajemnie się znoszą, tylko więc dwie skrajne zwojnice są odpychane. Jeśli przez h oznaczmy szerokość wieńca zwojnicy, to podobnie do wzoru 12-go średnia wartość natężenia pola będzie:

$$H = \frac{0,4 \pi I z \sqrt{2}}{m 2 h_1} \dots (40)$$

Siła więc osiowa na skrajną zwojnicę podobnie do wzoru 13-go określi się jako:

$$F_0 = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot (I z)^2 I_s}{10 h_1 m^2} \text{ dyn} \dots (41)$$

Jeśli zamiast prądu I podstawimy ustalony prąd zwarcia, to średnia wartość siły, którąbyśmy mierzyli przy próbach odpowiednio do wzoru 15-go, wyniesie:

$$F_0 = \frac{0,407 \cdot \pi \cdot (I_1 z)^2 I_s \cdot 10^{-3}}{2 h_1 e_z^2 m^2} \dots (42)$$

Udarowy zaś prąd zwarcia może dać siłę:

$$F_{0ur} = \frac{1,63 \pi (I_1 z)^2 I_s \cdot 10^{-3}}{h_1 e_z^2 m^2} \text{ kg} \dots (43)$$

M. Vidmar na str. 155-iej wspomnianej wyżej książki daje dla transformatorów trójfazowych wzór na tę siłę:

$$F_{0ur} = \frac{P \cdot 10^{-6}}{m \delta f e_z} \dots (44)$$

Wzory 43 i 44-ty dają wartości zgodne. Wzór 44-ty otrzymamy z wzoru 41-go, jak wzór 23-ci otrzymamy z wzoru 13-go, pamiętając, że w uzwojeniu krążkowym oporność urojona zwarcia:

$$X = \frac{8 f z^2 \delta I_s \cdot 10^{-8}}{m h} \dots (45)$$

R. Richter na str. 86-ej swej książki o transformato-
rach podaje dla uzwojeń krążkowych wzór:

$$F_{0ur} = 0,032 \frac{I_s}{q^2 h_1} \left(\frac{z i_{uz}}{1000} \right)^2 \text{ kg} \quad \dots (46)$$

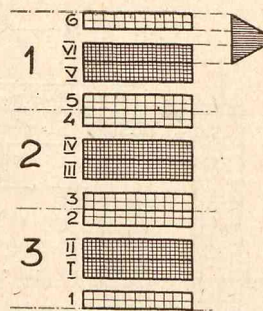
dający wartość *dwukrotnie* większą, niż wzór 41-szy, a więc i wyprowadzone z tegoż wzoru 43 i 44-ty. R. Richter przy wyprowadzaniu wzoru brał oporność urojoną X lub magnetyczną energję nie m razy mniejszą, niż całość, lecz q razy mniejszą, t. j. nie pola, zawartego między skrajnymi zwojniami VI i 6 na rys. 10, lecz magnetyczną energję grupy, składającej się z dwóch zwojnic wysokonapięciowych i dwóch niskonapięciowych, t. j. zwojnic V i XI oraz 5 i 6-ej na rys. 10.

Niema zapewne żadnej podstawy do określania siły oddziaływania na zwojnicę 6-tą z dwóch obwodów magnetycznych między ostatnimi i przedostatnimi zwojniami.

Dotknąłem powyżej kilku kwestyj, związanych z za-

gadnieniem sił przy zwarciu, lecz nie dałem odpowiedzi, do wywodów którego autora sam się skłaniam, a to dlatego, że poruszone tematy wymagają jeszcze dalszego uzasadnienia, możliwego do przeprowadzenia czy to drogą analizy teoretycznych wywodów, czy też badań praktycznych.

Rozbieżność poglądów różnych poważnych autorów bardzo popiera zasadę, że budowa czy też nawet dobra obsługa transformatorów może się opierać na naszych własnych rozważaniach lub badaniach. Nie możemy całkowicie polegać na tem, że wszystkie kwestje rozstrzygną nam licencje lub jakieś powagi zagraniczne. Życie zmusza nas do takiej samej pracy, jak elektryków innych narodów.



Rys. 10.

WARUNKI PRACY MASZYN ELEKTRYCZNYCH NA OKRĘTACH.

Inż. A. Sadowski.

Streszczenie. Stopniowy rozwój elektryfikacji okrętów. Rodzaj prądu, stosowanego na okrętach. Napięcie. Uzwojenia maszyn elektrycznych na okrętach. Ogólne warunki pracy okrętowych maszyn elektrycznych w odniesieniu do wysokiej temperatury pomieszczeń maszynowych, braku miejsca, warunku małej wagi, pracy przy przechyłach okrętu. Sprawa izolacji maszyn elektrycznych na okręcie. Zakres prób odbiorczych. Widoki rozwoju produkcji elektrycznych maszyn okrętowych.

Jeszcze 20—25 lat temu na okręcie w dziale maszynowym i przy urządzeniach okrętowych niepodzielnie panował mechanik ze swemi kotłami, turbinami, maszynami parowymi i całą siecią rur i zaworów, doprowadzających i odprowadzających parę.

Wszystkie urządzenia pomocnicze, jako to: maszyna sterowa, dźwigiarka kotwiczna, dźwigi towarowe, pompy najróżnorodniejszych przeznaczeń, sprężarki, chłodnie — wreszcie ogrzewanie okrętu były poruszane i zasilane parą.

Dział elektryczny natomiast był bardzo skromny, nie śmiało stawiał dopiero swe pierwsze kroki i ograniczał się przeważnie do oświetlenia wnętrza i pokładu okrętu, do świateł nawigacyjnych i reflektorów, wentylacji pomieszczeń i najprostszej sygnalizacji okrętowej; obok urządzeń elektrycznych znajdowały się jednak zastępcze urządzenia mechaniczne, jako rezerwa zawsze niepewnej elektryczności, a więc: sygnalizacja mechaniczna, tuby głosowe, przewietrzniki rurowe, lampy naftowe do świateł nawigacyjnych, jak również w kotłowniach, maszynowniach i w najważniejszych dla ruchu okrętu pomieszczeniach.

Wynikało to z małego zaufania do urządzeń elektrycznych. Dlatego też pierwsze próby stosowania elektryczności na okręcie szły opornie, towarzyszyły im nieraz wielkie trudności, a niekiedy nawet kończyły się one zupełnym niepowodzeniem.

Aby to uwypuklić, przytoczę wypadek, który wydarzył się z okrętem o wyporności około 10 000 tonn podczas

manewrowania przy silnej fali i sztormie w pobliżu brzegów Szwecji, obfitujących w małe, lecz liczne wysepki skaliste. Okręt ten był zaopatrzony w maszynę sterową z napędem elektrycznym. W pewnej chwili kapitan okrętu ujrzał, że okręt zamiast posuwać się według swego kursu pędzony jest przez wiatr na najbliższą wysepkę i grozi mu niebezpieczeństwo roztrzaskania się o skały. Sternik zameldował, że ster się zaciął i nie działa. Trzeba przeżyć te chwile, aby zrozumieć całą groźbę sytuacji, gdy masa 10 000 t pędzi z wzrastającą szybkością wprost na skały wysepki! Nie było chwili do stracenia. Padł rozkaz odłączenia zbędnego napędu elektrycznego, a kilkunastu ludzi załogi, walcząc z żywiołem musiało przy największym wysiłku mięśni postawić ster na odpowiedni kurs. Dzięki przytomności umysłu kapitana i wysiłkom załogi okręt w ostatniej chwili uniknął katastrofy, ale nad sterowaniem elektrycznym zawisł wyrok potępiający je na długie czasy.

Później już, po zbadaniu przyczyny zacinania się steru, wyjaśniło się, że silnik elektryczny, napędzający ster, nie był przewidziany dla pracy przy tak znacznych przechyłach i nie posiadał odpowiednich łożysk oporowych; ustawiony z konieczności w kierunku poprzecznym na rufie okrętu, przy dużej fali i silnem kołysaniu się bocznem musiał wykonywać swą pracę przy przechyłach, dochodzących do 45°, i wskutek tego zaciął się, to zaś powodowało pobór nadmiernego prądu: bezpieczniki topiły się, napęd elektryczny był wyłączany i silnik zatrzymywał się.

W tak beznadziejnej prawie sytuacji na pomoc elektryfikacji okrętu przyszedł silnik dyzelski.

Bezsporne jego zalety w porównaniu do maszyn lub turbin parowych w stosunku do wagi całkowitego urządzenia napędowego, a szczególnie do wielkości niezbędnego pomieszczenia na okręcie, większa sprawność cieplna i możność zmagazynowania dużej ilości paliwa płynnego, wystarczającego na daleko większe rejsy, niż przy węglu bunkrowym, spowodowały, że kotły parowe, a z niemi i maszyny parowe lub turbiny, zaczęły znikać z okrętów,

zastępowane przez silniki dyzłowskie. Zjawisko to trwa nadal.

Przytoczę tu dla przykładu nowoczesne krążowniki niemieckie A, B i C o wyporności po 10 000 t, oraz najnowsze zamówienia naszej marynarki handlowej na dwa transatlantyki po 15 000 t każdy dla linii okrętowej Gdynia — Ameryka, na których jest przewidziany napęd dyzłowski.

Z chwilą usunięcia z okrętu kotłów parowych weszła na porządek dzienny sprawa napędu i zasilania wszystkich pomocniczych urządzeń okrętowych, a również i ogrzewania już nie parą, a w inny sposób.

Rozpoczęła się walka poglądów, zdania się ścierały, a tymczasem elektrycy zaczęli skrupulatnie badać warunki pracy urządzeń elektrycznych na okręcie, ich wymagania oraz warunki zapewnienia im tak niezbędnej pewności ruchu.

Brak zaufania i niechęć do urządzeń elektrycznych były bardzo znaczne i, niestety, trzeba przyznać, że aż do chwili obecnej nie zostały jeszcze one całkowicie zwalczone.

Widzimy więc, jak pomocnicze urządzenia parowe zostają zastępowane z początku przez napędy pneumatyczne przy pomocy sprężonego powietrza, potem zjawiają się urządzenia elektro-pneumatyczne lub elektro-hydrauliczne, które w końcu ustępują miejsca urządzeniom czysto elektrycznym.

Jeszcze i teraz można obserwować, że na niektórych okrętach obok silników dyzłowskich znajdują się kotły parowe dla poruszania parą pomocniczych urządzeń okrętowych i zasilania ogrzewania parowego, lecz są to już przeżytki i zjawiska takie będziemy obserwować coraz rzadziej, aż znikną one zupełnie.

Już obecnie można śmiało twierdzić, że elektryfikacja okrętu wyszła z tych zmagania zwycięsko i, choć trwają jeszcze niewielkie utarczki i poglądy, to jednak obserwujemy na całym froncie cofanie się urządzeń mechanicznych, miejsce ich zaś zajmują zmodernizowane urządzenia elektryczne.

Wdzierają się one bezapelacyjnie do wszystkich bez wyjątku działów na okręcie, — szczególnie daje się to zaobserwować na okrętach wojennych. Jest to więc dowodem, że urządzenia elektryczne mają swoje bezsporne zalety: mniejszą wagę, szybkość i łatwość natychmiastowego uruchomienia, możliwość zautomatyzowania niezbędnych manewrów, synchronizację ruchu całego szeregu obiektów, wreszcie — niewielką ilość personelu do obsługi i konserwacji, naprawy daleko rzadsze i mniej kosztowne, niż przy urządzeniach mechanicznych.

Rodzaj prądu.

Od zarania stosowania elektryczności na okrętach aż do chwili obecnej stosuje się prawie wyłącznie prąd stały.

W tej sprawie, według mego zdania, panuje pewien konserwatyzm. Konstruktorzy, przystosowawszy swoje wyroby do prądu stałego, niechętnie okiem patrzą na wszelkie nowatorstwa w tej dziedzinie, o ile im to nie wróży bezpośrednich i niezaprzeczalnych korzyści.

W wyjątkowych wypadkach spotykamy na okrętach zastosowanie prądu zmiennego, gdy w grę wchodzi bardzo znaczne moce, jak na przykład na wielkich motorowcach dyzłowskich przy elektrycznym napędzie śrub, poruszających okręt, lub tam, gdzie niezbędny jest synchroniczny ruch dwóch lub kilku silników elektrycznych, np. przy przekaznikach rozkazów i sygnałów rozmaitego przeznaczenia, a na

wojennych okrętach przy scentralizowanym poruszaniu dział, wież armatnich, aparatów torpedowych i t. p.

W tych wypadkach prąd stały nie daje lub daje wyniki o wiele gorsze. Przy dużych mocach natężenie prądu stałego jest bardzo znaczne wobec niskiego napięcia, z czego wynikają ogromne przekroje przewodów i niedopuszczalna w warunkach okrętowych ich waga. Uzyskanie dokładnego synchronicznego ruchu kilku urządzeń przy pomocy silników prądu stałego jest nadzwyczaj trudne i wymaga kosztownych urządzeń.

Prąd zmienny, konieczny przy takich urządzeniach, jest albo wytwarzany dodatkowo w centrali elektrycznej, albo przy zastosowaniu przetwornic czerpany z ogólnej sieci okrętowej prądu stałego.

Zalety stosowania prądu stałego na okrętach stanowią:

- 1) przejrzystość i większa prostota sieci okrętowych i rozdzielni,
- 2) łatwa praca równoległa zespołów bez potrzeby synchronizacji,
- 3) największa zaleta: łatwość dowolnej, ścisłej i ekonomicznej regulacji obrotów silników prądu stałego,
- 4) możliwość otrzymania znacznych momentów rozruchowych przy poruszaniu wielkich mas.

Wadę prądu stałego, poza już przytoczonymi, stanowi: komutator i szczotki węglowe, co powoduje konieczność utrzymywania stałej i fachowej obsługi oraz dokonywania perjodycznych napraw i przetaczania komutatora, co zmusza okręty do wożenia niezbędnego zapasu poszczególnych części wymiennych, a nawet całych tworników i utrudnia w znacznym stopniu wykonanie należytej izolacji maszyny, odpornej na warunki morskie.

Gdyby w sposób ekonomiczny i prosty udało się rozwiązać regulację obrotów bezkomutatorowych silników prądu zmiennego, trudności zastosowania prądu zmiennego na okręcie, jak mały $\cos \varphi$ przy znacznej ilości drobnych silników, lub nierównomierne obciążenie faz przy oświetleniu pomieszczeń okrętowych, — dałyby się łatwo usunąć i wówczas prąd zmienny wobec jego wielkich zalet zapanowałby niepodzielnie na okrętach.

Już nawet w chwili obecnej można się spotkać z poglądami, że należy budować na okrętach instalację prądu zmiennego, a w wypadkach konieczności stosowania prądu stałego dla uzyskania należytej regulacji obrotów lub bardzo znacznych momentów rozruchowych — przetwarzać prąd zmienny na stały.

Wysokość napięcia.

Stosowanie na okręcie możliwie niskich napięć uwarunkowane jest pewnymi względami historycznymi oraz zupełnie nieuzasadnioną bojaźnią, że wobec dużej przewodności żelaznego okrętu załódze grozi niebezpieczeństwo życia w razie zwarcia z metalowym korpusem jakiegokolwiek części instalacji elektrycznej, będącej pod napięciem.

Mniemanie to jest niesłuszne, gdyż wprawdzie kadłub okrętu jest dobrym przewodnikiem elektryczności, ale zanurzony on jest w wodzie morskiej — również dobrym przewodnikiem, posiadającym potencjał ziemi, czyli zero.

Zwarcia instalacji elektrycznej z kadłubem są na okręcie na porządku dziennym, lecz o porażeniach załogi prądem elektrycznym nic nie słychać; nawet przy dotknięciu się kadłuba podczas zwarcia nie będziemy odczuwali napięcia sieci i to bez różnicy, czy będzie ono 40, 110 lub 220 woltów, a nawet i więcej.

Pomimo to jednak początkowo napięcia, jakie stosowano na okrętach, wahały się około 45 woltów, co głównie było uwarunkowane wymaganiami łuku elektrycznego przy reflektorach okrętowych. Z biegiem czasu jednak zaczęto stosować napięcia 75 — 80 woltów, które okazały się dogodniejsze dla utrzymania stateczności łuku w reflektorach.

Dopóki energję elektryczną stosowano jedynie do oświetlenia i reflektorów, napięcie to było wystarczające. W miarę jednak wzrostu zastosowania elektryczności na okręcie i do innych celów, jak napęd silników mechanizmów pomocniczych i t. p., przekroje przewodów stawały się nadmierne, szczególnie w stosunku do ich wagi; powodowało to konieczność zwiększenia napięcia sieci okrętowej do wielkości 100 woltów. I tak, Rosjanie i Amerykanie zaczęli stosować napięcie 105 woltów, natomiast Niemcy i Francuzi, a za nimi i polska marynarka — napięcie 110 woltów, względnie nawet 120 woltów.

Dziś już jest jasne, że napięcie to długo się nie utrzyma, gdyż pobór energii elektrycznej na okręcie szybko wzrasta i natężenie prądu w sieciach okrętowych często osiąga 500 — 1 000 amperów, a nawet więcej. Z tego wynika potrzeba dalszego zwiększania napięcia aż do 220 woltów. Nawet Włosi z powodzeniem stosują obecnie już te napięcia na okrętach wojennych i handlowych, a za nimi w niedługim czasie pójdą z konieczności i inne marynarki.

Należy tu jednak zauważyć, że zwiększenie napięcia sieci okrętowej wymaga również zwiększenia wytrzymałości izolacji przewodów i kabli oraz staranniejszego montażu całej instalacji elektrycznej.

Jak wskazuje praktyka, większe lub mniejsze zwarcia z kadłubem są najczęściej spowodowane przez braki montażowe i niedość dokładne zakończenie lub zabezpieczenie końcówek przewodów i kabli okrętowych, które wcześniej czy później zaczynają dotykać ścianek armatury; bywa to również z powodu starzenia się izolacji przewodów wskutek zabójczych dla niej warunków okrętowych.

Dotychczas przewody i kable są izolowane przeważnie gumą, gdyż papier i inne materiały izolacyjne nie dały lepszych wyników. Gumę wybiera się o wysokiej zawartości czystego kauczuku (do 50%), lecz mimo to traci ona własności izolacyjne pod wpływem szczególnie niekorzystnych warunków okrętowych i ulega z czasem starzeniu. Niekiedy kable z braku innego miejsca znajdują się w pobliżu gorących rur parowych; prócz tego temperatura pomieszczeń okrętowych bywa dość znaczna, wreszcie duża zawartość ozonu w powietrzu morskim oraz soli wraz z wilgocią stwarzają warunki, w których guma starzeje się daleko szybciej, niż na lądzie.

Do niedawna jeszcze, aby uchronić gumę od destrukcyjnego działania powietrza morskiego, powlekano przewód koszulką ołowianą, a końce kabli uszczelniano w dławnicach. Lecz szybki i wszechstronny rozwój elektryfikacji na okręcie właśnie stoi temu na przeszkodzie, gdyż coraz większa ilość i coraz większe i dłuższe kable, których ogólna długość osiąga nieraz paruset kilometrów, stwarza nadmierny ciężar ołowiu, wyrażający się dziesiątkami tonn. Ponieważ zaś każda tona urządzeń okrętowych powiększa ogólny tonaż okrętu w przybliżeniu $2\frac{1}{2}$ razy, widzimy, że zabezpieczenie kabli ołowiem staje się środkiem bardzo kosztownym i ze względów ekonomicznych konstruktorzy zrzekają się stosowania ołowiu, godząc się z tem, że z czasem trzeba będzie wymieniać narażone na zniszczenie części przewodów elektrycznych.

Te właśnie okoliczności stanowią przeszkodę stosowania coraz to wyższych napięć, jak tego wymagają zwiększa-

jące się moce urządzeń elektrycznych; napięcie 220 woltów normalnej sieci okrętowej w obecnych warunkach można przyjąć jako maksymalne.

Mamy przykłady stosowania nawet przy prądzie zmiennym napięć 1 000, a nawet 2 000 woltów, lecz są to przeważnie krótkie odcinki przewodów specjalnego przeznaczenia, jak to ma miejsce przy dużych silnikach elektrycznych, napędzających śruby bardzo wielkich okrętów.

Rodzaj uzwojeń maszyn elektrycznych.

Przeważna większość maszyn elektrycznych na okręcie posiada uzwojenie magnesu boczniko-szeregowe. Wynika to z powodów następujących: od prądnicy wymaga się, aby napięcie jej na zaciskach było stałe i niezależne od wielkości obciążenia, a nawet, aby napięcie to wzrastało wraz z obciążeniem i przewyższało o kilka procentów normalne napięcie, gdy maszyna jest całkowicie obciążona. Obciążenie bowiem na okręcie jest nadzwyczaj zmienne; zdarzają się szybkie i gwałtowne zapotrzebowania prądu, które najczęściej trwają niedługo. Stwarza to warunki, uniemożliwiające utrzymanie stałego napięcia w sieci okrętowej, i wymaga stałej i bardzo czujnej obsługi regulatora w wypadku prądnicy bocznikowej. Stosuje się więc te prądnice z dodatkowym uzwojeniem szeregowym. Praca równoległa takich prądnic wymaga zabezpieczeń specjalnych w postaci trzeciego przewodu wyrównawczego, łączącego między sobą równoległe uzwojenia szeregowie tych maszyn.

Przy silnikach uzwojenie szeregowie stosuje się najczęściej dla zwiększenia momentu rozruchowego silnika, co jest konieczne przy poruszaniu mas, celem nadania im większego przyspieszenia.

Stosunkowo rzadziej stosuje się uzwojenie szeregowo-różnicowe w celu uzyskania zupełnie stałych obrotów, niezależnych od obciążenia, jak to ma miejsce przy silnikach, napędzających maszyny sterowe.

Silniki, mające bieg w obu kierunkach, są zwykle zaopatrzone w bieguny pomocnicze, aby nie trzeba było przesuwać szczotek przy zmianie kierunku biegu.

Ogólne warunki pracy.

Temperatura. Ogólnie biorąc, warunki pracy maszyn elektrycznych na okręcie są nadzwyczaj trudne. Składa się na to przede wszystkim wysoka temperatura niektórych pomieszczeń okrętowych, jak: kotłowni, maszynowni — szczególnie przy silnikach spalinowych i t. p., gdzie temperatura w ciepłej porze roku może osiągnąć 55°C , a nawet 60° . Z tego wynika, że przyrost temperatury w uzwojeniach maszyn, które są zmuszone pracować w takich pomieszczeniach, nie powinien przekraczać 45°C dla izolacji klasy A, czyli przesyconej bawełny. Ponieważ w maszynach lądowych z taką izolacją dopuszczalny jest przyrost temperatury do 60°C , widzimy, że pod tym względem maszyny okrętowe wyłamują się z ogólnie przyjętych norm i muszą być specjalnie obliczone i budowane.

Aby ułatwić chłodzenie, prawie wszystkie maszyny elektryczne są zaopatrzone w silne przewietrzanie.

Brak miejsca. Stały brak miejsca i przestrzeni na okręcie, gdzie wszystkie urządzenia montuje się w sposób najekonomiczniejszy co do przestrzeni, gdzie każdy cm^2 podłogi lub cm^3 przestrzeni jest brany pod uwagę i wykorzystany, — wszystko to stwarza, że obok maszyny lub nad nią ustawia się inne urządzenia i dostęp do maszyny jest conajmniej utrudniony, demontaż zaś w celach konserwacji lub oczyszczenia niekiedy wprost niemożliwy lub wymaga skom-

plikowanej rozbiórki urządzeń sąsiednich; zmusza to do nadania maszynom elektrycznym specjalnej budowy, ułatwiającej oględziny bez potrzeby demontowania.

Te właśnie względy powodują, że maszyny elektryczne dla okrętu buduje się przeważnie ze stojanem podzielonym i złożonym z 2-ch części, z których górna po odkręceniu odpowiednich śrub i sworzni może być zsunięta naprzód lub wtył, aby w ten sposób ułatwić dostęp do wnętrza maszyny i dać możliwość skutecznie w miarę potrzeby wymianę cewek magnetycznych lub całego twornika.

Ulepszenia te stosuje się prawie zawsze do maszyn, począwszy od 400 kg wagi.

Waga. Jak wiadomo, waga urządzeń okrętowych winna być możliwie jaknajmniejsza pod warunkiem jednak dostatecznej wytrzymałości mechanicznej. Każda tona, niepotrzebnie wożona przez okręt, pomijając już, że zwiększa jego wymiary i tonnaż, powoduje jeszcze konieczność zwiększenia mocy głównych maszyn napędowych dla przewyższenia siły bezwładności i utrzymania odpowiedniej szybkości.

To też konstruktorzy przy maszynach elektrycznych okrętowych nie stosują prawie stojanów żeliwnych, zastępując je kosztowniejszymi, lecz o wiele lżejszymi odlewami stalowymi. Pozostałe części maszyn, które nie są narażone na naprężenia mechaniczne, jak np. pokrywy, zasłony i t. p., wykonywa się z blachy żelaznej lub stalowej dostatecznej grubości.

Tutaj jestem zmuszony zauważyć, że najnowsze konstrukcje maszyn, budowanych zapomocą spawania z żelaza profilowego, miałyby szerokie zastosowanie; niestety, dotychczas maszyny takie spotyka się nadzwyczaj rzadko.

Przechył.

Praca maszyn elektrycznych na okręcie różni się tem od lądowych, że, będąc ustawione na okręcie, który podczas wiatru kołysze się na falach we wszystkich możliwych kierunkach, winny spełniać swe zadania w tych warunkach z dostateczną dokładnością i pewnością ruchu poszczególnych maszyn.

Przechyły okrętu są rozmaite w zależności od miejsca ustawienia maszyny: czy to na dziobie lub na rufie, czy w środkowej części okrętu. Wielka różnica przechyłu powodowana jest również tem, czy maszyna ustawiona jest wzdłuż osi podłużnej, czy też poprzecznej okrętu.

Największe odchylenia od pozycji poziomej posiadają maszyny, ustawione w poprzek okrętu na jego dziobie lub rufie. Odchylenie to łatwo dosięgać może 45°. Do takich właśnie maszyn należy silnik napędowy maszyny sterowej, który zapomocą ślimaka wprawia w ruch sektor sterowy i winien być wskutek tego ustawiony w poprzek okrętu i na jego rufie.

Wychylenia w kierunku podłużnym okrętu są o wiele mniejsze i sięgają zaledwie 15°.

Wobec tego wszystkie maszyny elektryczne, których charakter pracy na to zezwala, z zasady ustawia się, o ile to jest możliwe, tak, że linia wału jest równoległa do długości osi okrętu.

Przy znacznych odchyleniach linii wałów od pozycji poziomej, łożyska maszyn okrętowych są anormalnie obciążone i winny być specjalnie do tego przystosowane.

A więc przedewszystkiem muszą to być łożyska oporowe o dostatecznie dużej powierzchni panewki, aby utrudnić osiowy ruch twornika; przy dużych maszynach wykonuje się je w postaci grzebieni, aby uniemożliwić przesuwanie się twornika w kierunku przechyłu, co może wprowadzić zaburzenia elektryczne w maszynie.

Pozatem podczas przechyłu smar nie powinien wyciekać ze smarownic i panewek; powoduje to konieczność

uszczelnienia panewek z obu stron zapomocą specjalnych uszczelnień kształtu trapezoidalnego, niepozwalającego smarowi spływać wzdłuż wału. Smarownice winny mieć specjalną konstrukcję.

Isolacja.

Jednym z najważniejszych i przytem najtrudniejszych warunków należytej pracy maszyn elektrycznych na okręcie jest właściwie dobrana i wykonana izolacja uzwojeń elektrycznych tych maszyn. Warunki, w jakich maszyny elektryczne zmuszone są pracować na okręcie, są nadzwyczaj trudne i sprawa należytego izolowania ich uzwojeń nie jest jeszcze całkowicie i bez zastrzeżeń rozwiązana.

Pod tym względem najbardziej charakterystyczne i najgorsze są warunki pracy na łodziach podwodnych. Tam maszyny elektryczne z natury rzeczy pracują w pomieszczeniach zamkniętych i niewentylowanych. Temperatura tych pomieszczeń wobec obecności organizmów ludzkich oraz znajdujących się w ruchu urządzeń napędowych i pomocniczych jest większa, niż otaczającej wody, to też na ścianach żelaznych korpusu łodzi podwodnej następuje skraplanie się pary wodnej, znajdującej się wewnątrz tych pomieszczeń, przy zetknięciu z zimnymi ścianami łodzi, chłodzonemi przez wodę morską.

Wilgoć w postaci kropeł wody zjawia się na wszystkich częściach metalowych, nawet wewnątrz tych maszyn i osiada nawet na uzwojeniach elektrycznych.

Pozatem obecność organizmów żyjących, zamkniętych przez kilkanaście godzin w stosunkowo niewielkich pomieszczeniach, powoduje przesiąknięcie całej atmosfery wydzielniami tych organizmów, zawierających rozmaite kwasy organiczne i substancje gryzące.

Właśnie zatrucie atmosfery wewnątrz łodzi podwodnej przez organiczne wydzielinę, nie zaś brak tlenu do oddychania, którego zapas w butlach mógłby być dostateczny, stawia granicę przebywaniu istot żyjących wewnątrz łodzi do pewnego ograniczonego okresu czasu.

Pozatem jeszcze na łodzi znajdują się potężne baterie akumulatorów ołowianych, które, chociaż zamykane są w specjalnych pomieszczeniach, to jednak podczas niezbędnych oględzin część wyziewów kwasowych przedostaje się i do pozostałych przedziałów łodzi i razem z wymienionymi wydzielniami organizmów niszczy izolację uzwojeń maszyn.

Jak wskazuje praktyka, po pewnym czasie uzwojenia pokrywają się rodzajem śluzu, zmniejszającego się lub zwiększającego w zależności od warunków pracy łodzi. Śluz ten powoli, ale systematycznie atakuje substancje izolacyjne uzwojeń i przewodów łączących w maszynach elektrycznych; w zależności od oporności tej izolacji na działanie śluzu mamy lepszą lub gorszą pracę maszyn elektrycznych.

Zdawałoby się na pierwszy rzut oka, że maszyny elektryczne na łodziach podwodnych winny być hermetycznie zamknięte, aby należycie zabezpieczyć ich uzwojenia od niszczącego działania wilgoci i żrących substancji atmosfery łodzi. Praktyka jednak zadała kłam temu twierdzeniu. Idealnie hermetycznie zamkniętych maszyn wykonać prawie niepodobna. Substancje, niszczące izolację, przenikają przez łożyska, podczas oględzin, dzięki wewnętrznemu skraplaniu się wilgoci, gromadzą się stopniowo wewnątrz maszyny i w końcu niszczą izolację. Lepszym środkiem zabezpieczającym okazała się intensywna wentylacja wnętrza maszyny, czy to zapomocą specjalnego wentylatora, umieszczonego nad maszyną, czy też zapomocą wentylatora, osadzonego wprost na wale przy obecności kanałów powietrznych wejściowych i wyjściowych, odpowiednio jednak zabezpieczonych od spadających kropeł skraplającej się pary wodnej.

Nie o wiele lepsze są warunki pracy maszyn elektrycznych na pokładzie okrętów. Wprawdzie żrących wydzielin organicznych tam niema, ale mamy do czynienia ze słońcem powietrzem morskim, przesyconem ozonem.

Natomiast podczas sztormów, połączonych z deszczem, maszyny te są narażone na działanie strumieni wody, uderzających w nie pod rozmaitemi kątami z wielką siłą, oraz zalewane falami wody morskiej, przewalającej się przez pokład okrętu.

Tutaj wentylacja oczywiście nic nie pomoże, musimy maszyny zamykać możliwie jaknajszelniej i po okresie złej niepogody suszyć je na otwartym powietrzu lub przy użyciu suszarki elektrycznej strugą gorącego powietrza.

Ciężkie są również warunki pracy maszyn elektrycznych w zenzach (spód okrętu) okrętowych, np. pomp zenzowych w atmosferze zamkniętej i stale przesyconej wilgocią.

Lepsze bez porównania są warunki pracy maszyn, które się znajdują w wyższych przedziałach okrętowych, pomieszczeniach mieszkalnych i maszynowych.

Te maszyny nie posiadają zasadniczo korpusów hermeticznie zamkniętych, lecz są jedynie osłonięte przed kroplami spadającej wody, bryzgami oliwy lub zawsze możliwymi strugami pary lub wody. W tej kategorii maszyn spotykamy nawet maszyny o charakterze pół-otwartych.

Z tego krótkiego przeglądu warunków pracy maszyn na okręcie wynika, że izolacja ich uzwojeń winna być wykonana zupełnie inaczej, niż dla maszyn lądowych i musi być ściśle dostosowana do tych specjalnych warunków, w jakich maszyny okrętowe muszą pracować.

W tej dziedzinie możemy spotkać się z kilkoma rozmaitemi poglądami i sposobami wykonania tej izolacji; każdy z nich z mniejszym lub większym powodzeniem dąży do rozwiązania tej trudnej kwestji.

Wspomnę przedewszystkiem o pokrywaniu całych uzwojeń i tworników szklistą powłoką płynnego bakelitu lub lakierów celonowych z pozostawieniem włóknistej izolacji na przewodach.

Metoda ta, dość szeroko stosowana, posiada bezwzględnie swoje dobre strony, gdyż chroni, o ile jest dobrze wykonana i nie posiada pęknięć, uzwojenia wewnętrzne maszyny od ujemnych czynników atmosfery morskiej. Posiada również i wady, mianowicie: stanowi pewną przeszkodę dla łatwego wypromieniowania ciepła z uzwojeń, wskutek czego uzwojenia silnie się rozgrzewają i muszą posiadać specjalne kanały wentylacyjne; pozatem przy znacznych zmianach temperatury mogą powstać pęknięcia, gdyż powłoka ta nie jest dostatecznie elastyczna, a wówczas niema już środków naprawy i cały twornik lub uzwojenie należy poddać ponownemu przewinięciu i zabakelizowaniu.

Drugi sposób polega na wielokrotnym przesycaaniu uzwojeń bardzo płynnymi lakierami, posiadającymi wybitne własności elastyczne, czyli niepękającymi pod wpływem rozszerzania się uzwojeń wraz ze wzrostem temperatury. Sposób ten powinien dawać rezultaty zadowalające pod warunkiem, że lakier ten jest odporny na działanie czynników morskich.

W tym wypadku naprawa uszkodzonych uzwojeń jest bez porównania łatwiejsza i mniej kosztowna.

Wreszcie trzeci sposób polega na zastosowaniu odpornej izolacji; na samych przewodach i uzwojeniach, — izolacji przeważnie pochodzenia mineralnego lub też organicznego, jak: mika, mikanit, mika-jedwab, specjalne rodzaje papieru i ich pochodne i t. p., silnie sprasowanej i wreszcie przesyconemu' łałości olejami organicznymi i lakierem izolacyjnym.

Ten jednak rodzaj izolacji jest nadzwyczaj kosztowny i nie zawsze może znaleźć swoje usprawiedliwienie w zależności od przeznaczenia i rodzaju pracy, danej maszyny elektrycznej na okręcie.

Odbiór i próby.

Wobec tak odmiennych, jak widzimy z powyższego, warunków pracy, którym winny odpowiadać maszyny elektryczne okrętowe, zakres warunków odbioru i prób wykonywanych z niemi jest inny, niż dla maszyn lądowych.

Poza stwierdzeniem, że poszczególne elementy budowy odpowiadają podstawowym warunkom, jak: waga całkowitej maszyny, podzielność stojana, rodzaj okapturzenia, solidne umocowanie szczotek i oprawy szczotkowej, należyta wentylacja i odpowiednia budowa kanałów wentylacyjnych i t. p., następują próby na przyrost temperatury w uzwojeniach, które dla maszyn okrętowych nie powinny przekraczać 45° dla izolacji klasy A i 60° — dla izolacji klasy B

Pozatem maszyna zostaje poddana pracy znamionowej przy przechyłach osi wałów o 15° względem linii poziomej, dla maszyn, ustawionych wzdłuż podłużnej osi okrętu, i dla przechyłów o 45° — dla maszyn, ustawionych wpoprzek okrętu, ze sprawdzeniem należytej pracy łożysk i niewyciekania smaru. Następnie idzie próba izolacji, która poza normalnymi próbami na przebiecie i pomiaru stanu izolacji przy pomocy omomierza, polega na pogrążeniu całego twornika i cewek magnesnicy na 12 godzin do wody słodkiej o temperaturze 20° C i następnie po wyjęciu i powierzchownym osuszeniu szmatą poddaniu napięciu (500+U) woltów (U napięcie znamionowe) w ciągu jednej minuty, przyczem izolacja uzwojeń względem korpusu nie powinna spadać niżej normy

$$R = \frac{U \cdot 107}{P + 2000}$$

gdzie U—napięcie znamionowe, a P—moc maszyny w kW.

Na zakończenie pozwolę sobie zaznaczyć, że chociaż w chwili obecnej zapotrzebowanie na okrętowe maszyny elektryczne jest u nas bardzo nieznaczne, to jednak przeświadczenie o konieczności posiadania własnej marynarki handlowej i wojennej oraz wyjścia na międzynarodowe szlaki komunikacyjne, wprawdzie powoli, ale systematycznie umacnia się w pojęciach naszego społeczeństwa i zbliża się dzień, w którym posiadziemy własną stocznię i rozpocniemy własnymi siłami budowę okrętów handlowych i wojennych, a wówczas polski konstruktor i polski wytwórca będą mieli ogromne pole do działania, aby skutecznie pokonać piętrzące się na każdym kroku trudności przy budowie okrętowych maszyn elektrycznych.

ELEKTRYCZNE SPAWANIE SZYN, NAPAWANIE BANDAŻY I INNE ROBOTY SPAWANE W TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ.

Inż. Dawid Rozental.

Streszczenie. Opisane jest zastosowanie spawania łukiem elektrycznym w tramwajownictwie i kolejnictwie elektrycznym. Podany jest sposób spawania styków szyn i wskazanie korzyści, wpływające z tego sposobu. Spawanie elektryczne, zastosowane do napraw i utrzymania torów, krzyżownic, zwrotnic, iglic i t. p., jest bardzo korzystne dla eksploatacji. Ważna jest metoda pracy i dobór odpowiedniego materiału. Przy robotach warsztatowych opisane są metody napawiania obręczy kół wagonowych i lokomotyw elektrycznych; napawane obręcze pod każdym względem zachowują się dodatnio. Liczne roboty przy naprawach uszkodzonych części taboru zapomocą spawania dają możliwość zorientowania się w znacznych oszczędnościach, uzyskanych przez zachowanie tych części i doprowadzenie ich do dobrego stanu. Spawanie elektryczne, jako cenne narzędzie pracy, zyskuje coraz większe rozpowszechnienie w warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych.

Przedsiębiorstwa tramwajowe, oddawna zainteresowane spawaniem elektrycznym, stopniowo zaczęły wprowadzać tę metodę do swoich warsztatów. Właściwe zastosowanie spawania w trakcji elektrycznej prowadzi do oszczędności i stanowi skuteczną ochronę przed licznymi, nieprzewidzianymi wypadkami. Wiadomości, które mi pragnę się podzielić z czytelnikami, oparte są na moich własnych spostrzeżeniach i doświadczeniach w kraju i zagranicą; korzystałem również z czasopism, specjalnie poświęconych technice spawania.

Jeśli idzie o spawanie szyn, to chciałbym zwrócić uwagę na spawanie szyn na styk w miejscach, gdzie znajdują się złącza. Metoda ta przechodziła kolejno różne fazy rozwoju, wykazując coraz lepsze wyniki. Wiadomo, że słabym punktem toru są miejsca, gdzie jedna szyna styka się z drugą. Miejsca te zazwyczaj są łączone łukami na śruby. Prof. R. Podoski pisze o tem połączeniu, jak następuje: 1) „Sposób jednak taki łączenia szyn okazał się już bardzo prędko niedostatecznym. Skutkiem nieuniknionego rozluźnienia się śrub powstaje wkrótce pewna gra; końce szyn drgają silniej, niż same szyny, skutkiem czego powstają przy przejeździe wozów uderzenia; uderzenia te powodują w tych miejscach silniejsze starcie szyn, powstają więc wgłębienia, które naturalnie potęgują jeszcze uderzenia, tak, iż po krótkim już stosunkowo czasie złącze musi być wymienione. Oczywiście jest, iż ciągłe takie uderzenia i wstrząśnienia odbijają się fatalnie na trwałości elektrowozów, a również znacznie zwiększają opór trakcji, a tem samem powodują zwiększenie zużycia pracy”.

Powyższe niedogodności starano się usunąć przez zastosowanie złącz specjalnych, ulepszenia te jednak do pewnego tylko stopnia ograniczają niezależne odkształcenia końców szyn, po pewnym czasie następuje rozluźnienie złącz i nieunikniona gra między szyną i częściami składowymi złącz. Oddawna też zaczęto robić próby ze spawaniem szyn; w końcu zeszłego stulecia w Ameryce spawano szyny na styk oporowo zapomocą maszyny Thomsona; wkrótce zaczęto stosować inne metody, z których wymienię 3 najważniejsze, obecnie używane: a) system alumino - termitowy Gold-

schmidta, b) system autogenowy (acetylen - tlen) i c) system spawania łukiem elektrycznym.

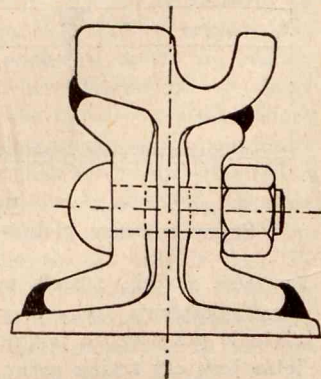
Każdy z powyższych systemów ma swoich zwolenników i przeciwników, nie da się jednak zaprzeczyć, że wszystkie 3 metody stanowią znaczny postęp w porównaniu ze sposobem łączenia końców szyn na łuki przez stworzenie jednej nieprzerwanej szyny. Przy spawaniu szyn osiąga się następujące korzyści: 1) końce szyn nie zużywają się; unika się uderzeń przy przejeździe wozów; 2) szyny nie są osłabione, gdyż niema tu wiercenia otworów dla umocowania złącza zapomocą śrub; 3) ciągłość prądu powrotnego jest zachowana, efekt prądów błądzących jest zmniejszony, łączniki elektryczne są zbędne i niema obawy ich kradzieży. Nasuwała obawy przez pewien czas sprawa rozszerzalności toru pod wpływem zmian temperatury. Obawiano się, że przy szynach spawanych mogą powstać szkodliwe naprężenia; przekonano się jednak, że dla szyn, zagłębionych w jezdni, gra dylatacyjna praktycznie równa się zeru, a dla torów otwartych rozszerzalność ogranicza się do kilku ostatnich metrów od końca szyny²⁾; wielka ilość złącz rozszerzalnych okazała się zbyteczna, pozostawiono je jednak na torowiskach otwartych co 50 ÷ 70 metrów oraz na łukach.

Przy pierwszych próbach spawania szyn zachowano jeszcze złącza, spawając je z główką i stopą szyny. Właściwie nie były to spawane styki, lecz spawane złącza, zresztą trudno wykonalne ze względu na niewygodną pozycję przy spawaniu. Złącze takie przedstawione jest na rys. 1.

Z każdej strony główki i stopy wykonywano po 3 szwy przerywane; później spawano również główki na styki i często dla wzmocnienia styku i stopy. Zdałoby się, że styk w ten sposób wykonany będzie odpowiadał swemu przeznaczeniu, ponieważ szyna i złącze stanowią całość, sztywno złączoną, a więc odpada rozluźnienie i wybijanie szyn. Złącze powyższe posiada jednak wady następujące: 1) kalkuluje się drożej od zwykłego złącza; 2) jest trudne do wykonania, szczególnie spawanie łuków z główką szyny; 3) jest zbyt sztywne z powodu zwiększenia momentu bezwładności w przekroju poprzecznym na styku. Próby wykazały przedwczesne złamanie w miejscu nagłej zmiany przekroju.

Powyższe spostrzeżenia doprowadziły do innego rozwiązania tego zagadnienia, a mianowicie do spawania szyn na styk bez złącza.

Ze względu na kilka metod spawania styków: termitem, autogenem czy też elektrycznie, ważną rzeczą jest ustalenie sposobu wykonania, właściwego dla każdej metody. Błędem byłoby mniemanie, że sposób, przyjęty dla jednej metody, nadaje się dla pozostałych. Jeśli naprz. przy



Rys. 1.
Złącze spawane. Łuki do-
spawane do główki i stopy
szyny.

¹⁾ Inż. Roman Podoski „Tramwaje i Koleje Elektryczne” t. 1, str. 104.

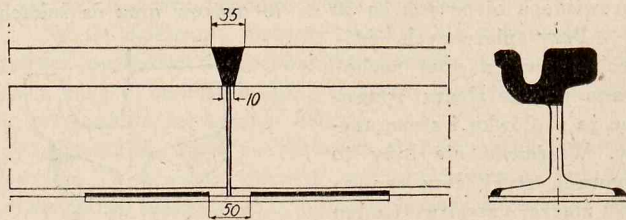
²⁾ Inż. Roman Podoski „Tramwaje i Koleje Elektryczne” t. 1, str. 108.

metodzie aluminotermitowej najracjonalniejsze i najekonomiczniejsze jest zalanie całego przekroju styku roztopionym metalem, powstałym z mieszaniny tlenku żelaza oraz rozdrobnionego aluminium, to sposób ten dla metody naprz. elektrycznej nie nadaje się; inne jest również postępowanie przy metodzie autogenowej. Wynika to z odmiennej techniki spawania, właściwej dla każdej metody.

W zasadzie wykonanie styku, niezależnie od metody, winno być takie, aby w miejscu spawaniem moment bezwładności był równy momentowi bezwładności w pełnej szynie, to samo dotyczy wytrzymałości na rozzerwanie, gięcie, elastyczności i twardości w stosunku do całego toru. Przy spawaniu łukiem elektrycznym styk może być zgóry obliczony z dokładnością do $2 \div 3\%$, inne metody spawania opierają się więcej na danych doświadczalnych.

Rys. 2 przedstawia styk, wykonany metodą spawania elektrycznego; kolejność postępowania jest następująca: 1) ułożenie płytki żelaznej pod stopą szyny i spawanie krawędzi tej ostatniej z płytką; 2) zukosowanie główki szyny łukiem elektrycznym lub palnikiem i spawanie główki; 3) oszlifowanie powierzchni główki dla zabezpieczenia spokojnej jazdy bez wstrząsów.

Należy zauważyć, że styk na całej swojej długości nie jest spawany, stopa również nie jest spawana, pozatem z każdej strony stopy od środka styku pozostawia się po 25 mm długości niespawanej. Ten sposób spawania okazał się praktyczny i celowy, gdyż wszystkie miejsca do spawania są łatwo dostępne, unika się niewygodnego pionowego



Rys. 2.

Szyiny spawane elektrycznie na styk bez łubków.

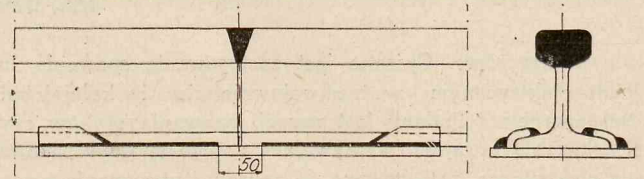
spawania szyjki, zresztą ta ostatnia przenosi nieznaczna część obciążenia szyny przy zginaniu; praktycznie całe obciążenie przenoszone jest przez główkę i stopę, przeto obojętne jest, czy szyjka szyny jest spawana czy nie; zredukowany przekrój szyjki jest skompensowany przez płytkę, której grubość jest odpowiednio obliczona w stosunku do brakującego przekroju. Pozostawienie niespawanego miejsca na długości 50 mm w stopie zapewnia połączeniu końców szyn elastyczność. Obliczenie styku, spawanego elektrycznie, sprowadza się do 1) obliczenia przekroju płytki (grubości) i 2) obliczenia długości płytki i szwów.

Z braku miejsca nie będę przeprowadzał tutaj całego obliczenia styku, które zainteresowani mogą znaleźć w broszurce Dr. Inż. Rosenthala „Le joint de rail soudé à l'arc électrique” (wydawnictwo Société Belge des Ingenieurs et des Industriels. Bruksela). Metoda obliczenia polega na rozpatrywaniu szyny na podkładach, jako belki ciągłej na podporach pod obciążeniem siły, skupionej w środku styku. Ze wzorów porównawczych na moment bezwładności i moment gnący znajduje się przekrój płytki. W ten sposób grubość płytki zależna jest od typu szyny, tak np. dla szyny typu S. 26 42,59 kg/m grubość płytki wynosi 12 mm, dla szyny U. V. F. I. 52,12 kg/m — 15 mm.

Najmniejsza grubość płytki może wynosić 10 mm; płytek o grubości mniejszej od 10 mm naogół nie używa się. Szerokość płytki powinna być o $20 \div 30$ mm większa od szerokości stopy szyny celem pozostawienia miejsca na szwy. Długość płytki powinna być taka, aby spojenie, łą-

czące płytkę ze stopą, posiadało przynajmniej taką samą wytrzymałość, co sama płytkę. Należy także zwrócić uwagę na długość płytki ze względu na odległości między podkładami w styku szyny.

Ostatnio wprowadzono pewne zmiany przy spawaniu

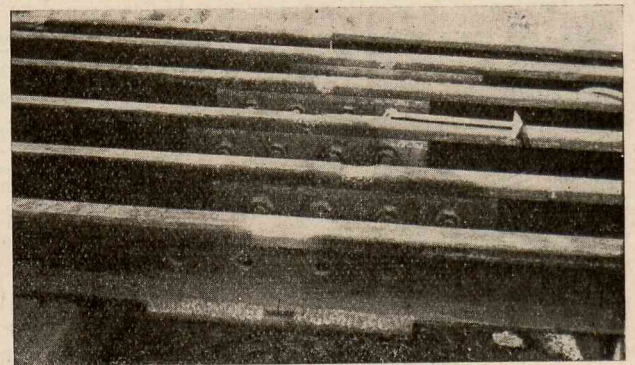


Rys. 3.

Szyiny spawane elektrycznie na styk z zastosowaniem żabek.

styku metodą elektryczną, mianowicie zastosowano na końcach płytki 4 żabki kształtu trapezowego, spawane z płytką i stopą. Uzyskano w ten sposób lepszy rozkład naprężeń. Styk z żabkami uwidoczniiony jest na rys. 3. Przy próbach z obciążeniem trwałym 35-tonnowym przy odległości podpór, wynoszącej 1 m, zdołano osiągnąć 987 479 powtarzanych uderzeń aż do złamania styku; styk bez żabek wytrzymał w tych samych warunkach 345 246 uderzeń. Stosowanie żabek dla wzmocnienia styku zaleca się przy dużych obciążeniach toru, również przy starych szynach, gdzie wskutek korozji krawędzie stopy mają zmniejszoną grubość; w wypadkach słabego obciążenia przy niezbyt ciężkich pociągach wystarczy styk zwykły bez żabek.

Koszt wykonania jednego styku zależny jest od sposobu przygotowania roboty i organizacji; ważny jest odpowiedni dobór pałeczek do spawania w zależności od materiału szyny; należy również zwrócić uwagę na odpowiedni aparat do spawania; pozatem nie jest rzeczą obojętną, czy prąd pobiera się z sieci, czy też należy go wytwarzać na miejscu. W/g danych, zebranych przezemnie w niektórych przedsiębiorstwach tramwajowych w Polsce, koszt spawania jednego styku sposobem elektrycznym waha się w granicach $20 \div 25$ złotych, przy zużyciu ok. $20 \div 25$ elektrod, $12 \div 15$ kWh i 1,5 godziny pracy. W Belgii koszt spawania styku wynosi 75 fr. belg. (ok. 18 zł.). W Austrii wykonano 266 styków na długości toru 2 km (4 000 metrów długości szyn) i zaoszczędzono 8 800 szylingów (ok. zł. 8 650) przez uniknięcie zamiany złącz; podają³⁾, że przy tej jednej robocie zespół, używany do spawania, za-



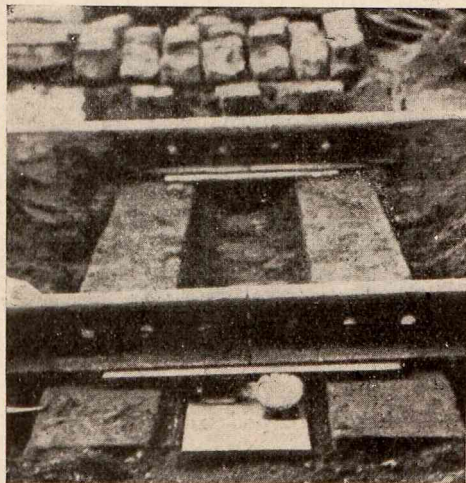
Rys. 4.

Szyiny spawane elektrycznie na styk podczas wykonania z pozostawieniem łubków.

mortyzował się dwukrotnie. Spawanie styków szyn za pomocą łuku elektrycznego przyjęło się w wielu przedsiębiorstwach tramwajów i kolei elektrycznych zagranicą; naj-

³⁾ Elektroschweissung Nr. 8, rok 1932, str. 151.

więcej styków zostało wykonanych w Belgji (kilkanaście tysięcy); szyny, spawane metodą elektryczną, pracują naogół zadowalająco. U nas w kraju elektryczne spawanie styków znajduje się jeszcze w stadjum prób; niewątpliwie jednak przedsiębiorstwa tramwajowe i koleje elektryczne doj-

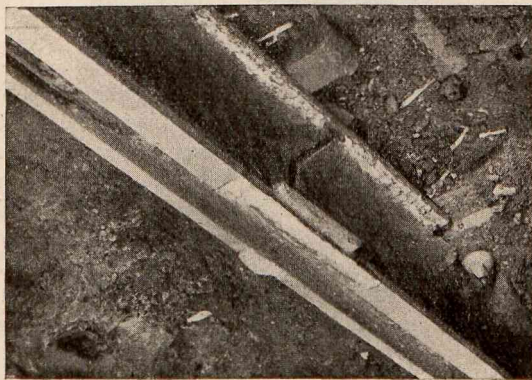


Rys. 5.
Szyny, przygotowane do spawania na styk.

da do dobrych wyników po przeprowadzeniu badań i zastosowaniu odpowiednich materiałów (rys. 4, 5 i 6).

Poza spawaniem styków szyn spawanie elektryczne posiada duże zastosowanie przy rozmaitych naprawach toru; w większości wypadków roboty te są wykonywane na miejscu, niektóre zaś przedsiębiorstwa tramwajowe przeprowadzają te naprawy w dzień, co wcale nie wpływa na normalny ruch wozów tramwajowych. Dla przykładu opiszę sposób spawania w tramwajach brukselskich.

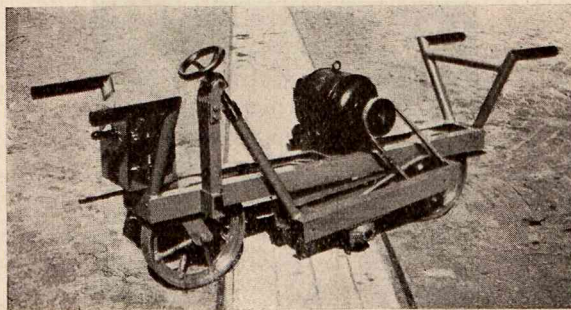
Spawanie szyn odbywa się tam zarówno w dzień, jak i w nocy. Przetwornica do spawania i cała aparatura umieszczona jest na samochodzie. W głębi wozu znajduje się zespół (silnik - prądnicą), na przedzie — tablica rozdzielcza. Dopływ prądu stałego do silnika z sieci o napięciu 550 V odbywa się zapomocą odpowiednio długiego kabla, na końcu którego znajduje się specjalny zacisk do umocowania na przewodzie jezdnym. Zacisk jest tak wykonany, że pałak lub



Rys. 6.
Szyna spawana na styk po wykonaniu.

kółko swobodnie pod nim przechodzą, nie przeszkadzając w spawaniu. Drugi biegun stanowi szyna, od której prowadzi się przewód do silnika. Zespół do spawania składa się z silnika prądu stałego bocznikowego na 550 ÷ 600 V i 1 400 obr./min. przy 80 ÷ 100 A, sprzęgniętego bezpo-

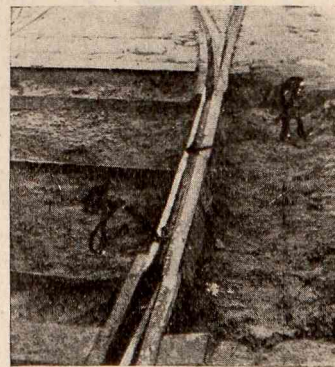
średnio z prądnicą prądu stałego na 70 ÷ 80 V i 600 ÷ 650 amperów. Przy tym jednym zespole może pracować 3-ch spawaczy jednocześnie. Zespół jest wyrobu angielskiego i bardzo dobry w użyciu. Tablica rozdzielcza wyposażona jest w wyłącznik nadmiarowy, w wyłącznik zanikowy na-



Rys. 7.
Szlifierka elektryczna (spawana elektrycznie) do wygładzania powierzchni szyn.

pięcia, w regulator wzbudzenia, w bezpieczniki i przyrządy pomiarowe. Oprócz tej aparatury elektrycznej i oświetlenia (7 lampek węglowych w szereg), pod spodem wozu znajdują się bębny z nawiniętymi na nich kablami do spawania; kawałki blach żelaznych różnych wymiarów, zapas pałeczek do spawania, piecyk żelazny i narzędzia kompletują całość. Przed rozpoczęciem spawania, próbuje się szyny młotkiem, uderzając nim w kilku miejscach; głuchy odgłos oznacza, że szyna jest wadliwa lub złamana; miejsca te zależnie od uszkodzenia zostają wzmocnione. Pęknięcia w szynach bywają poprzeczne, jak również podłużne, często się zdarza, że odlew jest zły i zawiera dziury. Rozkopuje się szyny przy styku, między stopą a główką układa się płytkę, która się spawa z szyną, sam styk po zukosowaniu łukiem również się spawa. Tramwaje belgijskie używają elektrod z otuliną i powlekanych (pochodzenia krajowego). Ostatnią warstwę styku nakłada się specjalnie twardymi elektrodami. Później powierzchnię hebluje się lub szlifuje (rys. 7). Cięcie łukiem elektrycznym przy układaniu blach żelaznych jest bardzo często stosowane w tramwajach brukselskich. Tak naprz. płytę o grubości 20 mm i szerokości 80 mm tniesz w przeciągu 1 minuty prądem 300 amperowym.

Przy spawaniu szyn na styk unosi się oba końce nieco w górę, wbijając kliny pod szynę; w miejscach, gdzie są podkłady, wkłada się kawałki drzewa indyjskiego, nie przyjmującego wilgoci. Po kilkakrotnym przejeździe wozów miejsce wzniesione styku staje się równe. Doświadczenia ze spawaniem (napawaniem) zwrotnic, rozjazdów, krzyżownic dały jaknajlepsze rezultaty (rys. 8 i 9). Wiadomo, że przy rozjazdach i skrętach szyny zużywają się mocno wskutek tarcia obrzeży kół wagonowych; miejsca te zostały napawane odpowiednimi elektrodami i w ciągu 2-ch lat wykazały minimalne zużycie. Wszelkie uszkodzone lub wytarte iglice były spawane i w pracy dobrze się zachowują. Główną rzeczą jest umiejętne stosowanie spawania,



Rys. 8.
Naprawa zwrotnicy tramwajowej.

a więc: 1) wykwalifikowany spawacz, 2) odpowiedni prąd i 3) dobór materiału elektrod.

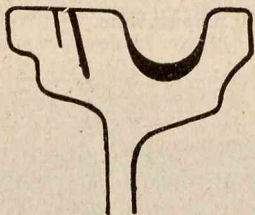
Według danych, zaczerpniętych z praktyki spawania w tramwajownictwie austriackim⁴⁾, ciekawe są następujące cyfry przy naprawach nawierzchni toru łukiem elektrycz-



Rys. 9.

Napawanie elektryczne krzyżownicy tramwajowej.

nym. Podwójna krzyżownica ze stali manganowej kosztuje 20 000 szylingów (ok. 19 600 złotych), a ułożenie jej w asfalcie 2 000 szylingów (około 1.960 złotych); krzyżownica taka przy ruchu 2 minutowym (1 wagon motorowy i 2 doczepne) po 8 latach musi być wymieniana z obawy wykolejenia i uszkodzenia wagonów. Przez napawanie krzyżownicy bez rozkopania jezdni trwałość jej przedłuża się na dalsze 2 lata. Napawanie wykonywane jest przez jednego spawacza i 2-ch pomocników w ciągu 5 godzin pracy nocnej; koszt wynosi 500 szylingów (ok. 480 złotych). Napawanie można powtórzyć jeszcze dwa razy, w ten sposób długość trwałości krzyżownicy podwyższa się do 14 lat; 6-letni udział na 8 lat kosztów kapitału 22 000 szylingów wynosi 16 500 szylingów; 3-krotna naprawa $3 \times 500 = 1500$ szylingów; w jednym przypadku przy 15 godzinach roboczych zaoszczędza się 15 000 szylingów (ok. 14 700 złotych). Bardzo często stosowane są krzyżownice z szyn spawanych; koszt takiej krzyżownicy wynosi 4 000 szylingów (ok. 3 920 zł.).



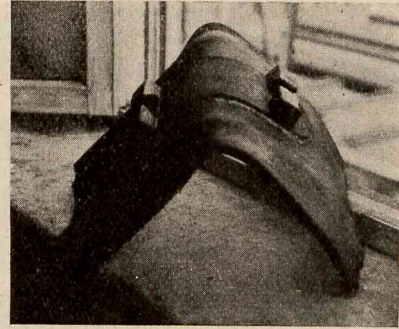
Rys. 10.

Wzniesienie żłobka przez napawanie w wypadku pęknięcia główki szyny na dużej głębokości.

Ze względu na różnorodny materiał krzyżownic, należy przy napawaniu stosować odpowiednie elektrody i obrać odpowiednią metodę pracy. Z innych robót spawania na torze należy wspomnieć o naprawach zwrotnic i iglic, które się z czasem zużywają; napawanie elektryczne doprowadza te części do stanu pierwotnego. Z braku miejsca nie mogę wyliczyć wszystkich wypadków uszkodzeń, jakie się zdarzają przy zwrotnicach i iglicach, i sposobów spawania elektrycznego przy tych naprawach. Naprzykład przy pęknięciu szyny w główce na głębokości 10 cm, trudnym do naprawy zapomocą spawania, zostało zastosowane znaczne napawanie żłobka i jego podwyższenie, w ten sposób koło zostaje uniesione w tem miejscu przez obrzeże,

a uszkodzona powierzchnia toru nie jest obciążana (rys. 10). Podwyższenie żłobka zapomocą napawania stosuje się dość często przy skrzyżowaniach, sposób ten jest lepszy od klinów na śruby, które się rozluźniają.

Napawania szyn, wykonane nieodpowiednim materia-



Rys. 11.

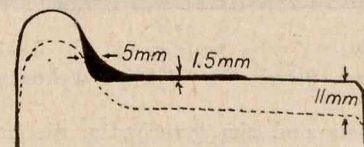
Próba na zginanie żabki, spawanej elektrycznie z podkładem żelaznym.

łem pałeczek, nie są trwałe, szczególnie przy drganiach, wywołanych zjawiskiem fal. Należy przeto dobierać taki materiał do spawania, któryby wykazywał dobre połączenie z materiałem podstawowym, aby warstwy nakładane były twarde, jednak niełamliwe i niekruche.

Wiele przedsiębiorstw tramwajowych i kolei elektrycznych, szczególnie zagranicą, stosuje podkłady metalowe; wymiary tych ostatnich są naogół standaryzowane; zdarza się niekiedy, że niektóre podkłady muszą mieć długość inną od przewidzianej; dotyczy to podkładów pod krzyżownice i rozjazdy. Różnice w wymiarach podkładów przedstawiają pewne trudności dla fabrykacji i przy dostawie, spawanie elektryczne usuwa z łatwością tę niewygodę. Tak np. tramwaje w Lozannie radzą sobie w ten sposób, że przecinają podkłady normalne i spawają je na styk na żadaną długość, niekiedy dwie części łączone są pod pewnym kątem dla ułatwienia zamocowania nawierzchni toru. Umocowanie szyn na podkładach metalowych wykonywa się zapomocą żabek, spawanych z podkładami. Sposób ten jest bardzo celowy i pewny, unika się przez to dziurawienia podkładów. Przeprowadzone próby wykazały dużą wytrzymałość tego połączenia (rys. 11). Na jednej z linii kolei belgijskich żabki takie pracują już od kilku lat zupełnie zadowalająco.

Napawanie bandaży.

Poza robotami na torze, spawanie elektryczne oddaje duże usługi w warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych. Jedną z najaktualniejszych kwestyj, która już od kilku lat interesuje warsztatowców kolejowych i tramwajowych, jest sprawa naprawy starych bandaży kół wagonowych zapomocą napawania. Obrzeże i obrzeża kół ścierają się dość szybko przy przejściach na łukach i podczas hamowania. Ślizganie się wozu wskutek nagłego hamowania pociąga za sobą miejscowe spłaszczenie na powierzchni tocznej, co powodu-



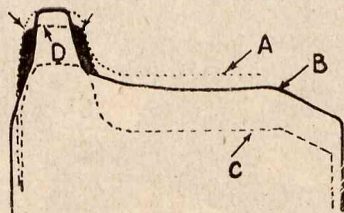
Rys. 12.

Normalny profil koła lokomotywy, z napawaniem obrzeżem na grubości 5 mm. Linja kreskowana wskazuje głębokość stoczenia w wypadku, gdyby napawanie nie było zastosowane.

⁴⁾ Elektroschweissung Nr. 8, 1932, str. 151.

je powtarzane uderzenia dla podwozia szkodliwe, a dla pasażerów nieprzyjemne.

Dotychczasowa metoda polega na stoczeniu obręczy, przez co zmniejsza się średnice; skrawanie wynosi ok. 12 mm w przypadku, gdy obrzeże ze strony przeciwzyny nie jest

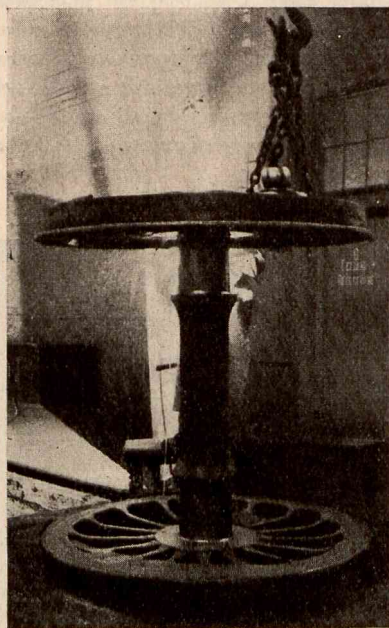


Rys. 13.

Normalny profil koła tramwajowego z napawaniem obrzeżem. A—profil teoretyczny początkowy, B—profil starty, C—po stoczeniu bez zastosowania napawania, D—profil po napawaniu z zachowaniem średnicy powierzchni tocznej i jej twardości.

zużyte, i sięga do 17 mm, jeśli obrzeż jest starta z 2-ch stron; przy większym zużyciu wypada niekiedy stoczyć do 20 mm; po 2-krotnym przetoczeniu silnie zużytych obręczy otrzymuje się najmniejszą dopuszczalną grubość (rys. 12 i 13).

Najwięcej ściera się obrzeże; powierzchnia toczna obręczy kół tramwajowych zużywa się naogół mało, pozatem materiał obręczy wskutek utwardzenia jest dość trudny do obróbki, a z drugiej strony zachowanie twardości tego metalu przedstawia pewne korzyści, ponieważ przez bezustanne szlifowanie powierzchnia toczna otrzymuje kształt, odpowiadający lokalnym warunkom toru. Zamiast obrzeże obtaczać, zaczęto je napawać i w ten sposób zachowano ich pierwotny profil. Wystarczy nakładanie metalu na starte obrzeża. Pierwsze próby z napawaniem obręczy były robione na kole-

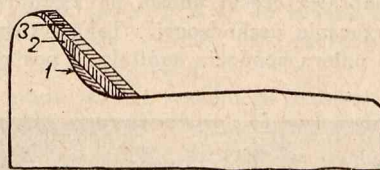


Rys. 14.

Napawanie obręczy koła parowozowego.

jach niemieckich i belgijskich i osiągnięto tam dobre wyniki. W warsztatach kolei belgijskich byłem obecny przy napawaniu obręczy kół lokomotyw. Starte obrzeża napawa się elektrycznie po przebiegu 300 000 km. Koleje belgijskie stosują napawanie elektryczne ze względu na to, że metoda ta wywołuje tylko miejscowe nagrzanie i że okazała się dotych-

czas najbardziej ekonomiczną. Zestaw kołowy zostaje ustawiony prostopadle do osi (rys. 14); miejsca przed napawaniem czyści się szczotką drucianą, a następnie na całym obwodzie we wgłębieniu obrzeża, prostopadle do powierzchni tocznej, nakłada się warstwę metalu długości 15 cm i grubości 6 mm; nakładanie odbywa się zazwyczaj w 3 warstwach (rys. 15); spawacz zapomocą szablonu sprawdza profil i stara się o jaknajdokładniejsze zachowanie go; ma to na celu zmniejszenie obróbki przy toczeniu i ograniczenie zużycia elektrod. Przy spawaniu należy zachować środki ostrożności, a więc unikać nagłego oziębienia; wskazana jest praca w lokalu zamkniętym, aby nie było przewiewu. Dla koła o średnicy 1,4 m napawanie jednego obrzeża wymaga 8 godzin pracy spawacza i zużycia około 120 elektrod średnicy 5 mm. Koszt napawania jednej obręczy wraz z montażem, obróbką i zużyciem prądu elektrycznego wynosi ok. 400 fr. belg. (około 100 złotych). Doświadczenie wykazało, że obrzeże w ten sposób odnowione zachowywało się pod każdym względem dobrze. Koleje belgijskie podają przykład oderwania się obrzeża na długości 4 do 6 cm; naprawa została uskuteczniiona zapomocą spawania elektrycznego w cią-



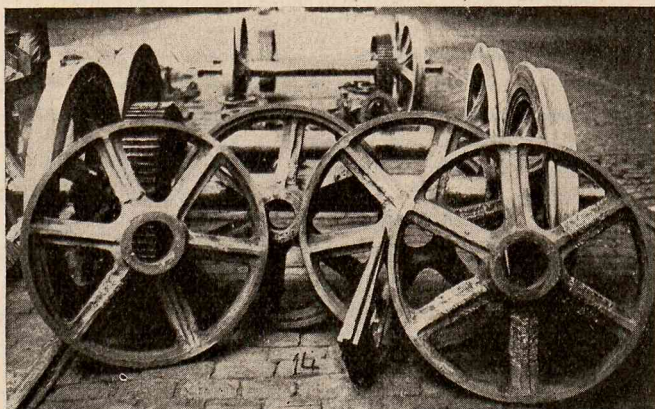
Rys. 15.

Napawanie obrzeża przez nakładanie 3-ch warstw.

gu kilku godzin i kosztowała 178 fr. belg. (ok. 45 zł.) zamiast 9 600 fr. belg. (ok. 2 400 zł.) gdyby trzeba było nałożyć nową obrzeż; unieruchomienie zestawu trwałoby najmniej 12 dni. Przy napawaniu obręczy kół tramwajowych metoda postępowania jest taka sama, jak przy kołach kolejowych; jeśli zaś obrzeża są starte również ze strony przeciwzyny, to napawanie odbywa się na zmianę przy zestawie, ustawionym prostopadle do osi; najpierw napawa się obrzeże, zwrócone ku górze, przechodząc od koła górnego do dolnego i na odwrót. Stapia się 2 lub 3 elektrody na górnym kole, następnie 2 lub 3 elektrody na dolnym, następnie, przechodząc do górnego koła, napawa się część obrzeża średnicowo przeciwległą do tej, od której rozpoczęto napawanie i tak postępuje się dalej. Ten sposób napawania zalecany jest ze względu na uniknięcie zbytniego nagrzania obręczy i na dużą szybkość wykonania. Warstwa metalu nakładanego o grubości 5 mm i długości 10 do 15 cm wystarcza. Średni koszt napawania można ustalić, porównując go z kosztem obtoczenia bandaży do pewnej grubości; koszt stoczenia 4 mm obręczy odpowiada kosztom napawania. Jeden spawacz napawa 2 zestawy tramwajowe w ciągu dnia; można założyć, że napawanie kalkuluje się prawie 4 razy taniej od staczania. Zamiast napawania ręcznego na niektórych kolejach niemieckich stosowane jest napawanie automatyczne. Opis spawarki mogą czytelnicy znaleźć w książce inż. Strausfögla p. t. „Zestawy kołowe taboru kolejowego”. Inż. Strausfögel podaje że dzienna wydajność maszyny stanowi 6 zestawów wagonowych lub 3 zestawy parowozowe. Przeciętny czas napawania jednego zestawu wagonowego wynosi 1,5 godziny przy zużyciu 40 m drutu o średnicy od 4 do 5 mm kosztem 40 kWh. Trwałość obręczy zwiększa się przez napawanie od 6 do 8 razy. Naogół napawane obrzeże wykazały dobre rezultaty. Inż. Strausfögel pisze w swojej książce: „W zależności od zastosowanej elektrody materiał napawany posiada bardzo różny stopień twardości, a często zdarza się, że pod tym względem przewyższa pierwotny materiał

obręczy. Wszystkie próby na zginanie, spęczanie i rozrywanie dały wyniki dodatnie. W ciągu 1,5 roku badano znajdujące się w ruchu napawane obręcze; po przebiegu 25 000, 60 000 i 80 000 km napawane obręcze niczem się absolutnie nie różniły od nienapawanych, ani pod względem wyglądu ani też pod względem stopnia zużycia i nawet po przebiegu 90 000 km miejsca napawane zachowały się dodatnio. W niektórych wypadkach obręcze były napawane 8 razy, dając za każdym razem znakomite rezultaty".

W warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych jest pozatem wiele innych robót, do których spawanie elektryczne ma duże zastosowanie. Tabor tramwajowy i kolejowy, przy ciągłej swojej pracy w trudnych warunkach, narażony jest na uszkodzenia i duże zużycie. Warsztaty muszą wykonywać szybko różnego rodzaju naprawy. Ta różnorodność robót nie pozwalała na stosowanie pracy seryjnej. Z drugiej strony czas unieruchomienia uszkodzonych wozów musi być ograniczony do minimum ze względu na niedopuszczalne nagromadzenie wozów i na martwy kapitał w postaci uszkodzonego taboru. Dla tej przyczyny magazyny tramwajów i kolei elektrycznych muszą być stale zaopatrzone we wszelkiego rodzaju części zamienne. Naprawa często polega na zmontowaniu nowej części, a wyrzuceniu uszkodzonej. Taki system wymaga z jednej strony unieruchomienia kapitału w postaci części za-



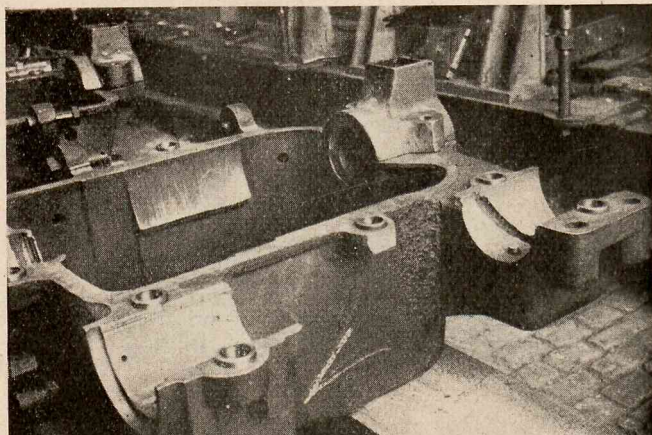
Rys. 16.
Naprawa pękniętych kół wagonowych.

pasowych, z drugiej zaś strony wyrzucanie uszkodzonych części do starego żelastwa powoduje duże straty.

W tej gospodarce spawanie wprowadziło zmiany na lepsze: w większości wypadków naprawy mogą być przeprowadzone bez demontowania części, spawany przedmiot jest w takim samym dobrym stanie, jak i nowy, a niekiedy w lepszym, wreszcie część zużyta może być napawana dużą ilością.

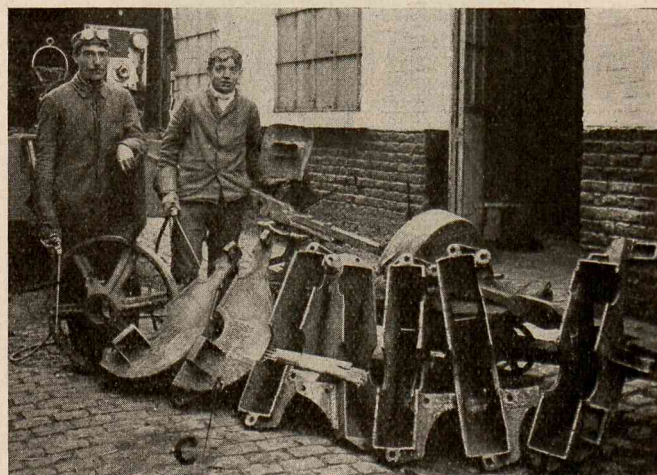
Pokrótce wymienię tutaj kilka ważniejszych robót, do których spawanie lub napawanie łukiem elektrycznym może mieć zastosowanie. Wytarte czopy napawa się, ustawiając osł poziomo; nakłada się warstwy metalu na obręczach, następnie łączy się 2 wytworzone pierścienie ze sobą warstwami poziomymi, jedna obok drugiej. W kołach pękają często ramiona, miejsca pęknięte naprawia się przez zukosowanie i napełnienie materiałem elektrody przy pomocy łuku elektrycznego (rys. 16). Podwozia wagonów, wykonane czy to z żelaza walcowanego, czy blachy prasowanej, żelaza kutego i t.p. narażone są na ciągłe uderzenia i wstrząsy, zachodzą wypadki złamania lub pęknięcia ostojnicy, najczęściej w miejscach zmiany przekroju, spawaniem można te uszkodzenia łatwo usunąć, i to w krótkim czasie. Wszel-

kie urządzenia hamulcowe, jak dźwignie, ściągacze, drażki, chomąta i t. p., starte w czasie pracy, można doprowadzić do dobrego stanu zapomocą napawania. Następnie spawanie elektryczne oddaje usługi przy



Rys. 17.
Naprawa pękniętego kadłuba silnika trakcyjnego.

naprawach kadłubów silników (rys. 17), skrzynek trybowych; te ostatnie wykonywane są obecnie z blachy 3 mm spawanej i odznaczają się szczelnością (rys. 18). Wytarte zęby kół zębatach ze specjalnej lanej stali mogą być napawane; połączenie wieńca zębatego z kołem bosem może być wzmocnione zapomocą spawania; przy nasadzeniu nowego wieńca wystarczy go wprost spawać z kołem, składającym się z piasty i ramion, stoczenie i frezowanie zębów wykonywa się po umocowaniu. Sposób ten jest ekonomiczniejszy od nasadzania wieńca na gorąco na koło bosc ze skomplikowanymi ogonami jaskółczymi, które z czasem nie przeciwdziałają rozluźnieniu wieńca. Można również wykonać całe koło z żelaza płaskiego i blach razem spawanych; żeberka nadają takiemu kołu sztywność wystarczającą. Koła zębata, w ten sposób wykonane, odznaczają się małą wagą i są bardzo wytrzymałe, pozatem koszt wykonania takiego koła jest mniejszy od kosztu koła lanego.



Rys. 18.
Naprawa osłon przekładni zębatej.

Te kilka nielicznych przykładów zastosowania spawania elektrycznego w warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych wskazuje na korzyść, osiąganą przy tej metodzie

pracy. Każde przedsiębiorstwo tramwajowe czy kolejowe w swojej praktyce spawania spotyka się codziennie z coraz innymi wypadkami napraw, które niesposób w tym jednym referacie wymienić. Z praktyki jednego z zagranicznych przedsiębiorstw tramwajowych przytaczam, że jeden zespół do spawania w ciągu 8 godzin pracy jest całkowicie wyzyskany dla utrzymania w dobrym stanie toru o długości 10 km ze zwrotnicami, krzyżownicami, z taborem, składającym się z 30 wagonów motorowych i 40 doczepnych. Jak widzimy, dział spa-

wania znalazł należne dla siebie miejsce w warsztatach tramwajowych.

Kierownictwo działu spawania w poszczególnych warsztatach winno się starać, aby przy naprawach

- 1) znaleźć najszybszą metodę pracy,
- 2) wziąć pod uwagę warunki, w jakich dana część pracuje, aby faktycznie spawać tam, gdzie należy.
- 3) wzmocnić miejsce naprawione dla usunięcia przyczyny, która spowodowała pierwsze pęknięcie lub złamanie.

CHARAKTERYSTYKA MASZYN I ELEKTROD DO SPAWANIA.

Inż. I. Krymko.

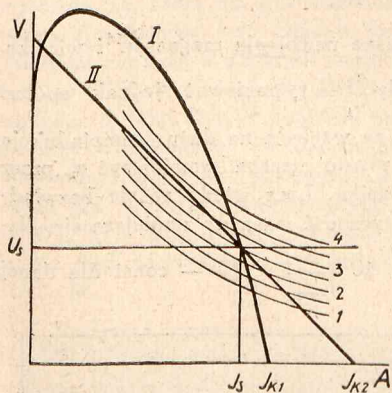
Streszczenie. Referat omawia zasadnicze warunki, jakim powinna odpowiadać spawarka elektryczna: stałe natężenie prądu, małe prądy zwarcia, regulacja bez strat, łatwość zapłonu i łatwość utrzymania łuku. Krytyka maszyn prądu stałego i transformatorów do spawania i wpływ ich na obciążenie sieci. Wybór elektrod. Najnowsze zdobycze w dziedzinie spawania elektrycznego (elektroda węglowa).

50 milionów kWh, zużytych w Niemczech w r. 1932 na spawanie, zwróciło baczniejszą uwagę zakładów elektrycznych na tę nową gałąź przemysłu. Spawalnictwo rozpatrywać można, między innymi, tak ze stanowiska elektrowni, jak również — przemysłu maszynowego i wytwórców elektrod. Interesy tych trzech przemysłów często kolidują ze sobą i dlatego w literaturze, omawiającej kwestje spawalnictwa, spotykamy sprzeczności więcej, niż w innych działach technicznych, tembardziej, a może właśnie dlatego, iż dla wielu spornych zagadnień nie znaleziono obiektywnych, naukowo pewnych odpowiedzi. Dotychczas nie są zbadane dokładnie właściwości łuku elektrycznego, procesy metalurgiczne, zachodzące w spoinie, wpływ szlaki elektrod na naprężenia cieplne i t. p. Czy spawarka szeregową lub bocznikową, czy też transformator, albo — czy elektrody gołe, czy otulone, — to są kwestje, o które najczęściej toczą się spory.

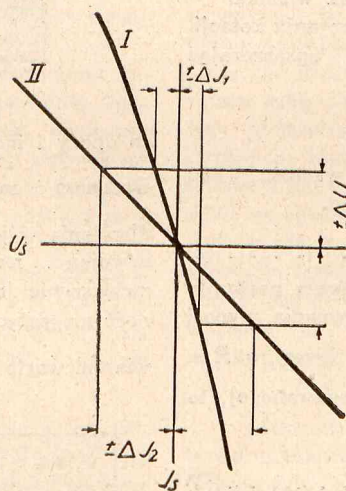
Na rys. 1 podana jest charakterystyka statyczna maszyny szeregowej o poprzecznym polu magnetycznym I, oraz maszyny bocznikowej II. Krzywe 1, 2, 3 i 4 — to krzywe łuku elektrycznego o długości: 1, 2, 3 i 4 mm. Załóżmy, że spawanie odbywa się w punkcie przecięcia krzywych, t. j. prądem J_s przy napięciu U_s i o długości łuku 2,5 mm. Jeżeli napięcie zmieni się o $\pm \Delta U$, to zmiana prądu maszyny szeregowej wyniesie $\pm \Delta J_1$, a maszyny bocznikowej $\pm \Delta J_2$, gdzie $|\Delta J_2| > |\Delta J_1|$.

Stołość prądu, mająca zasadnicze znaczenie dla wytrzymałości spoiny, w maszynie I będzie większa. Dla wyrazistości podaliśmy na rys. 2 fragment rys. 1 w punkcie spawania. Dalej z rys. 1 widzimy, że, jeżeli łuk przez przypadkowe drgania ręki wydłuży się z 2,5 do 4 mm, to urwie się on w maszynie II, a utrzyma w I. Zaleta stromej charakterystyki jest tu widoczna także ze względu na łatwość utrzymania łuku, co jest miarodajne dla sprawności spawania. Charakterystyka statyczna transformatora do spawania w przybliżeniu podobna jest do charakterystyki statycznej maszyny I i jest tem bardziej stroma, im niższe ma $\cos \varphi$ (rys. 3). Ta krzywa, miarodajna przy ocenie stołości prądu, nie ma znaczenia dla zapłonu łuku, jak zobaczymy niżej.

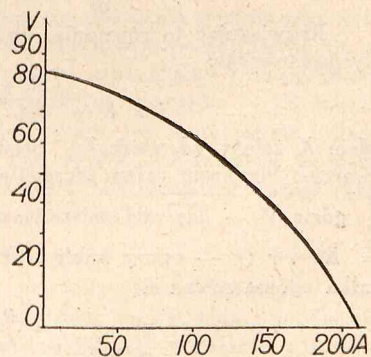
Przy każdym zwarciu maszyny lub zmianie obciążenia (wahania łuku) występują prądy wyrównawcze, których wielkość i czas trwania zależne są od konstrukcji spawarki.



Rys. 1.



Rys. 2.



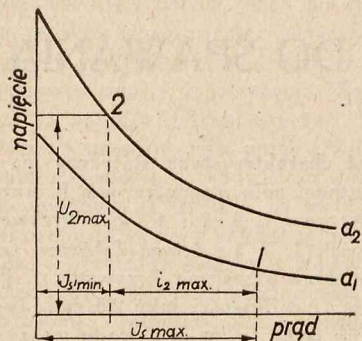
Rys. 3.

Koniecznym warunkiem dla uzyskania dobrej spoiny jest utrzymanie jednostajnego prądu. Od prądu zależy temperatura łuku, od temperatury — stopień jonizacji. Ponieważ łatwość utrzymania łuku jest uwarunkowana stopniem jonizacji, jest zrozumiałe, że korzystniejsza będzie taka charakterystyka maszyny, która przy dużych wahaniami napięcia łuku daje małe zmiany prądu. Natężenie pola elektrycznego ma mniejszy wpływ na jonizację.

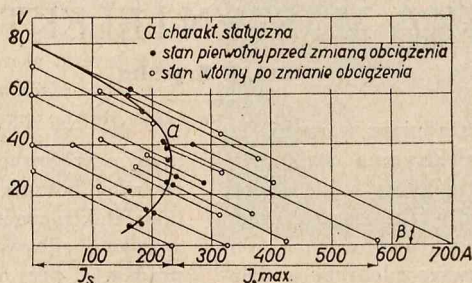
Im mniejsze będą prądy wyrównawcze i krótszy czas ich trwania, tem mniejsze będą różnice napięć łuku i tem szybciej napięcie maszyny nadażać będzie za napięciem łuku, czyli, jak mówimy, spawarka będzie elastyczna. Jeżeli w pewnym momencie (rys. 4) znajdziemy się w punkcie 1, to przy nagłym wydłużeniu łuku przejście do punktu spawania 2 będzie o tyle możliwe, o ile czas trwania prądu wyrównawczego t będzie krótki, i tem łatwiejsze, im prąd wy-

równawczy i_{2max} . — mniejszy; w przeciwnym razie łuk się urwie. Elastyczność maszyny zależy również od jej bezwładności magnetycznej, która w maszynie szeregowej jest znacznie mniejsza, niż w bocznikowej. O wielkości prądów wyrównawczych, a więc o zachowaniu się maszyny w czasie spawania wnioskujemy z charakterystyki dynamicznej, którą zdejmujemy wg. metody Langkau'a lub zapomocą oscylografu.

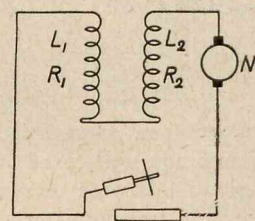
Przy szybkiej zmianie obciążenia w jakimś punkcie krzywej statycznej otrzymamy punkty, np. dla maszyny boc-



Rys. 4.



Rys. 5.



Rys. 6.

nikowej, leżące na prostej (rys. 5). Dla różnych punktów krzywej statycznej otrzymamy szereg prostych i, rzecz ciekawa, równoległych do siebie. Jeżeli kąt nachylenia równoległych będzie duży, to maksymalne prądy zwarcia wypadną małe i metal nie będzie się przepalał. Zbadajmy, od czego to zależy.

Ułożmy równanie różniczkowe dla stanu zwarcia maszyny szeregowej z magnetycznym polem poprzecznym*): suma napięć, wytworzonych przez prąd wyrównawczy musi być równa 0 (rys. 6).

$$L_1 \frac{di}{dt} + R_1 i + L_2 \frac{di}{dt} + R_2 i + M \frac{di}{dt} + Ni = 0: \dots (1)$$

gdzie L_1, R_1 — indukcyjność własna i opór cewek magnesów,
 L_2, R_2 — indukcyjność własna i opór cewek wirnika,
 M — indukcyjność wzajemna, a N — współczynnik rotacji.
 Jeśli $L_1 + L_2 = L_0$ i $R_1 + R_2 = R_0$, to upraszczając mamy:

$$(L_0 + M) \frac{di}{dt} + (R_0 + N) i = 0.$$

Rozwiązując to równanie, otrzymujemy wartość prądu wyrównawczego:

$$i = K \cdot e^{-\frac{R_0 + N}{L_0 + M} \cdot t} \dots \dots \dots (2)$$

gdzie K zależy od wielkości prądu, po którym nastąpiło zwarcie. Ponieważ całka szczególna tego równania wynosi $\frac{V}{R}$, gdzie V — napięcie maszyny przy biegu luzem, a $R = R_0 + r$ (r — opory kabli i przedmiotu spawanego), to całka ogólna równa się

$$i = \frac{V}{R} + K \cdot e^{-\frac{R_0 + N}{L_0 + M} \cdot t} \dots \dots \dots (3)$$

przyczem e — podstawa logarytmów naturalnych, a stała czasu

$$T = \frac{L_0 + M}{R_0 + N} \dots \dots \dots (4)$$

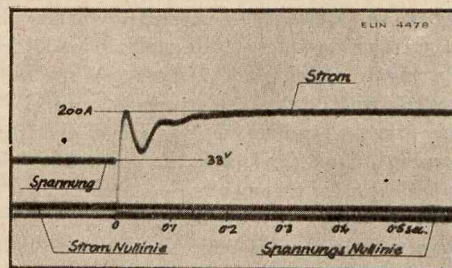
W rzeczywistości prąd będzie przebiegał, jak wskazuje rys. 7, ponieważ napięcie V spada przy zwarcu maszyny.

Ponieważ napięcie biegu luzem tej maszyny wynosi zaledwie 25 V, to indukcyjność własna twornika L_2 jest nieznaczna; niewielka ilość zwojów na magnesach maszyny szeregowej daje L_1 również małe. Jeżeli zmniejszymy sprzężenie magnetyczne M , to wobec dużego N wartość ułamka (4) będzie mała i okres wahań prądu wyrównawczego krótki. Dla zmniejszenia sprzężenia M magnesy są zbudowane w ten sposób, że dają duże rozproszenie. Z równ. (3) łatwo znajdziemy, że maksimum prądu wyrównawczego (i_{2max} , rys. 4) nie przekracza prądu zwarcia.

Rozwiązując równanie różniczkowe dla maszyny bocznikowej i zakładając dla uproszczenia, że $M=0$, znajdziemy:

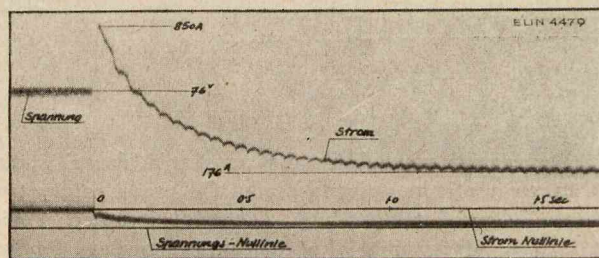
$$i_{2max} = E \cdot K \cdot \left[\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}} - \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2}} \right] \dots (5)$$

gdzie E — napięcie biegu luzem, przyczem R_1, R_2, L_1, L_2 —



Rys. 7.

to opory i indukcyjności własne uzwojenia magnesów i wirnika. Optimum i_2 zachodzi, gdy $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \rightarrow 1$, ponieważ jednak współcz. dławienia α_1 jest mały ze względu na dużą samoindukcyjność uzwojenia magnesów, przeto trzeba zmniejszyć α_2 przez zwiększenie indukcyjności wirnika. Lecz wtedy rośnie bezwładność magnetyczna i elastyczność maszyny zmniejsza się. Nawiasem warto zauważyć, że $\frac{E}{i_{2max}} = \text{tg } \beta$ — const dla danej



Rys. 8.

*) Maszyna systemu Dra. Rosenberga.

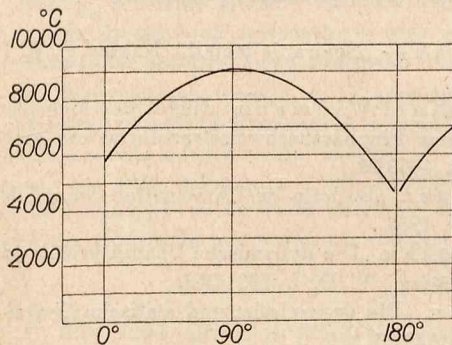
*) A. Vaclavik, E. T. Z. 1934, Nr. 3.

maszyny; stąd równoległe proste na rys. 5. Duże prądy zwarcia widoczne są na oscylogr. 8.

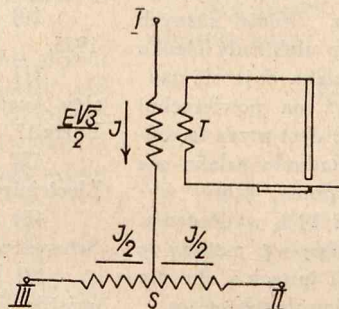
W transformatorach do spawania kwestja utrzymania łuku zależy od innych przyczyn. Temperatura łuku elektrycznego, według badań Król. Akademji w Amsterdamie, waha się wraz z amplitudą prądu, przyczem dla prądu zmiennego 220 V, 50 okr./sek, 12 A i 8 mm długości łuku wynosi od 5 000 do 9 000° C. Zapłon łuku następuje przy oderwaniu się elektrody od przedmiotu tylko w momencie dostatecznie dużej amplitudy prądu. Przy zmianie długości łuku powierzchnia chłodzenia zwiększa się i temperatura gwałtownie spada, gdyż straty przez promieniowanie i dyfuzję gazów nieproporcjonalnie rosną. Pozatem przy każdym przejściu prądu przez zero łuk faktycznie gaśnie. Temperatura więc okresowo spada i otrzymujemy słabe wpalanie się metalu. Dlatego elektroda musi mieć otulinę, jako izolację cieplną, by w momentach przejścia przez zero utrzymać temperaturę elektrody (emisja elektronów). Otulina spełnia oczywiście i inną rolę, o czem dalej mowa.

Transformator przedstawia się również niekorzystnie pod względem obciążenia. Spółczynnik $\cos \varphi$ waha się od 0,35 — 0,45, co w przewidywaniu przyszłego rozwoju spawalnictwa grozi dużymi zakłóceniami w sieci. Wyrabiane

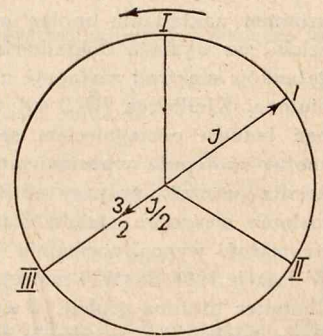
konaniu 3 ÷ 4 kWh, dla zespołu — 4 ÷ 5 kWh. Oszczędniej pracuje transformator. W wyborze między transformatorem a spawarką prądu stałego uwzględnić należy szereg następujących czynników. O ile niema do dyspozycji energii elektrycznej, zespół można napędzać silnikiem benzynowym, ropowym, od transmisji i t. p. Szczególniej wygodne to jest na robotach poza fabryką. Maszyny prądu stałego użyć można do spawania automatycznego, do czego transformator się nie nadaje. Możliwość stosowania elektrod gołych, a więc bardzo tanich, do spawania sufitowego (w położeniu poziomem — lepsze wpalenie), daje tylko prąd stały. Różne metale, jak aluminium, brąz, silumin oraz pewne gatunki elektrod otulonych (np. do żeliwa na gorąco), spawać można tylko prądem stałym. Lecz może najbardziej na korzyść prądu stałego przemawia stosowanie elektrody węglowej z opatentowaną niedawno wydmuchową cewką magnetyczną. Pozwala ona na spawanie cienkich blach począwszy już od 0,4 mm grubości. Łuk wytworzony jest przy pomocy elektrody węglowej, „ustalony” przez cewkę magnetyczną, miejsce spoiny pokrywa się specjalną pastą dla ochrony przed nawęglaniem i spawanie odbywa się na styk przez zwykłe stapienie brzegów lub z dodaniem obcego materiału, tak jak się to robi przy spawaniu acetylenowym. Metodę tę zastosował Benardos



Rys. 9.



Rys. 10.



Rys. 11.

trójfazowe transtransformatory dla równomiernego obciążenia wszystkich 3 faz nie spełniają zadania, jak wynika z rozważania następującego.

Rys. 10 podaje schemat obciążenia transformatora jednofazowego, które ma być rozłożone na 3 przewody. Spawarka T włączona jest między fazę I i punkt środkowy dzielnika napięcia S. Dzielnik napięcia włączony jest między fazę II i III. Wobec równej ilości amperozwojów dzielnika napięcia, w fazie II i III popłynie prąd, równy połowie prądu fazy I. Napięcie odbiornika jest w fazie z napięciem przewodu I, które jest przesunięte o 180° względem prądu I. Jeżeli dla prostoty rysunku przyjmiemy $\cos \varphi = 0,5$ ($\varphi = 60^\circ$), to wykres będzie się przedstawiał, jak na rys. 11. Widać stąd, że przesunięcie w fazie II wynosi 120°, a w fazie III — 0°.

Ponieważ przesunięcie w fazie II jest większe, niż 90°, faza druga oddaje moc do sieci, a faza I i III muszą o tyle większą moc pobrać. Ponieważ jednak przesunięcie w fazie III jest 0, cała moc bezwatowa obciąża fazę I i II. Rozkład prądów i mocy jest więc tak samo nierównomierny, jak w transformatorach jednofazowych. Niema celu budować droższe transformatory „trójfazowe”, wówczas gdy one w zasadzie są jednofazowe o trójfazowym włączeniu. Transformatory wirujące Sarazina lub Gefeł mają $\cos \varphi = 1$, wobec $\cos \varphi = 0,87$ zespołu prądu stałego. Lecz wobec trudności w spawaniu prądem zmiennym, mała różnica przesunięcia fazy przemawia za zespołem prądu stałego. Zużycie energii na kg stopionego metalu wynosi dla transformatora w dobrym wy-

(1887) i Zerener (1887), po tylu latach wróciła ona w formie ulepszonej. Wydaje się, że to udoskonalenie wyruguje zupełnie spawanie acetylenowe, które dotychczas miało przewagę nad elektrycznym w dziedzinie cienkich blach. Temperatura łuku elektrycznego kilkakrotnie wyższa od temperatury płomienia gazowego pozwala na uniknięcie naprężeń cieplnych — blacha nie skręca się, jak to ma miejsce przy acetylenie, i nie wymaga dodatkowych napraw, prostowań i t. p. Jeśli się zważy, że koszt 1 metra szwu blachy 1 mm grubości wynosi 1/3, a przy automatycznym spawaniu — 1/4 kosztu spawania acetylenowego i że spoina jest szczelniejsza i gładsza, to łatwo zrozumieć, jak dalece elektryczność zaczyna wypierać inne metody spawania. Wytrzymałość spoiny równa się tutaj 80% wytrzymałości blachy.

Elektrody.

Zastosowane po raz pierwszy przez Sławianowa elektrody metalowe pozostawiały dużo do życzenia i spoina nie wykazywała należytej wytrzymałości; w czasie spawania metal pryskał, a łuk trudno było utrzymać. Zasluga Kjellberga było stworzenie elektrod powlekanych (1907 r.). Powłoka stanowiła izolację cieplną dla elektrody; wówczas bowiem rolę spawarki spełniały zwykłe prądnicze, w których duże wahania prądu ze zmianą długości łuku nie zapewniały odpowiedniego dopływu energii. Zasadniczo Kjellbergowi chodziło o nadanie spoinie dużej wytrzymałości; zwrócił on uwagę na gatunek użytego metalu, wytwarzając elektrody o określonym składzie chemicznym i zestawil otulinę, do dziś używaną powszechnie. Podniesienie wytrzymałości z 15 —

na 40 kg/mm² było wielkim postępem i od tego czasu elektryczne spawanie zaczęło się szybko rozwijać. Zaczęto produkować elektrody grubo otulone, by otrzymać większe wydłużenie, twardość i inne żądane cechy. Elektrody otulone pozwoliły na zastosowanie prądu zmiennego do spawania sufitowego. Gazy niektórych pierwiastków otuliny przyspieszają jonizację i ułatwiają utrzymanie łuku.

Przy nowoczesnych spawarkach prądu stałego spawanie elektrodą gołą daje wytrzymałość od 25 ÷ 30 kg/mm² i trzeba stwierdzić, że duża ilość robót spawanych nie wymaga większej wytrzymałości. Natomiast tam, gdzie konieczne jest większe bezpieczeństwo, muszą być stosowane elektrody otulone: kotły parowe, zbiorniki i rury wysokiego ciśnienia, słupy żelazne do przewodów elektrycznych i t. p., pracujące statycznie, muszą mieć dostateczne bezpieczeństwo i spoina winna dawać około 40 kg/mm² oraz 7 ÷ 12% wydłużenia. Do tych robót nadają się elektrody cienko otulone. Natomiast części, pracujące na obciążenia dynamiczne, wymagają wyższej wytrzymałości — 50 ÷ 55 kg/mm² i wydłużenia około 20%. Wymienimy tutaj młoty hydrauliczne i parowe, wagony, mosty, krzyżulce i t. p.

Powłoka elektrod winna spełniać we wszystkich wypadkach zasadniczy warunek: musi dawać szlakę lekką, wpływającą na wierzch roztopionego metalu. Przy wielokrotnym nakładaniu spoinę oczyszcza się przez odbijanie szlaki, co wymaga dokładności spawacza. Wśród różnych gatunków elektrod zasługuje na uwagę typ elektrody cienko otulonej Kjellberga (OK. 40), w której szlaka daje się usunąć jednym pociągnięciem szczotki, gdyż na powierzchni spoiny występuje w postaci sproszkowanej. Jest przez to całkowita pewność, że przy powtórnym nakładaniu szlaka nie zostanie wewnątrz metalu i nie osłabi spoiny, której wytrzymałość wynosi normalnie 40 kg/mm² i 10% wydłużenia. W latach 1917 do 1920 zaczęto robić otulinę wg. metody le Chatelier (otulina gruba), Quasi-Arc i innych i obecnie niema trudności w uzyskaniu spoiny dla dowolnych celów.

Dzięki spawalnictwu rozwinęły się metody badania wytrzymałościowego materiałów, odkształceń i naprężeń cieplnych. Zapomocą nowoczesnych aparatów: tensometru Gehringa, ekstensografu Geigera, lampy rentgenowskiej lub

aparatów, opartych na zjawiskach elektromagnetycznych, można zbadać jakość materiału, nie powodując jego zniszczenia.

Dziś prościej, łatwiej i taniej wykonuje się wszelkie połączenia bez nitów, mając przytem całkowite bezpieczeństwo wytrzymałości i szczelności spoiny.

LITERATURA.

- 1) K. M e l l e r. „Elektrische Lichtbogenschweissung“, Verlag Hirzel, Lipsk 1932.
- 2) R o s e n b e r g. „Die Gleichstrom-Querfeldmaschine“, Verlag Julius Springer, Berlin 1928.
- 3) R o s e n b e r g. „Fortschritte im Bau von Regulier-Querfeldmaschinen“.
- 4) R o s e n b e r g. ETZ. Jahrgang 49/2, V. D. I. 1931/27.
- 5) „The Welding Engineer“ 1930 „Marking welding machines voltage more responsive to arc changes“.
- 6) „Elektroschweissung“ — 1933.
- 7) M i c h e l. „Schmelzschweissung“ 1928/5.
- 8) H o u s t. „Wyłącz. dużych mocy, a temp. łuku elektr.“ Elektrot. Obzor — 1934/33.
- 9) I n g. F. K n i l l. „Schalt- und Schweissoszillogramme von Rosenberg Querfelddynamos mit Regulierpolen“ E. T. Z. 1931/28.
- 10) G a y c z a k — „Spawanie metali“, Nakład P. K. P. 1925.
- 11) D r. I n g. K a r l W i d m a n n. „Bietet der Mehrphasige Anschluss eines Einphasenschweisstransformators einen Vorteil?“ E. u. M. 1933/28.
- 12) H. H a f n e r. „Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens XXIV. 1933..“
- 13) H. L a n g k a u. „Die dynamische Charakteristik von Schweisstromerzeugern“ V. D. I. 1931/263.
- 14) N e u m a n. „Die dynamische und statische Charakteristik“ E. u. M. 1929/35.
- 15) S a n d e l o w s k y. „Die Entwicklung der Schweissgeräte nach dem Langmuir Verfahren in Amerika und Deutschland“ E. T. Z. 1930/48.
- 16) F i n n. V. D. I. 1930/46.

DZIAŁ TRAKCYJNY.

ODZYSKIWANIE ENERGJI ELEKTRYCZNEJ W TRAMWAJACH.

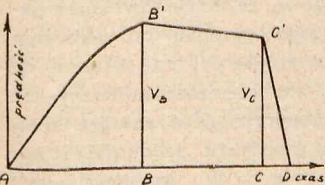
Inż. Z. Grabiński.

Streszczenie. W ciągu ostatnich paru lat w tramwajownictwie elektrycznym stała się bardzo aktualną sprawą odzyskiwania energii, traconej dotychczas podczas rozruchu i hamowania. Zagadnienie to stało się ważnym dla wielu przedsiębiorstw przede wszystkim ze względu na kryzys; po- zatem powiększenie szybkości wozów tramwajowych, które miało miejsce we wszystkich miastach, tak znacznie pod- wyższyło zapotrzebowanie energii, że bez poważnych jej oszczędności powstałaby konieczność powiększania elektro- ni czy podstacyj zasilających. W pracy niniejszej przedsta- wione są rozmaite systemy układów odzyskiwania energii i ogólne korzyści ich zastosowania oraz warunki, w których poszczególne systemy mogą pracować.

Jako wniosek wynika, że w przeważnej liczbie przed- sięwzięciach przeróbka istniejących urządzeń na systemy, po- zwalające na odzyskiwanie energii, da wyniki korzystne oraz że przy zakupie nowych wyposażań elektrycznych przedsiębiorstwa tramwajowe powinny bezwzględnie stosować urządzenia do odzyskiwania energii.

Wóz tramwajowy, przebiegając pomiędzy dwoma są- siednimi przystankami, pobiera z sieci energję pod posta- cią prądu elektrycznego, która następnie zostaje przekształ- cona przy pomocy silników na inne postacie energii i czę- ściowo idzie na pokonanie sił oporu traktacji, częściowo zaś tracona jest w formie ciepła, wydzielanego przez roz- maite mechanizmy wozu.

Przejazd pomiędzy przy- stankami możemy podzielić na trzy okresy. W pierw- szym A—B (rys. 1) nastę- puje rozruch wozu, począt- kowo na kolejnych kontak- tach opornikowych, gdy dla



Rys. 1.

złdławienia napięcia w szereg z silnikami łączone są oporniki rozruchowe, i następnie na ostatnim kontak- cie jazdy, gdy oporniki są już wyłączone, a w dalszym ciągu ma miejsce wzrost prędkości wozu. Po nabraniu pewnej prędkości V_B , prąd zostaje w punkcie B wyłączony i wóz toczy się dalej, korzystając z nabranego poprzednio rozpędu. Następuje drugi okres BC, jazdy z rozpędu, bez prądu, pod- czas którego prędkość nieco opada ze względu na opór trak- cji. Następnie przed zbliżeniem się wozu do przystanku, w punkcie C, następuje ostatni okres jazdy — hamowanie; siły hamujące, działające na obwodzie kół, zatrzymują wóz na przystanku.

Energja jest dostarczana z sieci do wozu tylko w cią- gu pierwszego okresu, gdy jest włączony prąd; zużywana jest zaś w ciągu całego przebiegu. Jeżeli rozpatrywać bę- dzimy jazdę wozu na linii poziomej i prostej, wtedy ener- gja zużyta składać się będzie:

1) z energii, zużytej na pokonanie oporu traktacji na całej odległości międzyprzystankowej:

$$W_1 = \frac{r \cdot L \cdot s}{\eta}$$

gdzie r jest współczynnikiem oporu traktacji,

L — wagą wozu,

s — odległością między przystankami,

η — średnią sprawnością silników wraz ze sprawnością przekładni zębatej,

2) z energii, straconej w opornikach rozruchowych — W_2 ,

3) z energii, która musiała być zniszczona podczas ha- mowania wozu

$$W_3 = \frac{\alpha' \cdot L \cdot v_c^2}{2 \cdot g \cdot \eta} - \frac{r \cdot L \cdot S_{CD}}{\eta},$$

gdzie α' jest współczynnikiem pozornego powiększenia ma- sy ze względu na bezwładność obracających się części wozu,

g — przyspieszeniem ziemskim,

v_c — prędkością wozu w chwili C,

S_{CD} — drogą, przebytą podczas hamowania wozu.

Część $\frac{\alpha' \cdot L \cdot v_c^2}{2 \cdot g \cdot \eta}$ jest w powyższym wzorze energją kine- tyczną, którą wóz posiada w chwili rozpoczęcia hamowania, zaś $\frac{r \cdot L \cdot S_{CD}}{\eta}$ energją, która od tej chwili, aż do całkowitego zatrzymania wozu, będzie produkcyjnie zużyta na po- konanie oporów traktacji.

Energja zatem całkowicie dostarczona będzie równa:

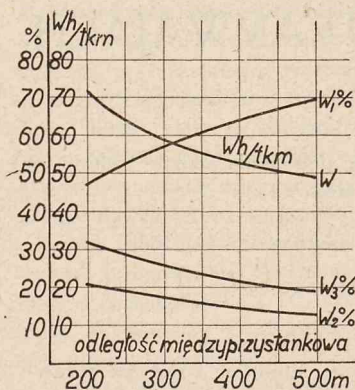
$$W = W_1 + W_2 + W_3 = \frac{r \cdot L \cdot s}{\eta} + W_2 + \frac{\alpha' \cdot L \cdot v_c^2}{2 \cdot g \cdot \eta} - \frac{r \cdot L \cdot S_{CD}}{\eta}$$

W powyższym wzorze jedynie W_1 stanowi energję, zużyta produkcyjnie na pokonanie oporów, przeciwstawi- ających się ruchowi wozu, i chociaż wysiłki nasze idą w kierunku zmniejszenia tej wielkości przez zmniejszenie współ- czynnika oporu traktacji r , przez zmniejszenie ciężaru wozu oraz przez powiększenie sprawności silnika i kół zębatach η , jednak z samej natury rzeczy całkowite usunięcie tego zu- życia energii nie da się osiągnąć.

Natomiast energja W_2 jest nieprodukcyjnie zamienia- na na ciepło w opornikach rozruchowych, zaś W_3 — cał- kowicie niszczone w chwili hamowania; wydziela się ona w postaci ciepła w silnikach i opornikach przy hamowaniu zwarcio- wem, w klockach hamulcowych przy hamowaniu ręcz- nem czy solenoidowem i w rozmaitych urządzeniach hamu- lowych, powodując straty nie tylko wskutek niszczenia ener- gji, ale także niszcząc i zużywając mechanizmy, przy któ- rych pomocy hamowanie jest uskuteczniane.

Jeżeli według powyżej przytoczonych wzorów obli- czymy dla rozmaitych odległości międzyprzystankowych po- szczególne zużycia energii, otrzymamy wyniki, przedsta- wione na rys. 3, gdzie całkowite zużycie energii W obliczone jest w watogodzinach na tonokilometr, zaś poszczególne

części W_1 , W_2 i W_3 w procentach całkowitego zużycia. Obliczenie zostało wykonane dla wozu silnikowego obciążonego o wadze 17 t; średni współczynnik oporu trakcji przyjęty został 10 kg/t, straty w opornikach rozruchowych 3 Wh/t, a średnia sprawność silnika $\eta = 0,81$; wóz silnikowy jest zaopatrzony w dwa silniki typu TC40 z przekładnią 1:5, o średnicy kół tocznych 720 mm. Przytem



Rys. 2.

Rozdział energii, pobranej z sieci. Początek hamowania 18 km/godz. W — całkowita energia pobrana w Wh/t, W_1 — energia zużyta na przejazd w %, W_2 — straty w opornikach w %, W_3 — straty wskutek hamowania w %.

dla obliczeń (rys. 2) przyjęty został początek hamowania w chwili, gdy prędkość wozu spadnie do 18 km/godz., dla rys. 3 zaś — gdy spadnie do 25 km/godz.

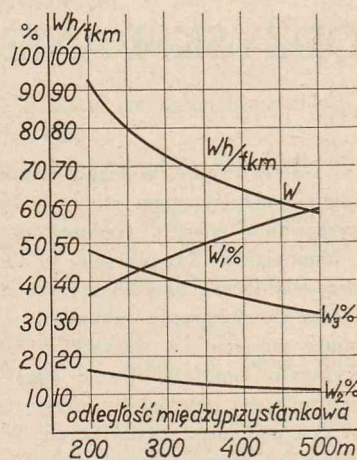
Z wykresów tych widać, że energia, tracona w opornikach rozruchowych, wynosi w zależności od warunków od 10 do 20% całkowitego zużycia energii, zaś energia tracona w czasie hamowania jest większa i dochodzi w pewnych wypadkach do połowy całkowite zużytej energii. Widać z nich pozatem, jak bardzo straty W_2 i W_3 zależą od odległości międzyprzystankowej; przy odległościach międzyprzystankowych mniejszych osiągają one wyższe procentowe wartości, dochodząc w sumie do 65%. Porównyując między sobą oba wykresy, możemy stwierdzić, że energia W_3 zależy w znacznym także stopniu od prędkości, od której hamowanie się rozpoczyna, wzrastając szybko wraz z jej wzrostem. Im mniejsze mieć będziemy odległości międzyprzystankowe, a także, gdy przy dużych nawet odległościach ruch wozu tramwajowego po ulicy będzie utrudniony, gdy motorowy będzie zmuszony do zwalniania, a nawet zatrzymywania się pomiędzy przystankami, wreszcie im średnia prędkość handlowa będzie wyższa, tem zużycie energii traconej podczas hamowania i rozruchu osiągnie większe wartości.

Z jednej więc strony konieczność przyspieszenia ruchu wozów tramwajowych, z drugiej — trudniejsze warunki jazdy na ulicach miast, a pozatem trudne warunki ekonomiczne, — wszystko to pobudziło techniczny świat trakcyjny do prób i badań w kierunku zmniejszenia względnie odzyskania spowrotem tych strat.

Gdybyśmy, zamiast rozpatrywać przejazd wozu na poziomie, wzięli pod uwagę wóz, który między punktami A i D wjeżdża na pewne wzniesienie, to do energii, doprowadzonej normalnie do wozu, przybyłaby jeszcze jedna część, któraby poszła na pokonanie oporu tego wzniesienia, pozostając w wozie w postaci energii potencjalnej. Przy zjeżdżaniu wozu z tej pochyłości, czyli przy jeździe powrotnej, nastąpiłaby zamiana tej energii na energię kinetyczną wozu; nie chcąc, żeby wóz nabrał zbyt dużej prędkości, musielibyśmy także i tę energię zniszczyć w jakiś sposób podczas hamowania. Jeżeli więc chodzi o odzyskanie energii, to i ta część mogłaby wchodzić w grę i systemy, stosowane na kolejach głównych, mają na celu odzyskanie tej właśnie energii spadku; w tramwajach jednak, których linje nie mają zwykle długich ani znacznych wzniesień, ten wzgląd nie odgrywa większej roli, gdyż energia,

tracona w chwili hamowania, stanowi i tak już poważną wielkość. W eksploatacji tramwajowej wpływ górzystości terenu jest tylko ten, że w przedsiębiorstwach, które rozpoczęły odzyskiwać straconą energię podczas hamowania, większe oszczędności w stosunku do poprzedniego zużycia są tam, gdzie linje posiadają więcej spadków i wzniesień.

Podobnie wygląda sprawa odzyskiwania energii na miejskich kolejach podziemnych i szybkich nadziemnych, gdzie pomimo znacznie większych odległości międzyprzystankowych, niż w tramwajach, mało jest używana jazda bez prądu ze względu na możliwie wysoką prędkość średnią; hamowanie rozpoczyna się więc przy stosunkowo dużej prędkości. Na kolejach głównych, gdzie jazda jest prowadzona w sposób bardziej ekonomiczny i gdzie mamy do czynienia z dużymi odległościami międzystacyjnymi, stosowanie odzyskiwania energii tylko wtedy ma rację bytu, gdy linja posiada duże i długie wzniesienia.



Rys. 3.

Rozdział energii, pobranej z sieci. Początek hamowania 25 km/godz. W — całkowita energia pobrana w Wh/t, W_1 — energia zużyta na przejazd w %, W_2 — straty w opornikach w %, W_3 — straty wskutek hamowania w %.

W układach odzyskiwania energii nigdy nie jest oddawana na sieć całkowita energia hamowania W_3 , gdyż przedewszystkiem podczas pracy silnika jako prądnicy istnieją nieuniknione straty elektryczne i mechaniczne, a następnie nie odzyskujemy całej energii kinetycznej, istniejącej w wozie w chwili początku hamowania, tylko jej część, zawartą pomiędzy prędkościami v_c oraz jakąś v_c' . Prędkość v_c jest prędkością początku hamowania, prędkość zaś v_c' , której stosunek do v_c ze względów konstrukcyjnych silnika jest dla każdego systemu odzyskiwania ściśle określony, zmienia się w zależności od systemu od 6 do 12 km/godz. Wartość v_c' ma znacznie mniejszy niż v_c wpływ na ilość odzyskanej energii, gdyż energia kinetyczna jest proporcjonalna do kwadratu prędkości i np. przy stosunku $v_c : v_c' = 5 : 1$, oraz $v_c = 40$ km/godz., czyli przy $v_c' = 8$ km/godz., energia kinetyczna, zawarta pomiędzy 40 km/godz. a 8 km/godz., stanowi 96% całkowitej energii kinetycznej wozu w początku hamowania.

Prace nad odzyskiwaniem energii elektrycznej datują się prawie od wprowadzenia silników elektrycznych do tramwajownictwa, lecz początkowo były to luźne próby i doświadczenia, dopóki same silniki nie zostały udoskonalone przez wprowadzenie biegunów komutacyjnych i t. p. Ostatnio ustalili się typ silnika elektrycznego, stosowanego w tramwajownictwie. Jest to silnik szeregowy prądu stałego, posiadający bieguny komutacyjne, dawniej zamknięte, a w ostatnich czasach samoprzewietrzany. Doniedawna wszystkie przedsiębiorstwa tramwajowe posiadały ten typ silnika, który ma wielkie zalety ze względu na dużą moc w chwili rozruchu, łatwe przewyciężanie przeciążeń, znaczne zmniejszenie prędkości przy wjeżdżaniu na wzniesienia, a zatem częściową samoregulację poboru mocy, oraz dobre warunki komutacyjne przy rozmaitych obciążeniach. To ostatnie jest spowodowane tem, że przy każdym obciążeniu zarówno strumień magnetyczny główny, jak i strumień

biegunów komutacyjnych, jest w jednakowym stopniu zależny od prądu.

W roku 1928 na kongresie komunikacji miejskiej w Rzymie przedstawiono dwie metody odzyskiwania energii w tramwajach: system Somajni oraz Della Riccia. Oba te systemy są praktycznie stosowane w paru przedsiębiorstwach i dają wyraźne korzyści. Następnie bardzo poważne wyniki dały próby, przeprowadzane we Francji przez Bacquerisse'a i Lièvre'a, których dwa systemy, oparte na zastosowaniu silników szeregowo-bocznikowych, przedstawione były w roku 1930 na kongresie komunikacyjnym w Warszawie oraz na specjalnym pokazie w Paryżu.

Referat, wygłoszony w Warszawie przez L. Bacquerisse'a, naczelnego dyrektora technicznego Towarzystwa Przewozów Publicznych w Paryżu, wywołał duże poruszenie wśród świata trakcyjnego, bo prelegent podał w nim nietylko bardzo ciekawy system odzyskiwania energii, ale zakomunikował, że w wyniku dotychczas przeprowadzonych prób wielkie przedsiębiorstwo tramwajów paryskich przechodzi we wszystkich swych wozach na układ, pozwalający na odzyskiwanie energii. Od roku 1930 następuje szybki postęp w tej dziedzinie, gdyż doświadczenia paryskie pobudziły cały szereg przedsiębiorstw do samodzielnych prób w tym kierunku.

Prawie równocześnie z pracami w Paryżu, a nawet nieco wcześniej, bo od roku 1926, prowadzone są próby w Niemczech przez Schwenda w tramwajach norymberskich, a następnie powstają systemy, opracowane przez firmy A. E. G., Bergmanna i próbowane w kilku przedsiębiorstwach, między innymi w Hannoverze i Frankfurcie nad Menem.

Toteż referat wspólny L. Bacquerisse'a i W. Mattersdorffa, dyrektora Towarzystwa Kolei Górnej w Hamburgu, wygłoszony na następnym kongresie komunikacji miejskiej w Hadze w roku 1932, przyniósł cały szereg nowych systemów, między innymi nowy system Bacquerisse'a oraz wyniki nowych prac, przeprowadzonych w wielu przedsiębiorstwach.

W ostatnich czasach prawie każde większe przedsiębiorstwo tramwajowe podjęło próby, mające na celu odzyskiwanie energii, opracowując swój własny system lub korzystając z systemów poprzednio opracowanych.

W ten sposób w chwili obecnej jest bardzo duża ilość systemów odzyskiwania energii, mniej lub więcej różniących się między sobą, można je jednak podzielić na kilka grup zasadniczych.

Przedewszystkiem wszystkie systemy można podzielić na 3 grupy w zależności od rodzaju silników trakcyjnych, używanych do jazdy oraz hamowania wozów, a mianowicie: z silnikami szeregowymi, bocznikowymi i szeregowo-bocznikowymi, a następnie każdą grupę — w zależności od zasadniczych różnic pomiędzy poszczególnymi systemami. W ten sposób otrzymamy podział następujący:

1. Silniki szeregowy.

a) Obce wzbudzenie silnika z przetwornicy; silniki, zasilane napięciem zmiennej wysokości zapomocą dzielnika napięcia — motor-generatora (syst. Della Riccia).

b) Dodatkowe wzbudzenie silników z sieci trakcyjnej.

c) Dodatkowe wzbudzenie silników z przetwornicy,

d) Dodatkowe wzbudzenie silników z baterji akumulatorów.

2. Silniki bocznikowe.

3. Silniki szeregowo-bocznikowe.

a) Silniki, zasilane napięciem zmiennej wysokości zapomocą dzielnika napięcia — motor-generatora (syst. Somajni),

b) Silniki połączone stale w szereg.

c) Silniki połączone stale równolegle.

d) Silniki połączone w szereg i równolegle przy jeździe i odzyskiwaniu energii.

4. Silniki szeregowo-bocznikowe, pracujące podczas jazdy tylko jako szeregowy.

a) Silniki, pracujące jako szeregowy podczas całej jazdy.

b) Silniki, pracujące jako szeregowy tylko w połączeniu równoległym.

Rozpatrzymy pokolei wszystkie powyżej wymienione systemy.

1. Silniki szeregowy.

Zasadniczą tendencją systemów odzyskiwania energii przy zastosowaniu silników szeregowych była chęć wyzyskania do tego celu istniejących silników, ponieważ ze względu na trudne warunki ekonomiczne niechętnie są one zastępowane przez silniki nowe.

Silnik szeregowy bez odpowiednich zmian nie nadaje się do odzyskiwania energii, gdyż, chociaż mógłby wytwarzać, załączony na sieć, napięcie wyższe od napięcia sieci i oddawać prąd, jednak jest wtedy ogromnie czuły na wahania napięcia sieci. Każde zmniejszenie się tego napięcia powoduje powiększenie prądu, posyłanego do sieci, to zaś ze swej strony powiększa wzbudzenie silnika trakcyjnego i jego siłę elektromotoryczną, co wzmacnia jeszcze bardziej prąd oddawany i t. d. Zjawisko to czyni zupełnie niemożliwą pracę silnika szeregowego jako prądnicy na sieć i dlatego w systemach odzyskiwania energii przy zastosowaniu silników szeregowych w chwili hamowania silniki pracują jako obcowzbudne, co daje czystą charakterystykę bocznikową, lub przez zastosowanie specjalnego układu ich charakterystyka zmieniana jest na podobną do charakterystyki prądnicy szeregowo-bocznikowych.

a. System Della Riccia.

System ten, który obecnie przestał być stosowany ze względu na bardzo skomplikowany układ i aparaturę, był praktycznie zastosowany na kolei nadziemnej w Hamburgu oraz na kolei podziemnej w Buenos-Aires.

W wozie zainstalowany jest dzielnik napięcia w formie dwóch maszyn, w których każdy twornik posiada dwa uzwojenia oraz dwa kolektory. Tworniki obu maszyn osadzone są na wspólnym wale i wszystkie cztery ich uzwojenia połączone są w szereg na całkowite napięcie sieci. Wzbudzenia obu maszyn są także załączone na sieć poprzez oporniki regulujące i prąd wzbudzenia regulowany jest w ten sposób, że przy powiększaniu wzbudzenia jednej maszyny wzbudzenie drugiej zmniejszane jest o taką samą wartość. Każdy z silników trakcyjnych wraz z szeregowo połączonym swoim wzbudzeniem jest podczas rozruchu kolejno łączony na jedno, dwa, trzy lub cztery uzwojenia dzielnika napięcia tak, że, korzystając także z regulacji wzbudzenia dzielnika, otrzymujemy przy rozruchu na każdym silniku kolejno napięcia $1/12$, $2/12$, $3/12$ i t. d. aż do $12/12$ całkowitego napięcia sieci.

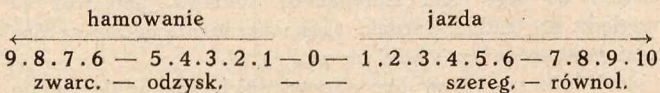
Przy hamowaniu z odzyskiwaniem energii wzbudzenia silników trakcyjnych, połączone między sobą w szereg, są zasilane przez specjalną prądnicę, której prąd może być zmieniany przez regulację jej wzbudzenia, tworniki zaś silników łączone są w rozmaity sposób na dzielnik napięcia. Poza to pod koniec hamowania z odzyskiwaniem można przełączyć silniki na normalne hamowanie zwarciowe, które prowadzi do całkowitego zatrzymania pociągu.

Próby, przeprowadzane w Hamburgu, dały oszczędności w zależności od odległości międzyprzystankowej od

23% do 41,5% w stosunku do zużycia energii przy zwykłym systemie hamowania i rozruchu. Układ pracował bardzo dobrze.

b. *Dodatkowe wzbudzenie silników szeregowych z sieci trakcyjnej.* (System A. E. G.)

Podczas rozruchu i jazdy silniki są załączone i pracują tak, jak przy zwykłych silnikach szeregowych. W chwili hamowania korbę nastawnika cofa się na 0 i następnie na pierwsze stopnie hamowania; wtedy zostaje zamknięty układ odzyskiwania energii, przytem tworniki silników są połączone w tym układzie szeregowo, zaś wzbudzenia zasilane są oddzielnie wprost z sieci przez odpowiednio regulowane opory. Na kontaktach hamulcowych od 6 do 9 następuje zwykłe hamowanie zwarciove, aż do całkowitego zatrzymania wozu. Schematycznie możemy przedstawić układ nastawnika, jak następuje:



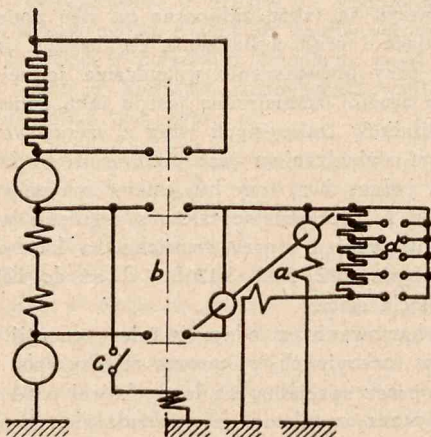
Układ odzyskiwania włącza się automatycznie na sieć dopiero wtedy, gdy napięcie jego jest o 20 woltów wyższe od napięcia sieci. Gdy napięcie w sieci spadnie (np. wskutek wyłączenia automatu na elektrowni), hamowanie na kontaktach od 1 do 5 odbywa się zwarciovo na oporniki. Układ powyższy był zastosowany w Chemnitz, gdzie przy próbach na wozie silnikowym wraz z przyczepnym, gdy przyczepny był hamowany zapomocą solenoidu, otrzymano oszczędność 11%. Próby przeprowadzono także w Kassel, we Frankfurcie, w Koyasan (Japonja), a następnie w Sztokholmie (gdzie osiągnięto oszczędność 5%) i w Bad-Homburg (oszczędność 10 do 12%).

Małe stosunkowo oszczędności są wywołane dużym zużyciem energii, straconej na zasilanie z sieci uzwojeń wzbudzących, a poza tem pozostawieniem w tym systemie nieekonomicznego rozruchu opornikowego.

c. *Dodatkowe wzbudzenie silników z przetwornicy.*

a) *System Bergmanna.*

Nieco uproszczony układ połączeń tego systemu jest przedstawiony na rys. 4. W wozie mamy zainstalowaną przetwornicę (a), której silnik (szeregowy) załączony jest do sieci, zaś prądnicą (bocznikowa) o wzbudzeniu, regulowanym przez nastawnik (d), wzmacnia wzbudzenie silników trakcyjnych.

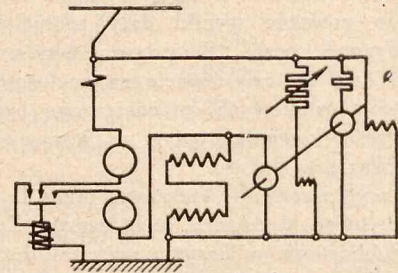


Rys. 4.

Układ połączeń wozu dwumotorowego syst. Bergmanna.

- a — przetwornica,
- b — przełącznik hamulcowy,
- c — wyłącznik hamulcowy,
- d — nastawnik hamulcowy.

Rozruch odbywa się normalnie według dawnego sposobu opornikowego, przy szeregowym i równoległym połączeniu silników. Gdy prowadzący wagon chce rozpocząć hamowanie, cofa korbę na ostatni kontakt szeregowy i jednocześnie naciska wyłącznik (c). Wtedy zostaje puszczone w ruch przetwornica i odbywa się odzyskiwanie energii,



Rys. 5.

przyczem nastawnik hamulcowy (d) jest sprzężony z nastawnikiem głównym mechanicznie w taki sposób, że, przestawiając w stronę 0 korbę walca głównego, reguluje się jednocześnie wzbudzenie prądniczy przetwornicy (a) oraz otrzymuje się coraz silniejsze hamowanie z odzyskiwaniem energii. Po przeciwnej stronie 0 znajdują się normalne kontakty hamulcowe zwarciove, zapomocą których można hamować wóz w razie zmniejszenia się napięcia w drucie roboczym i w celu całkowitego zatrzymania wozu. System ten został wypróbowany w Hannoverze, gdzie otrzymano oszczędność 32% w stosunku do zużycia energii przy zwykłym systemie szeregowym. Prądnicza przetwornicy, chociaż jest przewidziana dla dużego prądu, posiada bardzo małe napięcie, dlatego moc całej przetwornicy wynosi ok. 3 kW a waga — 170÷200 kilogramów.

Nastawnik nie jest przerabiany, tylko dołączony jest obok niego nastawnik hamulcowy (d), mechanicznie sprzężony z głównym.

β) *System Frankfurtu nad Menem.*

We Frankfurcie nad Menem zastosowano układ, podobny do powyżej opisanego z tą tylko różnicą, że uniknięto wyłącznika hamulcowego (c rys. 4), zaś odzyskiwanie jest wykonywane na specjalnych kontaktach hamulcowych, znajdujących się na nastawniku po drugiej stronie 0 (jak normalne hamulcowe). Poczynając od 0, na 1-ym, 2-im i 3-im kontakcie hamowanie jest z odzyskiwaniem energii, zaś na 4-ym i 5-ym ma miejsce zwykłe hamowanie opornikowe. Układ połączeń podaje rys. 5.

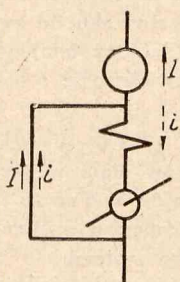
Otrzymano oszczędność od 35 do 38% w stosunku do systemu dawnego hamowania.

γ) *System Siemens.*

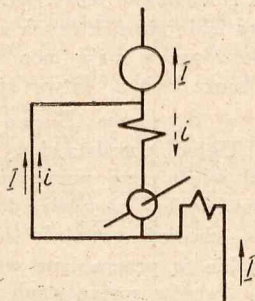
W ostatnich czasach Siemens opracował nowy układ odzyskiwania zapomocą przetwornicy; twornik prądniczy jest szeregowo połączony z twornikiem silnika trakcyjnego i jego wzbudzeniem. Układów takich może być trzy: (rys. 6, 7 i 8).

W układzie, podanym na rys. 6, na prąd wzbudzenia silnika trakcyjnego (i) nie wpływa wcale główny prąd (I); układ odzyskiwania ma charakter silników bocznikowych. W układach, podanych na rys. 7 i 8, wzbudzenie silnika trakcyjnego jest zależne częściowo i od prądu głównego (I), przepływającego przez jego twornik, układ zatem ma charakter szeregowo-bocznikowy, różnicowy. Dobierając odpowiednio opornik R (rys. 8), możemy otrzymać układ, w którym prąd odzyskany będzie w bardzo małym stopniu zależny od prędkości wozu, dzięki czemu do odzyskiwania energii wystarczy wogóle jeden stopień nastawnika. Taki

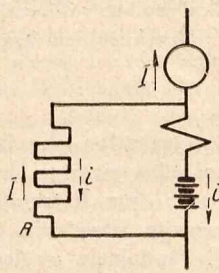
układ jest stosowany w Saartal, gdzie odzyskiwanie dokonywane jest na 1-ym kontakcie hamulcowym, a kontakty 2, 3, 4 i 5 skuteczniają zwykle hamowanie zwarciove. Otrzymano tam oszczędność 28% przy wadze całego urządzenia ok. 10% wagi wyposażenia elektrycznego wozu.



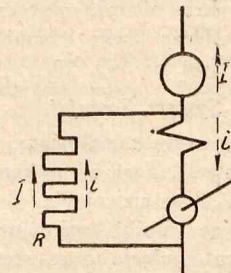
Rys. 6.



Rys. 7.



Rys. 8.



Rys. 9.

d. *Dodatkowe wzbudzenie silników z baterji akumulatorów.*

Zasada tego systemu jest podobna do poprzednio opisanych, przetwornicowych. Rozruch szeregowych silników trakcyjnych odbywa się przy zastosowaniu oporników. Przy przełączeniu nastawnika na odzyskiwanie energii silniki trakcyjne zostają połączone w pewien układ (rys. 9) wraz z baterją akumulatorów oraz opornikiem R.

Przez odpowiedni dobór napięcia baterji oraz oporu R można osiągnąć dowolny kształt zależności odzyskiwanego prądu I od prędkości wozu i dlatego ilość kontaktów odzyskiwania energii może być znacznie mniejsza, przytem charakterystyka silnika w chwili hamowania podobna jest do charakterystyki prądnicy szeregowo-bocznikowej, różnicowej. Próby takiego układu z baterją akumulatorów były wykonywane w Stuttgardzie w r. 1932, lecz nie dały wyników zadowalających ze względu na koszt utrzymania akumulatorów. Później wznowiono je znów we Wrocławiu, gdzie od początku 1933 r. kursuje wóz doświadczalny, zaopatrzony w urządzenie tego systemu. Tutaj zostały zastosowane akumulatory żelazo-niklowe, które podczas rozruchu połączone są w szereg z silnikiem jako część oporników rozruchowych i w ten sposób są ładowane. Sposób ten, możliwy jedynie przy użyciu akumulatorów żel.-nikl., ma jeszcze tę dobrą stronę, że nie powoduje dużego zużycia energii, która przy ładowaniu wprost z sieci musiałaby być niszczone w opornikach, a pozatem pozwala odzyskać zapomocą akumulatora część energii, która tracona jest normalnie podczas rozruchu. Możliwe jest jednak stosowanie takiego sposobu ładowania tylko w tych przedsiębiorstwach, gdzie nie ma większych i długich wzniesień; w przeciwnym razie konieczne jest dodatkowe doładowywanie baterji. Hamowanie zwarciove jest uskuteczniiane przez zwarcie silników trakcyjnych na oporniki, pozostawiając włączoną baterję i opornik R, jak przy odzyskiwaniu energii (rys. 9). Wskutek tego charakterystyka hamowania $J=f(v)$ i w tym wypadku jest bardzo korzystna i pozwala na zastosowanie tylko 3 stopni hamulcowych.

System ten działa podobno dotychczas ku zupełnemu zadowoleniu.

2. *Silniki bocznikowe.*

Zastosowanie w celu odzyskiwania energii silników bocznikowych spotyka się w bardzo niewielu przedsiębiorstwach, gdyż silnik ten dla pracy trakcyjnej posiada cały szereg wad, jak: duży pobór mocy przy wjeżdżaniu na

wzniesienia czy łuki, dużą indukcyjność bocznikowego uzwojenia wzbudzenia i t. d.

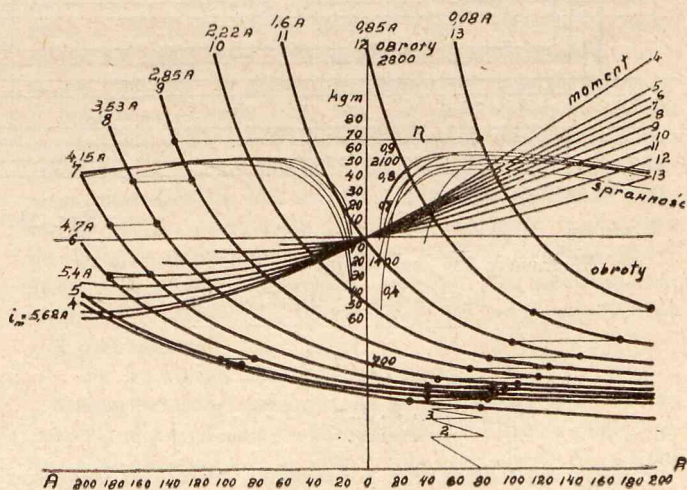
System Alexandria & Ramleh Railway Co.

Silniki bocznikowe zostały zastosowane, o ile mi wiadomo, jedynie w tramwajach w Aleksandrii, gdzie linje

tramwajowe położone są na poziomie, gdzie zatem odpadają niektóre trudności, wynikające z charakteru bocznikowego silników. Pracują one od 1931 r. przy łączeniu szeregowem i równoległym silników, lecz na przyszłość ma być wprowadzone stałe połączenie stałe silników (w szereg lub równoległe). Przypuszczam, że ma to na celu zmniejszenie trudności przy przełączaniu silników o dużej samoindukcji. Hamowanie zwarciove nie jest wcale stosowane, a zatrzymanie całkowite wozów jest uskuteczniiane przez hamulce pneumatyczne. Osiągnięta oszczędność wynosi 21,5%.

3. *Silniki szeregowo-bocznikowe.*

Silniki szeregowo-bocznikowe łączą w sobie poczęści wszystkie zalety i wady silników szeregowych i bocznikowych i zbliżają się do jednych lub drugich w zależności od stosunku amperozwojów wzbudzenia szeregowego do bocznikowego. Regulując ten stosunek, mamy możność w rozmaitych okolicznościach dopasowywać charakter silnika, ażeby wyzyskać dobre strony zarówno silników szeregowych, jak bocznikowych. Pracując podczas odzyskiwania energii jako prądnice na sieć, nie są one tak bardzo czułe na wahania napięcia sieci, jak silniki szeregowe, — tem-



Rys. 10.

Charakterystyki obrotów, momentu i sprawności silnika szeregowo-bocznikowego.

bardziej, że pracują wtedy przeważnie w układzie wzbudzenia różnicowym, który daje pracę najspokojniejszą.

Główną zaletą silników szeregowo-bocznikowych jest, podobnie jak silników bocznikowych, zupełnie automatycz-

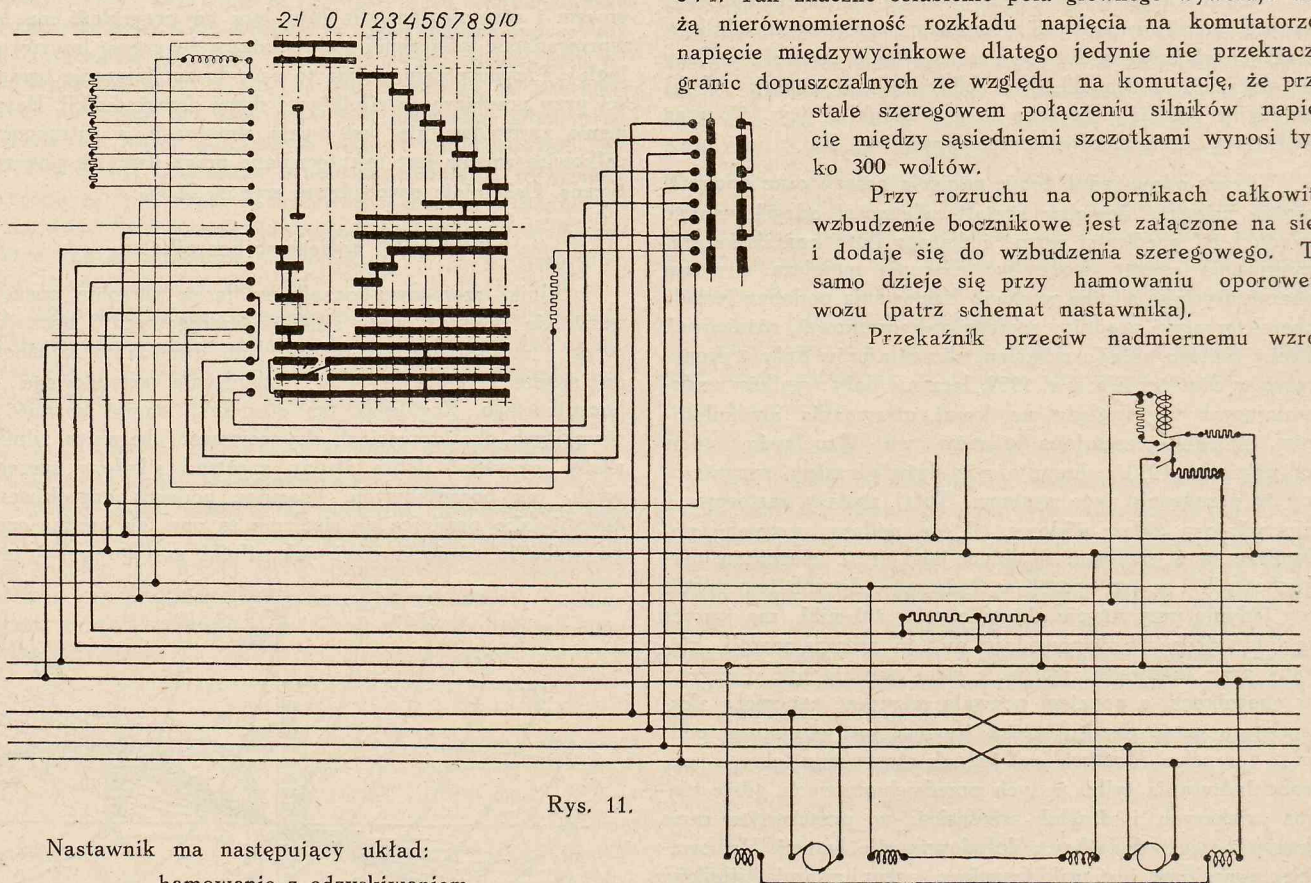
ne oddawanie prądu na sieć, bez żadnego dodatkowego przełączania z chwilą przekroczenia przez wóz określonej dla danego kontaktu prędkości. Wtedy też, spowodu zmiany kierunku prądu, następuje jednocześnie odwrotny kierunek strumienia szeregowego, który przeciwdziała, co jest najbardziej odpowiednie, strumieniowi bocznikowemu.

Wykres charakterystyczny silnika szeregowo-bocznikowego podczas jazdy i hamowania z odzyskiwaniem energii podany jest na rys. 10.

a. System Somajni.

Na wozie zmontowany jest motor-generator jako dzielnik napięcia. Jest on wykonany jako jedna maszyna, która posiada trzy uzwojenia twornika oraz trzy komutatory. Włączając silniki trakcyjne na rozmaite uzwojenia tego dzielnika napięcia oraz szeregowo i równoległe względem siebie, otrzymamy na zaciskach każdego silnika 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 3/4 oraz całkowite napięcie sieci.

Odzyskiwanie energii otrzymujemy na tych samych kontaktach nastawnika, co rozruch, i wywołujemy je po rozpędzeniu wozu przez proste cofnięcie korby na poprzedni kontakt.



Rys. 11.

Nastawnik ma następujący układ:

hamowanie z odzyskiwaniem

← jazda

0 — 1 . 2 . 3 . 4 — 5 . 6 . 7 . 8
szereg. równol.

Na kontaktach 7 i 8 uzwojenie szeregowo magnesów jest bocznikowe.

System ten stosowany był w Medjolanie, gdzie dał 26% oszczędności, oraz w Rzymie, gdzie oszczędność zużycia energii wyniosła 22%. Dalszego zastosowania system ten nie miał ze względu na skomplikowane i kosztowne urządzenie oraz na trudności, spowodowane przerywaniem obwodu silników przy każdym przejściu z jednego kontaktu na drugi.

b. Silniki połączone stałe w szereg.

System ten stosowany jest chętnie, gdyż posiada nadzwyczajną prostotę układu połączeń, wymaga jednak zastosowania silników o znacznie większej mocy, niż przy systemach z przełączaniem silników na połączenie szeregowo i równoległe; może być więc zastosowany tylko przez te przedsiębiorstwa, których silniki w stosunku do swych warunków pracy mają moc za dużą lub też tam, gdzie moc ich może być w łatwy sposób powiększona.

a) System Bacquerisse I.

Układ, przedstawiony w roku 1930 w Warszawie, polegał właśnie na połączeniu silników stałe w szereg. Zastosowany był on wtedy do tramwajów w Paryżu i dotychczas, chociaż powstały nowe, późniejsze systemy, wozy paryskie są przerabiane według tego systemu.

Zwojów szeregowych jest tutaj wogóle niedużo i dzięki temu można osiągnąć duże osłabienie pola, a zatem duże granice prędkości, przy których odzyskiwanie jest możliwe. W tym systemie możemy hamować z odzyskiwaniem energii przy prędkościach wozu pomiędzy 40 km/godz. i 8 km/godz., czyli przy stosunku granicznych prędkości 5:1. Tak znaczne osłabienie pola głównego wywołuje dużą nierównomierność rozkładu napięcia na komutatorze; napięcie międzywycinkowe dlatego jedynie nie przekracza granic dopuszczalnych ze względu na komutację, że przy stałe szeregowo połączeniu silników napięcie między sąsiednimi szczotkami wynosi tylko 300 woltów.

Przy rozruchu na opornikach całkowite wzbudzenie bocznikowe jest załączone na sieć i dodaje się do wzbudzenia szeregowego. To samo dzieje się przy hamowaniu oporem wozu (patrz schemat nastawnika).

Przekaznik przeciw nadmiernemu wzro-

stowi napięcia w sieci odłącza układ odzyskiwania, gdy napięcie silników dojdzie do 675 woltów.

Konieczność większej mocy silników, wywołana przez stałe połączenie szeregowo, zaspokojona została w Paryżu przez zmianę przekroju drutu w tworniku z okrągłego na kwadratowy, co dało możliwość pomieszczenia większego przekroju.

Nastawnik posiada układ następujący:

hamow.

hamowanie

←

← jazda

2 . 1 — 0 — 1 . 2 — 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 9 . 10
ham. rozruch. jazda i
opor. opor. odzyskiwanie

Układ połączeń wozu wskazuje rys. 11, na którym wi- dać, że wzdłuż wozu idzie tylko 12 kabli, z których 2, jako napięciowe, mogą mieć znacznie mniejszy przekrój, niż pozostałe. Układ jest nadzwyczaj prosty.

W Paryżu otrzymano oszczędność energii 25% przy jednoczesnym zmniejszeniu wagi urządzenia elektrycznego wozów o ok. 400 kg i uproszczeniu układu połączeń.

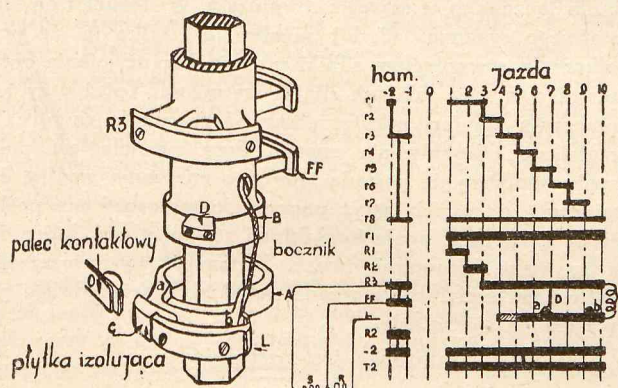
Przeróbka wyposażenia jest tak niewielka, że roczna oszczędność kosztów energii 2 razy przewyższa oprocento- wanie i amortyzację kosztów przeróbki.

Ten sam układ zastosowano także w Berlinie i otrzy- mano od 13,5% do 20% oszczędności w porównaniu do po- przedniego zwykłego systemu silników szeregowych. Gran- nicę prędkości przy odzyskiwaniu wynoszą tam od 35 km/godz. do 8,0 km/godz.

β) System Bacquerisse II.

Mała ilość zwojów szeregowych, zastosowana przy po- przednim systemie, jest wygodna przy rozruchu, gdy ko- rzystny jest szeregowy charakter silnika trakcyjnego. Z dru- giej strony, przy odzyskiwaniu energii jest to konieczne, ażeby otrzymać duże granice prędkości, w których to od- zyskiwanie jest możliwe.

Ażeby te dwie sprzeczności pogodzić, w silniku tego systemu jest więcej zwojów szeregowych, niż przy syste- mie poprzednim, zaś na nastawniku zastosowany jest kon- takt ślizgowy (rys. 12), który przy posuwaniu korby wpród na kontaktach jezdnych od 1 do 4 daje całkowite wzbud- zenie szeregowo, zaś na kontaktach od 5 do 10 boczni- kuje to wzbudzenie do 50%. Przy cofnięciu korby chociaż- by o jedno położenie w stronę 0 kontakt ślizgowy powo- duje jeszcze silniejsze zbocznikowanie wzbudzenia szere- gowego, nadając silnikowi podczas odzyskiwania energii charakter zbliżony bardziej do bocznikowego.



Rys. 12.

System ten próbowany w Paryżu dał oszczędność oko- ło 30%, lecz nie przyjął się ze względu na komplikacje nastawnika przez kontakt ślizgowy.

c. Silniki połączone stale równoległe.

Ażeby moc i waga silnika była możliwie mała, żeby więc można było łatwo przerabiać istniejące silniki na sze- regowo-bocznikowe, stosowane jest stałe połączenie rów- noległe silników. Jest to jednak rozwiązanie trudne na- ogół ze względu na komutację, gdyż przy tak dużym osła- bieniu pola i nierównomiernym rozkładzie napięcia na ko- mutatorze, a następnie przy dużym napięciu między szczot- kami (pełne napięcie sieci) otrzymujemy wysokie napięcie międzywycinkowe.

Dlatego więc w przedsiębiorstwach, stosujących ten system, osłabienie pola biegunów głównych, a co za tem idzie i granice prędkości, przy których odzyskiwanie jest

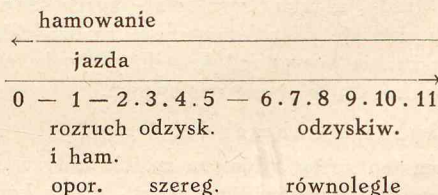
możliwe, są stosunkowo nieduże. W Marsylji stosunek tych prędkości wynosi 3,4:1, zaś w Wersalu 2,3:1. Z tego powodu należy się spodziewać, że i oszczędności energii będą przy tym systemie mniejsze, niż przy innych.

d. Silniki, połączone w szereg i równoległe.

System ten nie wymaga tak dużego osłabienia pola, jak przy połączeniu stale w szereg, gdyż granice odzyski- wania energii są powiększone przez przełączanie silników w szereg i równoległe. Jednocześnie potrzebna moc silni- ków, w stosunku do poprzednio używanego normalnego sy- stemu silników szeregowych, niewiele się zmienia, szcze- gólniej, gdy przy poprzednim systemie zastosowane było hamowanie elektryczne zwarciove (6 do 8%). Trudności przy tym systemie polegają jedynie na przełączeniu z połą- czenia szeregowego na równoległe układu, w którym znaj- duje się uzwojenie bocznikowe silników, posiadające znacz- ną indukcyjność. Systemy tego przełączania są rozmaite i polegają na zwieraniu silników w czasie przełączania lub też na całkowitem przerwaniu uzwojeń bocznikowych. Wa- da tych systemów w porównaniu do 2-ch systemów poprzed- nich polega na znacznie bardziej skomplikowanym układzie połączeń.

α) System Lièvre.

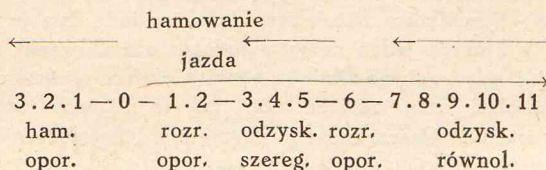
Stosowany od roku 1930 w Marsylji oraz Wersalu da- je takie osłabienie pola, że na każdym połączeniu szerego- wem czy równoległym stosunek prędkości przy odzyskiwa- niu wynosi 3:1, czyli, uwzględniając przełączanie, stosu- nek ten dla wozu przedstawia się jak 6:1. Z powodu tak dużego stosunku prędkości wystarcza do rozruchu jeden tyl- ko stopień rozruchu opornikowego. Schemat nastawnika jest następujący:



Przejsie z położenia 5 na 6 powoduje przełączenie silników z położenia szeregowego na równoległe i dlatego powinno być ono specjalnie wolno wykonywane. Przez co- fanie korby następuje odzyskiwanie energii, aż do poło- żenia 2, zaś przy cofaniu korby z 2 na 1 wyłącza się auto- matycznie połączenie z siecią jezdnią i silniki zostają zwar- te na oporniki, co powoduje hamowanie zwarciove wozu. Z tego więc powodu przy tym systemie wyłączenie prądu bez zahamowania nie jest możliwe; niemożliwa jest zatem jazda bez prądu, z rozpędu. Gdy napięcie przy odzyski- waniu wzrosło do 675 woltów, wtedy zostaje także prze- rwane połączenie z siecią jezdnią. Oszczędność w stosunku do dawniej stosowanego zwykłego systemu wyniosła 10,6÷ 31,6% dla wozów silnikowych, 16÷25% dla wozu silniko- wego z przyczepnym i 25,4÷35,7% dla wozu silnikowego z 2 przyczepnemi.

β) System Manchesteru.

System ten, który zastosowano także w Glasgowie, jest zu- pełnie podobny do poprzednio opisanego. Różnica polega je- dynie na umieszczeniu na nastawniku oddzielnych kontaktów hamowania zwarciovego z przeciwnej strony 0. Układ na- stawnika jest następujący:



Przez przeniesienie hamowania zwarcioowego na drugą stronę 0 umożliwiało wyłączenie podczas jazdy prądu, przez szybkie przestawienie korby nastawnika na 0. Stosunek granicznych prędkości odzyskiwania wynosi tutaj 4,91 : 1.

W Manchesterze i w Glasgowie osiągnięte oszczędności wahają się w zależności od rodzaju linii od 12,1% do 26,9%.

4. Silniki szeregowo-bocznikowe, pracujące podczas jazdy jako szeregowy.

Systemy te łączą zalety poprzednio opisanych 3 b, c i d, gdyż przede wszystkim ze względu na możliwość przełączania w szereg i równoległe podczas jazdy moc silników bardzo niewiele się różni od mocy silników przy systemie zwykłym, bez odzyskiwania energii; nie posiadają następnie tych trudności komutacyjnych, które były przy stałym połączeniu równoległym silników (3c); oprócz tego, dzięki zastosowaniu wyłącznie stałego szeregowego połączenia silników przy odzyskiwaniu energii, unika się kłopotliwego przełączania wzbudzenia bocznikowego z układu szeregowego na równoległy. Przy równoległym połączeniu silników uzwojenia bocznikowe wzbudzenia są w tym systemie całkowicie odłączone i silniki pracują jak zwykle szeregowo.

Ponieważ silniki pracują częściowo jako szeregowy, muszą posiadać liczbę zwojów szeregowych stosunkowo dużą; wzbudzenie szeregowo jest podczas odzyskiwania bardzo silnie zbocznikowane.

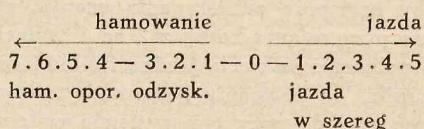
a. Silniki, jako szeregowy podczas całej jazdy.

Przy tym systemie silniki pracują jako szeregowy podczas całej jazdy, a jako szeregowo - bocznikowe przy odzyskiwaniu, istnieje więc konieczność rozdzielania kontaktów odzyskiwania energii od kontaktów jazdy przez przeniesienie ich na drugą stronę nastawnika.

α) System Schwenda.

System ten został oddawna zastosowany w Norymberdze, a pierwsze tak wyposażone wozy zaczęły kursować już w roku 1926.

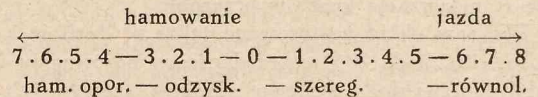
Nastawnik tam stosowany posiada następujący układ kontaktów:



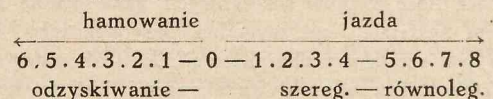
Silniki podczas jazdy posiadają czynne jedynie uzwojenie szeregowo wzbudzenia, uzwojenie bocznikowe jest całkowicie odłączone. Rozruch więc odbywa się zupełnie podobnie, jak przy dawnym systemie silników szeregowych przy stałym połączeniu silników w szereg; na 4-ym kontakcie oporniki rozruchowe zostają wyłączone, zaś na kontakcie 5 wzbudzenie silników zostaje zmniejszone przez odwrotne załączenie uzwojenia bocznikowego. Gdy motorowy chce hamować z odzyskiwaniem, musi cofnąć korbę poprzez 0 na kontakty hamulcowe, gdzie na 1-ym, 2-im i 3-im kontakcie jest odzyskiwana energia przy stałym połączeniu szeregowym silników, zaś na 4-ym, 5-ym, 6-ym i 7-ym silniki połączone są na oporniki i następuje normalne hamowanie zwarcioowe. Podczas odzyskiwania silniki pracują jako prądnicę szeregowo - bocznikowe, różnicowe. Układ posiada dwa przekazy, z których jeden załącza podczas odzyskiwania silniki na sieć, gdy napięcie silników stanie się nieco wyższe od napięcia sieci, drugi odłącza sieć, gdy to napięcie wzrośnie zbyt wysoko. Oszczędności, osiągnięte w Norymberdze, wynoszą ok. 30%.

β) System Hamburgski.

Zasadniczy układ nastawnika jest podobny do poprzedniego. Różnica polega jedynie na tym, że podczas jazdy, gdy silniki pracują jako szeregowy, zostają one najpierw połączone w szereg, a następnie równoległe, co zmniejsza wymaganą ich moc. Przy odzyskiwaniu są stale połączone w szereg, przytem wzbudzenia szeregowy są wtedy znacznie osłabione przez bocznikowanie (do 16% swej wartości). Schemat nastawnika w tramwajach Hamburga jest następujący:



Otrzymano tam oszczędność od 15 do 24% energii. W kolei nadziemnej w Hamburgu zastosowano zupełnie podobny układ, różniący się jedynie schematem nastawnika, który jest następujący:



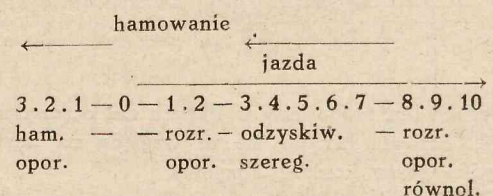
Podczas odzyskiwania wzbudzenie szeregowy jest osłabione do 25% swej normalnej wartości, całkowicie wykorzystanej przy jeździe. Hamowania opornikowego tutaj nie ma, gdyż wozy są zaopatrzone w hamulce pneumatyczne, które zatrzymują całkowicie wóz. Oszczędności osiągnięte wynoszą 23 ÷ 29%.

b. Silniki, jako szeregowy tylko w połączeniu równoległym.

α) System Bacquerisse III.

System ten został opracowany przez Bacquerisse'a po doświadczeniach z dwoma swymi poprzednimi systemami oraz z systemem silników szeregowo - bocznikowym, gdzie silniki łączone są w szereg i równoległe. W stosunku do tego ostatniego systemu (3 d) różnica jest tylko ta, że przy połączeniu równoległym silniki pracują bez uzwojenia bocznikowego, a więc tak, jak silniki szeregowy. Toteż przy tem połączeniu nie jest uskuteczniane odzyskiwanie energii. To pominięcie odzyskiwania energii przy równoległym połączeniu silników nie posiada istotnego znaczenia według doświadczeń paryskich, gdyż poprzednio motorowi nie posługiwali się prawie wcale kontaktami równoległymi, które dają za słabe hamowanie wozu. Natomiast to uproszczenie ułatwia całkowicie przełączenie silników z szeregowego połączenia na równoległe.

Schemat nastawnika jest następujący:



Uzwojenie szeregowo wzbudzenia posiada 50 zwojów. Przy rozruchu na kontaktach 1 i 2 połączone są jednokierunkowo pełne wzbudzenia szeregowy i bocznikowe; na kontaktach odzyskiwania wzbudzenie szeregowy jest znacznie osłabione, gdyż wynosi zaledwie 16% swej normalnej wartości; na kontakcie 8 przy połączeniu równoległym jest znowu szeregowo załączony opornik rozruchowy, który na 9 stopniu zostaje wyłączony, wreszcie na ostatnim stopniu jazdy wzbudzenie szeregowy jest osłabione do 80% swej wartości. Przy hamowaniu oporowem silniki pracują ze wzbudzeniem szeregowym i bocznikowym, przy połączeniu równoległym tworników pomiędzy sobą.

Z powyższego dosyć pobieżnego przeglądu najrozmaitszych systemów widać, że możemy, pomijając drobną ilość układów, mało stosowanych, podzielić wszystkie powyżej przytoczone na dwie grupy. Jedna, korzystając z dawniej używanych silników szeregowych, wprowadza jedynie dodatkowe urządzenia do nich, druga zaś stosuje do trakcji silniki szeregowo - bocznikowe. Chciałbym omówić najważniejsze różnice, zachodzące między nimi.

Systemy silników szeregowych (1) pozostawiają przeważnie rozruch zupełnie taki sam, jak w układzie bez odzyskiwania energii, polegający na szeregowym włączaniu oporników rozruchowych. Przy silnikach szeregowo - bocznikowych (3 oraz 4b), poza paroma koniecznymi stopniami rozruchu opornikowego, rozruch następuje przez zmianę wzbudzenia silników, nie powodując żadnych strat energii. Dzięki temu ogólna oszczędność energii jest większa w tych samych warunkach ruchu przy zastosowaniu silników szeregowo - bocznikowych, gdyż (patrz rys. 2 i 3) zaoszczędzona być może energia zarówno W_1 jak i W_3 w porównaniu do samej W_3 , oszczędzanej przy silnikach szeregowych. W związku z tym odmienne jest manewrowanie korbą nastawnika w tych dwóch grupach systemów. Przy silnikach szeregowo-bocznikowych w chwili, gdy motorowy chce zwolnić bieg wagonu, cofa korbę o jeden kontakt, lub też, gdy chce otrzymać silniejsze hamowanie — o więcej kontaktów w stronę 0. Przy silnikach szeregowych musi przetrzucić korbę nastawnika na położenie 0 i przestawiać ją następnie na położenia hamulcowe. Ta konieczność wyłączenia prądu przed zahamowaniem wozu ma swoją dobrą stronę w tem, że ułatwia motorowemu jazdę pomiędzy przystankami „bez prądu”, co stanowi najbardziej ekonomiczny sposób użytkowania żywej siły wozu do celów trakcji. Jednak przy dużych średnich prędkościach, stosowanych obecnie w tramwajach, czas jazdy bez prądu jest z konieczności bardzo skrócony, przechodzenie zaś korbą poza położenie zerowe, powoduje jedynie trudniejszą pracę nastawnika. Przy silnikach szeregowo-bocznikowych niema pozatem trudności z wyłączeniem chwilowym prądu (przy przejeździe pod izolatorami), gdyż przy szybkim przetrzucaniu korby na 0 ze względu na dużą samoindukcję uzwojeń nie powstanie żaden moment hamujący.

Zastosowanie silników szeregowo - bocznikowych daje w porównaniu do silników szeregowych cały szereg korzyści jezdnych, to znaczy, takich położeń nastawnika, na których jazda nie powoduje strat energii. Ważne to jest w ruchu ulicznym wtedy, gdy posuwanie się wozu jest utrudnione ze względu na przeszkody (np. przemarsz wojsk, manifestacje, pogrzeby i t. p.). Wóz z silnikami szeregowo - bocznikowymi może się posuwać powoli, nie powodując strat energii oraz nie niszcząc nastawnika przez ciągłe przestawianie korby na pierwszy kontakt jazdy i cofanie na 0, co ma miejsce przy silnikach szeregowych.

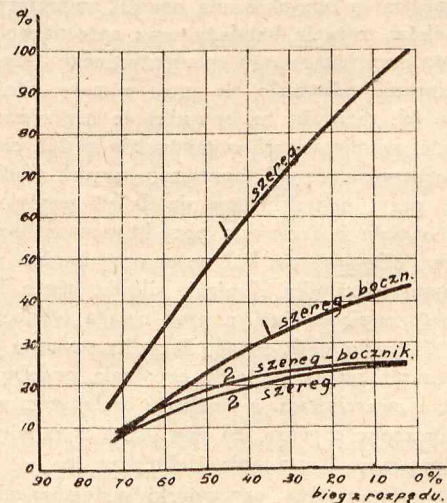
Pozatem przy silnikach szeregowo - bocznikowych nastawnik często jest znacznie prostszy, niż przy silnikach szeregowych, z tego względu, że regulowany jest w nim jedynie prąd wzbudzenia, a nie główny prąd twornika; nadto posiada on mniej kontaktów.

Poza powyższymi te dwie grupy systemów nie wykazują ważniejszych różnic pomiędzy sobą. Silniki szeregowe są stosowane w tych przedsiębiorstwach, które wolały mieć nieco bardziej skomplikowany układ połączeń wozu, czy zainstalować dodatkowe urządzenia, zamiast przerabiać silniki na szeregowo - bocznikowe. Systemy silników szeregowo - bocznikowych posiadają naogół dużo prostsze układy połączeń, lecz ich silniki są zwykle nieco większe, droższe i posiadają gorszą sprawność, niż silniki szeregowe.

Porównyując pomiędzy sobą różne systemy, możemy stwierdzić, że oprócz różnic, które zostały już opisane poprzednio, bardzo ważnym czynnikiem jest kształt krzywych zależności prędkości wozu (v) od prądu hamującego (I) na danym kontakcie nastawnika. Gdy krzywa $v = f(I)$ jest bardziej stroma, gdy zatem przy dużych zmianach prędkości wozu następuje na tym samym kontakcie mała zmiana prądu, a co za tem idzie i mała zmiana momentu hamującego, wtedy otrzymujemy cały szereg korzyści: 1^o do uskutecznienia hamowania pomiędzy dwiema prędkościami potrzebna jest mniejsza liczba kontaktów, 2^o jeżeli przy odzyskiwaniu energii silniki są połączone równolegle, to ogólne obciążenie równiej jest rozłożone na dwa silniki, 3^o mniejsza jest obawa niedozwolonego przeciążenia czy ognia na komutatorze silnika, 4^o układ jest mniej czuły na zmiany napięcia sieci, 5^o ponieważ jest wtedy mniej kontaktów hamowania, prowadzącemu wóz łatwiej jest utrafić na właściwy, dający odpowiednie hamowanie, kontakt; wóz jest więc łatwiejszy do prowadzenia. W układach powyżej opisanych dużą stromość charakterystyki $v = f(I)$ mają układy, stosujące silniki szeregowe, a przy silnikach szeregowo - bocznikowych te, które przy odzyskiwaniu posiadają dużą liczbę amperozwojów szeregowych, dających strumień, odwrótnie skierowany do strumienia bocznikowego. Pod tym więc względem układy z zastosowaniem silników szeregowo - bocznikowych, gdzie następuje połączenie w szereg i równoległe silników, posiadają wyższość nad systemami stałego połączenia szeregowego.

Niezależnie od stosowanego systemu odzyskiwanie energii daje cały szereg korzyści. Ważniejsze z nich są następujące:

1. Znacznie mniejsze zużycie energii, której oszczędność w stosunku do układu zwykłego bez odzyskiwania waha się w zależności od systemu i warunków od 10% do 40%. Szczególniej ważny jest tutaj fakt, że zużycie energii jest w znacznie mniejszym stopniu zależne od średniej prędkości handlowej, niż ma to miejsce przy dotychczas stosowanym systemie silników szeregowych. Widać to wyraźnie z rys. 2 i 3, gdzie przy większych prędkościach na początku hamowania otrzymujemy znacznie większy procent energii W_3 ; widać to pozatem bardzo wyraźnie z wykresu, przedstawionego na rys. 13, gdzie porównane są zużycia energii oraz prędkości handlowe dla rozmaitych rodzajów przejazdu między przystankami, odległymi o 260 metrów, silnikiem szere-



Rys. 13.

Wpływ zwiększenia prędkości handlowej na zużycie energii w silnikach szeregowych i szeregowo - bocznikowych przy odległości międzyprzystankowej 260 m.

- 1-procentowy wzrost zużycia energii,
- 2-procentowy wzrost prędkości handlowej.

gowym i szeregowo - bocznikowym. Znaczenie odzyskiwania energii będzie więc większe w tych przedsiębiorstwach, które mają bardziej wyciągniętą wyższą średnią prędkość handlową. Poza to zmniejszy się znacznie zużycie energii tam, gdzie linie posiadają dużo spadków i wzniesień. Wielkość odzyskanej energii zależna jest w znacznym stopniu od składu pociągu tramwajowego. Będzie ona większa dla samego wozu silnikowego, lub dla wozu tego z przyczepnym, gdy przyczepny nie jest hamowany podczas odzyskiwania energii. W przeciwnym zaś razie, gdy na wozie przyczepnym zainstalowany jest solenoid lub hamulec szynowy, który jest zasilany prądem odzyskiwanym, procent oszczędności będzie znacznie mniejszy.

2. Zużycie energii mniej zależy od sposobu jazdy prowadzącego wóz. Przy zwykłych silnikach bez odzyskiwania różnica w zużyciu energii przez dwóch motorowych, z których jeden jedzie prawidłowo, a drugi nieprawidłowo prowadzi rozruch i niepotrzebnie hamuje, — dochodzi w praktyce do 30%. Przy odzyskiwaniu energii niepotrzebne hamowania wozu zużywać będą znacznie mniej energii z elektrowni, a przy zastosowaniu silników szeregowo - bocznikowych rozmaity sposób rozruchu w małym stopniu zmieni zużycie energii. Przy tych systemach mniej jesteśmy zależni od umiejętności jazdy motorowego, odzyskiwanie więc energii da tem większe oszczędności, im trudniejsze są warunki ruchu wozów na ulicach.

3. Wobec mniejszego zapotrzebowania prądu, a także i krótszej drogi prądu, mamy do czynienia ze znacznie mniejszymi spadkami napięcia w sieci i otrzymujemy z tego powodu wyższe napięcie na odległych od elektrowni odcinkach sieci, a więc i większą prędkość wozów na krańcach miasta. Poza to, w razie powiększenia ruchu tramwajowego, możemy uniknąć doprowadzania nowych przewodów zasilających na odległe odcinki linii.

4. W wielu przedsiębiorstwach w związku z powiększeniem prędkości handlowej wzrosło obciążenie elektrowni lub podstacji i wywołało konieczność powiększenia ich mocy zainstalowanej. Zmniejszenie zużycia energii dzięki odzyskiwaniu czyni często w tym wypadku, oraz w wypadku powiększenia eksploatacji, wogóle zbędnym powiększanie tych mocy.

5. W tych przedsiębiorstwach, w których poprzednio hamowanie odbywało się przy pomocy klocków hamulcowych, stosowanie odzyskiwania energii zmniejszyło zużycie tych klocków, zużycie bandaży oraz sprężonego powietrza, używanego przy hamowaniu pneumatycznym. Jeżeli poprzednio hamowanie odbywało się przy pomocy silników przez zwieranie ich zacisków na oporniki, to oszczędności na zużyciu wyżej wymienionych organów nie można osiągnąć, natomiast oszczędza się na naprawach samych silników. Praca silników przy odzyskiwaniu nie da się porównać z pracą przy hamowaniu zwarciovem, przy którym następuje szarpnięcie silnika, ślizganie się kół wozu oraz bardzo ciężkie warunki komutacji silnika. Napięcie silnika często dochodzi do podwójnego napięcia sieci, a prąd osiąga jednocześnie wartość 160% prądu godzinowego. Przy hamowaniu z odzyskiwaniem energii mamy także do czynienia, podobnie jak przy hamowaniu zwarciovem, z możliwie najlepszym wykorzystaniem przyczepności wozu, co jest jedną z największych korzyści stosowania hamowania elektrycznego.

Jako pewne wady, czy usterki systemów odzyskiwania można przytoczyć:

1. Nieco bardziej skomplikowany układ połączeń. Niezawsze ma to miejsce, gdyż np. w opisanym powyżej systemie „Bacquerisse I” układ jest znacznie prostszy, niż układ zwykły bez odzyskiwania.

2. Gdy napięcie sieci spadnie do zera, hamowania z odzyskiwaniem energii oczywiście zostaje przerwane. Ponieważ jednak na wozie znajdować się musi ze względów bezpieczeństwa zawsze drugi układ hamowania, który służy także do całkowitego zatrzymania wozu na przystanku, więc motorowy ma możliwość przez użycie tego układu hamować wóz według potrzeby.

W razie, gdyby na odcinku sieci, zasilanej przez podstację, znajdował się tylko jeden wóz, lub gdyby pozostałe wozy w chwili hamowania pierwszego nie pobierały z sieci prądu, może mieć miejsce oddawanie energii na sieć wysokiego napięcia, gdy podstacja jest przetwornicowa lub gdy równoległe do prostowników rzęciowych pracuje choć jedna przetwornica. Poza to oddawanie energii może zachodzić przy zastosowaniu na podstacji prostowników z siatkami sterującymi. Wyżej opisany wypadek może mieć miejsce jedynie na dłuższych liniach elektrycznych kolejek dojazdowych; w rozległej sieci tramwajowej taki wypadek praktycznie zdarzyć się nie może.

3. Przy układach z odzyskiwaniem energii zawsze jest wymagana większa moc silnika trakcyjnego. W niektórych systemach powiększenie mocy jest nieznaczne, gdyż jest wywołane tylko przepływem przez silnik prądu odzyskiwanego. Szczególniej mało różni się moc w tych przedsiębiorstwach, które poprzednio stosowały elektryczne hamowanie zwarciove. W niektórych zaś systemach, wymagane powiększenie prądu mocy ciągłej silnika jest znaczne i dochodzi czasem do 150% prądu poprzedniego, uwzględniając nawet poprzednie hamowanie zwarciove silników. Stanowi to poważną trudność przy przeróbce istniejących silników. Ponieważ jednak duża część silników w przedsiębiorstwach nie jest całkowicie wykorzystana, a poza to ponieważ często można powiększyć moc silnika przez zastosowanie przekroju prostokątnego drutu twornika zamiast okrągłego, dalej przez wzmocnienie wentylacji, zmianę izolacji z bawełnianej na mikiową, a wreszcie ponieważ jest możliwość zmiany stosunku przekładni, więc istnieje możliwość zastosowania dawnych silników nawet przy tak znacznych powiększeniach mocy.

Starałem się możliwie bezstronnie przedstawić wszystkie znane mi dotychczas systemy odzyskiwania energii w tramwajach, korzyści dla eksploatacji, płynące z ich zastosowania, oraz niektóre trudności, z którymi spotkali się projektodawcy przy opracowaniu swych systemów. Czy przy istniejącym taborze tramwajowym przeprowadzenie koniecznych zmian w celu odzyskiwania energii będzie się opłacać poszczególne przedsiębiorstwom, tego zgóry zupełnie ściśle przewidzieć nie można, gdyż zależy to od ceny prądu, warunków ruchu, poprzedniego zużycia energii, od obioru systemu odzyskiwania i związanego z tem kosztu instalacji i od wielu innych czynników; jednak na mocy wielu doświadczeń można twierdzić, że dla znacznej większości przedsiębiorstw przeprowadzenie zasady odzyskiwania energii będzie się kalkulowało, a następnie można z całą stanowczością zapewnić, co zresztą było stwierdzone przez Kongres komunikacji miejscowej w roku 1932, że przy instalowaniu nowych urządzeń wagonowych systemy odzyskiwania energii są najbardziej zalecane.

LITERATURA.

L. B a c q u e r i s s e. Equipement à récupération d'énergie à moteurs compoud de la S. T. C. R. P. Sprawozdania z kongresu U. I. T. Warszawa 1930.

L. B a c q u e r i s s e. Equipement à récupération d'énergie à moteurs compoud. Sprawozdania z zebrania U. I. T. Paryż 1930.

L. Bacquerisse i W. Mattersdorff. Les moteurs de traction et la récupération. Sprawozdania z kongresu U. I. T. Haga 1932.

H. Becker. Stromrückgewinnung bei Strassenbahnen. Verkehrstechnik 1932.

G. Cuccoli. Freinage à récupération. Sprawozdania z kongresu U. I. T. Rzym, 1928.

Guery. Comparaison du couplage série-prallèle et du couplage série-permanent des moteurs compound R. G. E. 1931.

C. Haller. Stromrückgewinnung im Strassenbahnbetriebe. Verkehrstechnik 1932.

Keitel i Schwend. Die Stromrückgewinnungs-Systeme in Chemnitz und Nürnberg, Sprawozdanie zjazdu U. I. T. Paryż 1930.

Lièvre. Equipements à récupération d'énergie pour

tramways. Sprawozdanie z kongresu Unji Kolei Żelaznych i Transportów Samochodowych, Algier 1930.

Otto. Stromrückgewinnung mit Umformer. Verkehrstechnik 1932.

R. Podoski. Silniki szeregowo-bocznikowe w trakcji elektrycznej. Przegląd Elektrotechniczny 1931.

Royval. Equipements à récupération d'énergie pour tramways. R. G. E. 1931.

J. Riedl. Der Nutzbremskoeffizient im Strassenbahnbetrieb. Verkehrstechnik 1931.

C. Straszak. Projekt zastosowania silników szeregowo-bocznikowych w tramwajach warszawskich. Sprawozdanie z ogólnokrajowego Zjazdu Komunikacji miejscowej. Warszawa 1932.

K. Töfflinger. Die Nutzbremmung von Strassen- und Schnellbahnen. E. T. Z. 1932 i 1933.

PORÓWNANIE TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ I SILNIKOWEJ.

Inż. Wiktor Przelaskowski.

Streszczenie. Wpływ ogólno-światowego kryzysu na koleje i jego skutki. Powstanie nowych środków lokomocji: wagonów silnikowych i autobusów szynowych; rodzaje napędu tych wozów. Porównanie technicznych walorów trakcji elektrycznej i silnikowej. Ustalenie zakresu porównania kosztów przy różnych rodzajach trakcji. Zależność tych kosztów od gęstości ruchu. Koszty, zależne od rodzaju trakcji; odpisy na amortyzację; procentowanie kapitału. Obliczenie kosztów przy trakcji elektrycznej, przy trakcji z silnikami na lekkie paliwo: benzynę, mieszanekę i t. d., oraz przy trakcji z silnikami na ciężkie paliwo. Porównanie kosztów przy różnych rodzajach trakcji i wnioski.

Uwagi ogólne.

Przed przystąpieniem do omawiania powyższego zagadnienia uważam za swój miły obowiązek złożyć uprzejme podziękownia tym wszystkim Przedsiębiorstwom Komunikacyjnym, które odpowiedziały na me zapytanie i nadesłały dane eksploatacyjne i statystyczne, dotyczące swych przedsiębiorstw.

Te dane umożliwiły mi obliczenie przeciętnych wartości poszczególnych wielkości, mających wpływ na koszty eksploatacji i dały mi realną podstawę do dokonania porównania trakcji elektrycznej z silnikową.

Kolej, jedna z podstawowych składowych części organizmu gospodarczego, przeżywa pewien kryzys w swym rozwoju, związany niewątpliwie z ogólno-światowym kryzysem gospodarczym. Polega on na trudności, a w wielu wypadkach wprost na niemożliwości dostosowania kosztów przewozów kolejowych do możliwości płatniczej społeczeństwa w okresie ogólnego zubożenia i do bardzo znacznego zmniejszenia się ilości przewozów. Kryzys kolejowy został jeszcze pogłębiony przez powstanie i bardzo znaczny rozwój nowego środka przewozowego, a mianowicie samochodu.

Kryzys i konkurencję przewozów samochodowych odczuwają zarówno koleje główne znaczenia ogólnego, jak i koleje lokalne, dojazdowe; te ostatnie w znacznie silniejszym stopniu, niż koleje znaczenia ogólnego.

Po pewnym okresie apatii i poszukiwań sposobów ratowania zagrożonej egzystencji koleje poszły po linii zwalczania przeciwnika jego własną bronią.

Ta idea spowodowała zastosowanie na szeroką skalę silnika spalinowego do napędu wagonów kolejowych, dzięki czemu powstały tak zwane wagony silnikowe; w następnym etapie rozwoju ta idea spowodowała próby przystosowania samochodów do ruchu po szynach. W ten sposób powstały autobusy szynowe najprzeróżniejszych typów.

Zagadnienie porównania trakcji elektrycznej i silnikowej jest nadzwyczaj obszerne, tak różnorodne i tak zależne od miejscowych warunków w każdym poszczególnym wypadku, że dokładne przeanalizowanie tematu wymagałoby bardzo obszernej studjum.

W ramach niniejszego krótkiego referatu będę mógł dać tylko bardzo schematyczne porównanie tych dwóch rodzajów trakcji, zdając sobie zupełnie dokładnie sprawę z tego, że tematu nie wyczerpię i że w wielu konkretnych wypadkach porównanie, dokonane w pewnych określonych warunkach ruchu, może dać rezultaty odmienne od ustalonych przezemnie.

Obliczenie kosztów trakcji elektrycznej zostało oparte na przeciętnych danych z całego szeregu przedsiębiorstw komunikacyjnych w Polsce, nie dotyczy jednak żadnego poszczególnego przedsiębiorstwa. Koszty trakcji silnikowej zostały oparte na danych z nielicznych eksploatacyj w kraju oraz na danych z fachowej literatury zagranicznej.

Jak już zaznaczyłem, wozy silnikowe, kursujące po szynach, można podzielić na dwie grupy, mianowicie: wagony silnikowe o budowie, zbliżonej do wagonów kolejowych, i autobusy szynowe o budowie, zbliżonej do autobusów drogowych. Pod względem napędu każda z powyższych grup może być zasadniczo podzielona na cztery podgrupy w zależności od rodzaju silnika, mianowicie na wozy z silnikami: parowym, benzynowym, ropowym i elektrycznym, czerpiącym energię z baterji akumulatorów. Uważam, że ten ostatni rodzaj trakcji należy zaliczyć raczej do trakcji silnikowej, niż do trakcji elektrycznej, której cechą zasadniczą jest obecność źródła energii nazewnątrz wozu i dopływ jej przez sieć napowietrzną lub przez trzecią szynę.

Ze względu na stosunkowo małe rozpowszechnienie wagonów z silnikami parowymi i z akumulatorami, ograniczę się w dalszych porównaniach tylko do wozów, napędzanych silnikami spalinowymi na paliwo lekkie i ciężkie.

Wagony silnikowe są obecnie stosowane jedynie na kolejach; o zastosowaniu ich w przedsiębiorstwach tram-

wajowych dotychczas nie słyzałem. W swych rozważaniach ograniczę się do porównania trakcji elektrycznej i silnikowej na kolejach dojazdowych znaczenia miejscowego.

Porównanie rodzajów trakcji z punktu widzenia technicznego.

Pod względem walorów technicznych trakcja elektryczna przewyższa, według mego zdania, trakcję silnikową z powodu nadzwyczajnej prostoty konstrukcji silnika elektrycznego, ogromnej jego przeciążalności i prawie nieograniczonego zasobu energii elektrycznej w sieci jezdnej. Ruch kolejowy pociąga za sobą bardzo nierównomierne zapotrzebowanie energii, silnik więc, dostosowany do przeciętnego zapotrzebowania tej energii, musi posiadać zdolność wytrzymywania znacznych przeciążeń i musi posiadać źródło energii o dostatecznie dużej mocy.

Moc silnika spalinowego może być chwilowo powiększona najwyżej o 20% w porównaniu do mocy nominalnej, co pociąga za sobą konieczność znacznego zmniejszenia szybkości na wzniesieniach, albo też wymaga stosowania silników stosunkowo za dużej mocy do ruchu na poziomie.

Szeregowy silnik elektryczny, stosowany w kolejnictwie, posiada zdolność wytrzymywania przeciążeń, ograniczoną jedynie granicą nagrzewania się silnika oraz iskrzeniem szotek; wskutek tego można chwilowo przeciążyć ten silnik do 200% mocy godzinnej.

Dzięki powyższym właściwościom silnika elektrycznego przyspieszenie rozruchu wagonu, napędzanego tym silnikiem, jest większe, niż wagonu z silnikiem spalinowym, co daje możliwość osiągnięcia z silnikami elektrycznymi przeciętnych szybkości pomiędzy stacjami większych, niż z silnikami spalinowymi przy jednakowej największej szybkości w obu wypadkach.

Prostota konstrukcji silnika elektrycznego pociąga za sobą niskie koszty jego utrzymania i znaczną pewność ruchu. Wstrząsy wagonów są mniejsze przy silnikach elektrycznych, niż przy spalinowych, dzięki czemu spokój podróży jest większy.

Silniki elektryczne są bardziej długotrwałe, niż spalinowe, odpisy więc na ich amortyzację są odpowiednio mniejsze.

Pozatem silnik elektryczny daje możliwość odzyskiwania energii, czego nie może być przy silniku spalinowym; oszczędność, spowodowana odzyskiwaniem energii, dochodzi w tramwajach do 30% zużytej energii.

Właściwości silnika elektrycznego dają pozatem możliwość łączenia kilku jednostek w jeden pociąg, sterowany z jednego miejsca, co ma szczególnie ważne znaczenie przy masowym przewozie osób w okresach ich największego napływu.

Przy wyborze tego lub innego rodzaju trakcji należy również brać pod uwagę naturalne bogactwa danego kraju; do wytwarzania paliwa dla silników spalinowych jest potrzebna ropa, a do wytwarzania energii elektrycznej — węgiel lub spadki wodne. W Polsce posiadamy i ropę i węgiel, oba więc rodzaje trakcji są u nas niejako równorzędne.

Co się tyczy pożarowego bezpieczeństwa ruchu, za najbezpieczniejszy rodzaj trakcji uważam elektryczną, następnie silnikową dyzelską i wkońcu silnikową benzynową.

Ten ostatni rodzaj trakcji jest stosunkowo najmniej bezpieczny, gdyż w razie wypadku: zderzenia, wykolejenia i t. p. benzyna lub mieszanka może się zapalić łatwo, powodując groźny pożar.

W pierwszych miesiącach r. b. we Włoszech na linii kolejowej Rzym — Liworno około stacji Asca wagon silni-

kowy „Littorina” z silnikiem benzynowym, który był demonstrowany u nas w kraju, przejechał wskutek przeoczenia motorniczego zamknięty sygnał i najechał na pociąg osobowy. Wskutek zderzenia nastąpiło rozbicie zbiorników z paliwem, które się natychmiast zapaliło, wagon stanął momentalnie w płomieniach i spłonął wraz z 15 pasażerami i całą obsługą.

Porównanie kosztów trakcji elektrycznej i silnikowej.

Przechodząc do gospodarczej strony zagadnienia, zaznaczam raz jeszcze, że dokładne porównanie kosztów obu rodzajów trakcji jest nadzwyczaj trudne ze względu na zmienność cen materiałów, różnorodność typów wozów i różnice warunków miejscowych; przytoczone porównanie należy więc traktować, jako zupełnie przybliżone.

Ponieważ trakcja elektryczna wymaga sieci jezdnej i podstacy, których koszt jest stosunkowo duży, i prawie nie zależy od natężenia ruchu, wydaje się jasnym, że ten rodzaj trakcji może się opłacać jedynie przy ruchu gęstym, natomiast przy rzadkim ruchu może okazać się tańszą trakcją silnikową.

Przy porównywaniu kosztów obu rodzajów trakcji biorę pod uwagę jedynie koszty zależne od trakcji, a mianowicie: 1) koszt energii elektrycznej wraz z kosztami obsługi podstacy, względnie koszt paliwa i smarów przy silnikach spalinowych; 2) koszt utrzymania sieci jezdnej; 3) koszt utrzymania taboru; 4) odpisy amortyzacyjne powyższych urządzeń; 5) oprocentowanie wyłożonego kapitału.

Dla umożliwienia porównania obliczę koszty przy różnych rodzajach trakcji dla wagonów o jednakowej wadze i pojemności, zakładając pozatem, że na linii będą kursować tylko wagony motorowe bez doczepek. Gdybyśmy porównywali wagony o różnej wadze i pojemności, należałoby obliczać koszty na 1 tkm i na 1 miejsce-km.

Trakcja elektryczna.

Waga wagonów silnikowych nowszej konstrukcji w tramwajach i na elektrycznych kolejach dojazdowych w Polsce waha się od 400 do 640 kg na 1 miejsce do siedzenia. Do obliczenia przyjmuję 500 kg; przy 40 miejscach do siedzenia waga wagonu wyniesie 20 t. Zużycie energii w różnych przedsiębiorstwach waha się od 60 do 100 wh/tkm, licząc wraz ze stratami przesyłania i przetwarzania.

Zużycie energii elektrycznej, przy jednakowej szybkości ruchu i przy jednakowych wagonach, zależy od rodzaju szyn i ich stanu oraz od gęstości przystanków. Wydaje się, że to zużycie powinno być znacznie większe w tramwajach, niż na kolejach dojazdowych, gdyż opór trakcji przy ruchu po szynach rowkowych jest znacznie większy, niż przy ruchu po szynach Vignol'a, a poztem odległości międzyprzystankowe w tramwajach są znacznie mniejsze, niż na kolejach dojazdowych.

Ze względu jednak na znacznie większą szybkość, jaką rozwijają te koleje w porównaniu do tramwajów, jednostkowe zużycie energii na tych kolejach nie różni się w rzeczywistości tak znacznie od zużycia w tramwajach.

Opierając się na danych statystycznych z całego szeregu przedsiębiorstw, przyjmuję do dalszych obliczeń jako przeciętne zużycie po stronie prądu zmiennego wysokiego napięcia 75 Wh/tkm, czyli 1,5 kWh/wag.km. Przy cenie energii elektrycznej 10 gr./kWh, koszt trakcji wyniesie 15 gr./wag.km; ze względu na dodatkowe koszty obsługi podstacy przyjąłem 17 gr./wag.km rachunkowy.

Koszty utrzymania sieci jezdnej zależą od jej budowy, od gęstości ruchu, od stanu torów i od całego szeregu in-

nych okoliczności. Z danych eksploatacyjnych 7-miu większych przedsiębiorstw komunikacyjnych w Polsce wynika, że te koszty wahają się od 500 zł. do 2 350 zł. na 1 km rocznie; przyjmują przeciętną cyfrę 1 300 złotych rocznie. Koszty na 1 wag.km są zależne od gęstości ruchu. Przy ruchu w ciągu 20 godzin na dobę i przy gęstości ruchu co 1 godzinę przebieg w obie strony wyniesie na 1 km trasy ok. 15 000 wag.km rocznie przy ruchu pojedynczym wozem, a koszty utrzymania sieci wyniosą ok. 9 groszy na 1 wag.km, przy ruchu co pół godziny te koszty wyniosą 4,5 grosza; przy ruchu co 15 minut — ok. 2,2 grosza, a przy ruchu co 7,5 minut — 1,1 grosza na 1 wag.km.

Koszty utrzymania taboru, napędzanego silnikami elektrycznymi, wahają się stosownie do danych eksploatacyjnych całego szeregu przedsiębiorstw za 1932 r. i 1933 r. w granicach od 9,5 grosza do 25,3 grosza na 1 wag.km rachunkowy w zależności od typu wagonów, od ilości lat ich użytkowania oraz od miejscowych warunków ruchu. Przeciętny koszt utrzymania wynosi ok. 15 groszy; tę cyfrę przyjmuję do dalszych obliczeń.

Z powyższych danych wynika, że koszty eksploatacyjne, zależne od rodzaju trakcji, są przy elektrycznej trakcji następujące:

Gęstość ruchu co.	Koszty, zależne od rodzaju trakcji, w groszach, za 1 wag.km rachunkowy			
	60'	30'	15'	7,5'
Koszty eksploatacji				
Trakcja	17,0	17,0	17,0	17,0
Utrzymanie sieci jezdnej . .	9,0	4,5	2,2	1,1
„ taboru	15,0	15,0	15,0	15,0
Razem	41,0	36,5	34,2	33,1

Jak widzimy, koszty, zależne od rodzaju trakcji, wahają się w danym wypadku od 41—33,1 grosza/wag.km rach. w zależności od gęstości ruchu, która ze swej strony zależy od ilości pasażerów, zgłaszających się w jednostkę czasu.

Przy porównywaniu kosztów, zależnych od rodzaju trakcji, nie można pominąć odpisów na amortyzację poszczególnych urządzeń, a więc podstacyj, sieci i taboru. Koszt podstacyj jest bardzo różny, zależy bowiem od typu i mocy maszyn, od napięcia oraz od tego, czy podstacja jest automatyczna czy nie. Do obliczenia przyjmuję koszt przeciętnej podstacji prostownikowej nie automatycznej o mocy zespołów prostowniczych 2×450 kW. Ogólny koszt podstacji szacuję na 160 000 zł. i zakładam, że podstacja zasila odcinek linii kolejowej długości 10 km. Odpisy amortyzacyjne wynoszą 10 000 zł. rocznie, czyli 1000 zł. rocznie na 1 km linii stosownie do obliczenia następującego:

Wyszczególnienie	Wartość	Trwałość	Odpisy	
			%	zł.
1) teren	2 550 zł.	—	0	0
2) budynek murowany .	25 000 „	60 lat	1,7	425
3) prostowniki	72 000 „	10 „	10	7 250
4) transformatory . . .	40 000 „	30 „	3,3	1 320
5) urządzenia rozdzielcze, materiały łączeniowe	20 000 „	20 „	5	1 000
Razem	160 000 zł.		ok.	10 000

Przy ruchu co 60' i przebiegu ok. 15 000 wag.km na 1 km linii rocznie, odpisy wyniosą około 6,6 gr., przy ruchu co 30' — 3,3 gr., przy ruchu co 15' — 1,7 gr. i przy ruchu co 7,5' — 0,9 gr./wag.km.

Wielkość odpisów amortyzacyjnych sieci jezdnej zależy w dużym stopniu od tego, czy słupy są żelazne, czy drewniane. Trwałość żelaznych słupów przy należytej konserwacji jest prawie nieograniczona; przyjęta wielkość odpisów wynosi 1%; dla słupów drewnianych, przesycanych, można przyjąć trwałość 12 lat i odpisy 8,3%. Trwałość przewodu jezdnego w tramwajach wynosi od 10 do 20 lat, a na kolejach podmiejskich od 20 do 30 lat; można przyjąć przeciętnie 20 lat i 5% odpisów na amortyzację. Trwałość materiałów izolacyjnych i pozostałego osprzętu sieci wynosi 20 lat; koszty montażu należy amortyzować również w ciągu 20 lat, gdyż przy wymianie przewodu jezdnego i osprzętu sieci należy opłacić robociznę po raz drugi. Koszt jednego kilometra i jednotorowej sieci jezdnej o zawieszeniu łańcuchowym na drewnianych słupach wynosi około 15 000 zł., a na żelaznych słupach — około 25 000 zł.

Według obliczeń dr. R. Haas'a, podanych w książce „Die Rückstellungen bei Elektrizitätswerken und Strassenbahnen“, przeciętne odpisy amortyzacyjne dla sieci na drewnianych słupach wynoszą 5%, czyli 750 zł. rocznie w danym wypadku, a dla sieci na żelaznych słupach — 2,1%, czyli 525 zł.; do dalszych obliczeń przyjmuję sumę 750 zł. rocznie.

Przy ruchu co 60' otrzymujemy roczny przebieg około 15 000 wag.km na 1 km linii, odpisy więc na amortyzację sieci wyniosą $\frac{750 \times 100}{15 000} = 5$ groszy na 1 wag.km, a przy ruchu gęstszym odpowiednio mniej.

Wielkość odpisów na amortyzację wagonów zależy od ich rocznego przebiegu, oraz od tego, czy są używane na liniach miejskich, czy też na pozamiejskich; w tym ostatnim wypadku odpisy są nieco mniejsze. Przy rocznym przebiegu 50 000 km można przyjąć 5% odpisy. Wartość wagonu motorowego kolei podmiejskiej przy trakcji elektrycznej z sieci jest bardzo różna, zależy od typu i wagi wagonu, od ilości silników, od największej szybkości i t. d. Do dalszych obliczeń przyjmuję przeciętną cenę wagonu w wysokości 120 000 zł.; przy 5% stopie odpisy wyniosą 6 000 zł. rocznie, lub też 12 groszy na 1 wag.km przy podanym wyżej przebiegu.

Odpisy na amortyzację możemy zestawzić w następującej tabelicy:

Gęstość ruchu co.	Wydatki, zależne od rodzaju trakcji w groszach na 1 wag.km rachunkowy			
	60'	30'	15'	7,5'
Odpisy na amortyzację				
Podstacje	6,6	3,3	1,7	0,9
Sieć jezdna	5,0	2,5	1,2	0,6
Tabor	12,0	12,0	12,0	12,0
Razem	23,6	17,8	14,9	13,5

Wielkość odpisów waha się od 23,6 grosza do 13,5 grosza na 1 wag.km rachunkowy. Przy czterokrotnym zwiększeniu gęstości ruchu, te koszty zmniejszą się prawie dwukrotnie.

Oprócz odpisów na amortyzację należy, według mego zdania, uwzględnić oprocentowanie kapitału, wydatkowanego na nabycie poszczególnych urządzeń. Przyjmuję oprocentowanie w wysokości 6% rocznie.

Koszt podstacyj na 1 km trasy wynosi $\frac{160 000 \text{ zł.}}{10} = 16 000 \text{ zł.}$, a roczne odpisy na oprocentowanie kapitału — 960 zł. Oprocentowanie kapitału, wydatkowanego na 1 km sieci jezdnej, wyniesie $0,06 \times 15 000 = 900 \text{ zł.}$ rocznie.

Uwzględniając wielkość rocznych przebiegów przy różnej gęstości ruchu, otrzymamy odpowiednie koszty na 1 wag.km rachunkowy; dla podstacji od 6,4 gr. do 0,8 gr., a dla sieci od 6 gr. do 0,75 gr. — 0,8 gr.

Oprocentowanie kapitału, wydatkowanego na nabycie wagonów, przy cenie 120 000 zł. za wagon i przy rocznym przebiegu 50 000 km wyniesie 14,4 gr./wag.km rachunkowy. Koszty oprocentowania kapitału możemy zestawić w następującej tabeli:

Gęstość ruchu co.	Koszty w groszach na 1 wag.km rachunkowy			
	60'	30'	15'	7,5'
Opodatkowanie kapitału, wydatkowanego na:				
Podstacje	6,4	3,2	1,6	0,8
Sieć jezdna	6,0	3,0	1,5	0,8
Tabor	14,4	14,4	14,4	14,4
Razem	26,8	20,6	17,5	16,0
Łączne koszty przy trakcji elektrycznej z sieci jezdnej wynoszą:				
Wydatki eksploat.	41,0	36,5	34,2	33,1
Odpisy na amortyz.	23,6	17,8	14,9	13,5
Oprocent. kapitału	26,8	20,6	17,5	16,0
Ogółem	91,4	74,9	66,7	62,6

Przy ruchu co 1 godzinę powyższe koszty są prawie o 50% większe, niż przy ruchu co 7,5 minut.

Trakcja silnikowa.

Co się tyczy trakcji silnikowej przy pomocy wagonów, napędzanych silnikami spalinowymi, bardzo trudno dać mniej więcej dokładne cyfry kosztów ich eksploatacji z tego względu, że istnieje ogromna różnorodność typów tych wozów, a poza tym brak jeszcze dostatecznie długiego okresu czasu ich eksploatacji, który dałby możliwość ustalenia dokładnych kosztów napraw i utrzymania.

Do porównania weźmiemy dwa typy wozów, napędzanych silnikami na paliwo lekkie i ciężkie.

Dla umożliwienia porównania przyjmę wozy silnikowe o podobnej wadze i pojemności, jak wozy z napędem elektrycznym. Koszty eksploatacji obejmują koszt paliwa, smarów i utrzymania. Odpisy na amortyzację dotyczą jedynie samego wozu, jak również i koszty oprocentowania kapitału, wydatkowanego na nabycie tego wozu.

Wozy z silnikami benzynowymi.

Wielkość zużycia paliwa ustalamy na podstawie danych istniejących przedsiębiorstw.

Na linii Kraków—Kocmyrzów zużycie paliwa przy wagonie o wadze 17,3 t wynosi 35,6 kg/100 km; na linii Kraków — Wieliczka wagon o wadze 32,65 t zużywa 43,2 kg/100 km. Belgijskie Koleje Państwowe podają przeciętne zużycie paliwa w wysokości 36,4 kg/100 km. Na Norweskich Kolejach Państwowych zużycie paliwa przy wadze wagonów od 16,6 t do 24,8 t wynosi przeciętnie 38 kg/100 km.

Dla wozu o wadze 20 t przyjmuję zużycie paliwa w wysokości 50 l/100 km względnie 37,5 kg/100 km/c. g. benzyny lekkiej wynosi 0,72 — 0,73, a benzyny ciężkiej 0,78 — 0,79; przeciętnie 0,75). Zużycie oliwy do silnika przyjmuje w wysokości 2,5 kg/100 km.

Koszty utrzymania i napraw lekkiego wagonu, kursującego na linii Kraków—Kocmyrzów, wynoszą około 15 gr./km, a ciężkiego wagonu, kursującego na linii Kraków—

Wieliczka od 30 gr./km. Koszty utrzymania ciężkich wagonów, eksploatowanych przez szereg linii kolejowych w Ameryce, a mianowicie: Baltimore and Ohio, Boston and Maine, Chesapeake and Ohio, Great Northern, Northern Pacific i t. d. wahają się w granicach od 44 do 89 gr./km. ponieważ cena robocizny w Ameryce jest kilkakrotnie wyższa, niż w Polsce, powyższe koszty odpowiadają naszym kosztom 15—30 gr./km.

Do dalszych obliczeń przyjmuję z pewnym zapasem koszt utrzymania i napraw wagonu z silnikiem benzynowym w wysokości 20 gr./km.

Koszty eksploatacji, zależne od rodzaju trakcji, wyniosą przy tych założeniach:

- 1) paliwo — 0,375 kg po 78 gr./kg 29,3 gr./1 wag.km
- 2) smary 0,025 kg po 200 gr./kg 5,0 " "
- 3) utrzymanie wagonu 20,0 " "

Razem 54,3 gr./1 wag.km

Koszt wagonu silnikowego o wadze 32,65 t, kursującego na linii Kraków—Wieliczka, wynosi około 240 000 zł.; koszt wagonu o wadze 17,3 t, kursującego na linii Kraków—Kocmyrzów, wynosi ok. 140 000 zł. Opierając się na powyższych danych, możemy ustalić koszt wagonu o wadze 20 t na 160 000 zł., przyjmując koszt samego silnika w wysokości 50 000 zł., a koszt wagonu — 110 000 zł.

Odpisy na amortyzację silnika przyjmujemy w wysokości 20%, a samego wagonu — 5%. Przy tych założeniach i przy rocznym przebiegu 50 000 km otrzymamy następujące odpisy na 1 wag.km:

- 1) silnik 20 gr./wag.km
- 2) wagon 11 " "

Razem 31 gr./wag.km

Oprocentowanie kapitału, wydatkowanego na nabycie wagonu, wyniesie przy 6% stopie 9 600 zł. rocznie, względnie 19,2 gr./wag.km.

Suma kosztów eksploatacji, zależnych od rodzaju trakcji, odpisów na amortyzację i oprocentowania kapitału wyniesie 104,5 gr./wag.km rachunkowy, czyli więcej, niż przy trakcji elektrycznej.

Wagony z silnikami dyzłowskimi.

Co się tyczy wagonów z silnikami dyzłowskimi, ilość ich zwiększa się bardzo znacznie w ostatnich czasach, idąc w parze z postępami i ulepszeniami w budowie trakcyjnych silników dyzłowskich. Te wagony są stosunkowo niedługo w eksploatacji, brak więc dokładnych danych co do kosztów ich utrzymania i co do ich długotrwałości.

Próby wagonu wyromu firmy „Eva-Maybach” o wadze 40,5 t i pojemności 80 miejsc do siedzenia i 20 do stania z silnikiem mocy 150 KM przy 1300 obr./min, wykonane w 1928 roku przez Okręgową Dyрекcję Kolei Państwowych w Krakowie, a następnie próby tegoż wagonu w Belgii, dały następujące wielkości zużycia paliwa przy ruchu bez doczepki:

- 1) na linii Kraków—Wieliczka 0,386—0,447 kg/km
- 2) „ Kraków—Katowice 0,480—0,495 „
- 3) „ Kraków—Zakopane 0,490—0,634 „
- 4) „ Kraków—Tarnów — —0,580 „

5) na linjach: Malines—Louvain, Pepinster — Spa, Bruksela—Tervueren, Walcourt — Florenne, przeciętnie 0,450 „

*) Dane, dotyczące wagonów silnikowych Okręgowej Dyrekcyj Kolei Państwowych w Krakowie, zostały zaczerpnięte z referatu p. inż. Norberta Kukuka na V Zjazd Techniczny Inżynierów Wydziałów Mechanicznych, odbyty w Poznaniu w 1929 r.

- 6) zużycie paliwa przez dyzłowski silnik Ganz'a mocy 100/110 KM przy 1000 obr./min. wynosi wg. danych firmy 0,250 „
- 7) zużycie paliwa przez silnik Diesel-Deutz, wyrobu fabr. Humboldt-Deutz-motoren A. G., mocy 80 KM przy 1200 obr./min. wynosi wg. danych firmy 0,210 „
- 8) zużycie paliwa przez wagony Holenderskich kolei o wadze 18,5 t i pojemności 43 miejsca do siedzenia, napędzane silnikami dyzłowsk. mocy 70 KM, wynosi przeciętnie 0,275 „

Opierając się na powyższych danych, przyjmuję dla omawianego wagonu wagi 20 t zużycie paliwa w wysokości 0,3 kg./km.

Koszt smarów u silników na paliwo lekkie wynosi 15—20% kosztów paliwa; koszt smarów u silników dyzłowskich jest większy i wynosi około 30—35% kosztu paliwa.

Koszty utrzymania silników dyzłowskich są również większe, niż koszty utrzymania silników benzynowych; szacuję je w przybliżeniu na 25 gr./km.

Przy tych założeniach koszty eksploatacyjne, zależne od rodzaju traktacji, wyniosą:

1) paliwo — 0,3 kg po 28 gr./kg	8,4 gr./km
2) smary 35% paliwa	2,9 „
3) utrzymanie wagonu	25,0 „
Razem	36,3 gr./km

Koszt nabycia wagonu z silnikiem dyzłowskim jest wyższy, niż wagonu z silnikiem benzynowym; koszt wagonu wagi 20 t. z silnikiem mocy 80—90 KM szacuję na 180 000 zł., ta suma nie jest wygórowana, gdyż koszt ciężkiego wagonu Eva-Maybach wagi 40,5 t wynosi około 300 000 zł. Koszt silnika szacuję na 70 000 zł., a koszt samego wagonu na 110 000 zł.

Przy obliczaniu odpisów na amortyzację należy liczyć się z większą długowiecznością silnika dyzłowskiego, niż silnika benzynowego; ponieważ przy tym ostatnim silniku przyjąłem odpisy na amortyzację w wysokości 20%, dla silnika dyzłowskiego przyjmuję 15%; odpisy dla wagonu pozostają bez zmiany i wynoszą 5%.

Odpisy na amortyzację wyniosą przy tych założeniach i przy rocznym przebiegu 50 000 km:

1) silnik	21 gr./km
2) wagon	11 „
Razem	32 gr./km

Oprocentowanie kapitału przy stopie 6% rocznie wyniesie 21,6 gr./km.

Łączne koszty eksploatacji, amortyzacji i oprocentowania kapitału wynoszą 89,9 gr./km, czyli nieco mniejsze od kosztów przy traktacji elektrycznej i przy ruchu co 1 godzinę; przy gęstszym ruchu traktacja elektryczna jest bardziej ekonomiczna.

W swych obliczeniach nie brałem pod uwagę różnych specjalnych typów wozów silnikowych, jak naprzy-

kład dyzłowskiego wozu „Pauline”, kursującego we Francji na liniach Towarzystwa Kolei Południowych.

Waga tego wozu wynosi zaledwie 6,5 t, pojemność — 61 miejsc do siedzenia, moc silnika — 70 KM, zużycie paliwa — 16 l/100 km, czyli 13,9 kg/100 km; dzięki tak niebywale małemu zużyciu paliwa koszt napędu jest bardzo nieznaczny. Należy jednak przypuszczać, że koszt amortyzacji wagonu, wykonanego z lekkich metali, oraz koszt oprocentowania kapitału muszą być stosunkowo znaczne. Brak danych z dłuższego okresu eksploatacji tego wagonu uniemożliwia danie konkretnej odpowiedzi na pytanie, czy będzie on bardziej ekonomiczny od innych cięższych wozów, czy też nie. Te same uwagi dotyczą dyzłowskiego wozu szynowego A.E.G., wykonanego ostatnio w Anglii; przy konstruowaniu tego wozu zwrócono specjalną uwagę na niską cenę, na małą wagę na 1 pasażera i na stawianie jaknajmniejszego oporu w powietrzu. Waga tego wozu wynosi 19—20 t, pojemność — 78 miejsc do siedzenia, napęd — dyzłowski silnik A. E. C. mocy 1930 KM.

Porównanie trzech rodzajów traktacji: elektrycznej, benzynowej i dyzłowskiej daje następujące wyniki:

Rodzaj traktacji	Wydatki w groszach (wag. km rach.:		
	elektryczna	benzynowa	dyzłowska
Koszty eksploatacyjne.	33,1 — 41,0	54,3	36,3
Amortyzacja.	13,5 — 23,6	31,0	32,0
Oprocentowanie.	16,0 — 26,8	19,2	21,6
Razem	62,6 — 91,4	104,5	89,9

Jak widzimy, traktacja silnikowa jest mniej ekonomiczną, niż traktacja elektryczna, przy gęstościach ruchu, spotykanych na kolejach dojazdowych. Przyczyną tego są mniejsze koszty utrzymania silników elektrycznych, niż silników spalinowych, oraz znacznie większe odpisy na amortyzację tych ostatnich silników; natomiast koszt samego napędu wagonów z silnikami dyzłowskimi jest w wielu wypadkach niższy od kosztów napędu przy traktacji elektrycznej.

Reasumując wszystko wyżej powiedziane, dochodzę do wniosków następujących:

1) pod względem technicznych walorów traktacja elektryczna przewyższa w wielu wypadkach traktację silnikową;

2) na kolejach dojazdowych o ruchu gęstym traktacja elektryczna wydaje się bardziej ekonomiczną, niż traktacja silnikowa;

3) przy ruchu rzadkim, powyżej 1 godziny, traktacja silnikowa staje się ekonomiczniejszą od elektrycznej, a tembardziej od parowozowej, nadaje się więc ona do długich linii o słabym ruchu;

4) dla dania zupełnie pewnej odpowiedzi, jaki rodzaj traktacji jest w danych warunkach ekonomiczniejszy, potrzebne są dłuższe obserwacje i dane eksploatacyjne z ruchu wozów silnikowych w ciągu większego okresu czasu.

UTRZYMANIE SIECI JEZDNEJ.

Inż. E. Napieralski.

Streszczenie. Autor omawia utrzymanie sieci jezdnej wg. systemu Tramwajów Warszawskich. Podane są wytyczne, dotyczące: instrukcji dla pracowników Wydziału Sieci, ilości pracowników i organizacji pogotowia sieci. Najwięcej miejsca zajęła sprawa przewodu jezdnej, jego zdarcie, wymiana lub naprawa. Wspomniano o pomiarach izolacji sieci, luzowaniu i naprężaniu. Przy omawianiu konserwacji słupów żelaznych specjalną uwagę skierowano na sposób malowania natryskiem. Podane są okresy rewizji słupów drewnianych oraz zarys przepisów bezpieczeństwa dla pracowników.

Ze względu na brak danych statystycznych co do polskich tramwajów elektrycznych, temat niniejszy został opracowany wyłącznie na podstawie wieloletniej praktyki w utrzymaniu sieci jezdnej w Tramwajach Warszawskich, t. j. sieci dostosowanej do ślizgacza pałkowego.

Każde przedsiębiorstwo, chcąc prawidłowo zorganizować dział sieci górnej, winno przedewszystkiem opracować instrukcje, dotyczące utrzymania sieci jezdnej. W instrukcji takiej winny być podane okresy: 1 — rewizji przewodu jezdnej, osprzętu sieci i drutów poprzecznych, 2 — pomiarów izolacji sieci, 3 — rewizji słupów i rozet, 4 — podciągania i luzowania przewodu jezdnej oraz przepisy bezpieczeństwa dla pracowników sieci i t. d. Instrukcję tę musi znać każdy pracownik sieci.

Ilość pracowników zależy od długości sieci jezdnej i wzrasta nieproporcjonalnie do długości. Zależność ta podana jest na tablicy Nr. 1.

Tablica 1.

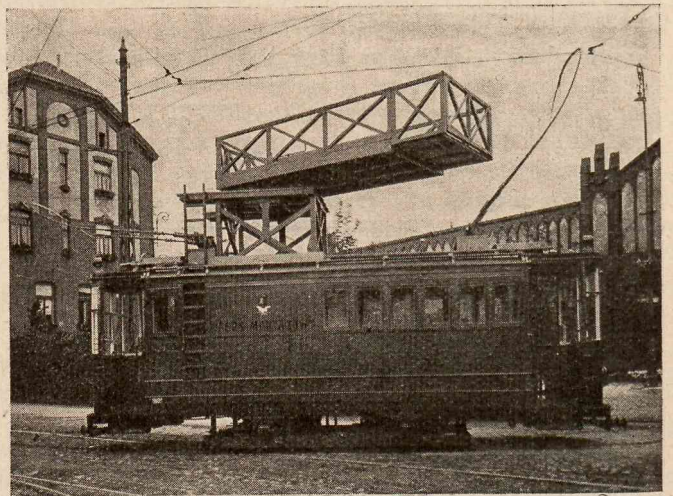
Długość sieci pojedynczej w km	Ilość pracowników do utrzymania sieci górnej	Ilość wozów montaż.	Ilość podmajstrzych	Ilość miejsc pogotowia
200	44	6	5	3
150	33	5	5	2
100	22	3	4	2
50	12	2	4	1
25	8	2	3	Pogotowie może być na sieci
10	8	2	3	

Drużyny pracowników należy zaopatrzyć przedewszystkiem w wóz montażowy (konny, samochodowy lub wagon) z podnoszoną platformą - wieżą. W wozie takim powinny znajdować się następujące narzędzia:

Bloczki z linką 10 mm	1 szt.	Skrętaki do drutu	
" " " 8 mm	1 "	profilowego	2 "
Pasy ochronne z torbą	1 "	Skrętaki do drutu	
Łańcuchy z 2 kółkami	1 "	okrągłego	2 "
Zaciski z 2 hakami	5 "	Nożyce do cięcia drutu	1 "
" z 1 hakiem	5 "	Łomy	1 "
Ściągła kompletne (trawersy)	1 para	Cęgi płaskie 250 mm	1 "
Młotki stalowe 1 kg	1 szt.	" do rur	1 "
" drewniane	1 "	Przecinacze 200 mm	1 "
Klucze różne	17 "	Dobijaki do końcówek	1 "
Skrętaki do wieszaków	1 "		

Przebijaki	1 "	Oliwiarki	1 "
Kątniki do odciągania końcówek	1 "	Piłki do drzewa	1 "
Pilniki różne do żel.	3 "	Szczotki druciane do podwozi	1 "
" do drzewa	1 "	Miotły	1 "
Śrubokręty	3 "	Łopaty	1 "

Bardzo wygodny w eksploatacji jest wagon montażowy, pokazany na rys. 1. Pomieszczenie na tabor oraz warsztat dla pracowników sieci najlepiej wybierać przy zajezdni wagonowej. Warsztat powinien posiadać niezbędne choć najprostsze obrabiarki, ułatwiające pracę personelowi sieci, dyżurującemu w tem pomieszczeniu, a mianowicie: 1 kowadło, 1 kuźnia połowa, 3 imadła, 1 toczak i 1 wiertarka do 20 mm.



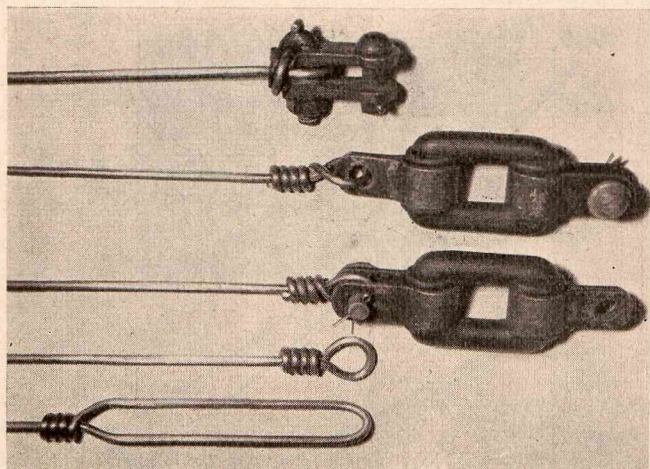
Rys. 1.

Wagon montażowy z podnoszonym i obracanim balkonem.

Pracownicy, dyżurujący przy wozie montażowym, stanowią t. zw. „pogotowie sieci”. Skład pogotowia jest następujący: kierownik (ślusarz), pomocnik i woźnica lub kierowca. Nie należy traktować wagonu montażowego jako wozu pogotowia, a to ze względu na trudności dojazdu do miejsca wypadku. Konieczne jest, ażeby pogotowie sieci miało pewne połączenie telefoniczne oraz dobrą sygnalizację alarmową, dla szybkiego wezwania funkcjonarzystów pogotowia. Czas od alarmu do wyjazdu przy wozach montażowych samochodowych nie powinien trwać dłużej, niż 5 minut, przy wozach konnych — 8 minut, lecz tylko wtedy, gdy konie, będące w pogotowiu, stoją w uprzęży. Przy eksploatacji sieci dłuższej, niż 25 km, lub sieci krótszej, lecz wybiegającej poza miasto, wóz pogotowia powinien stać w zajezdni, a drużyna pogotowia — w warsztacie; przy sieci krótszej, niż 25 km, i nie wybiegającej poza miasto można używać wozu i pracowników pogotowia do normalnej pracy przy sieci na mieście, lecz w pobliżu miejsca, z którego możnaby było szybko wezwać ich do wypadku.

Oprócz drużyn pogotowia, jak widać z tablicy Nr. 1, powinien być zorganizowany zespół pracowników, którym powierza się utrzymanie sieci górnej, t. j. przeprowadzanie rewizji i napraw,

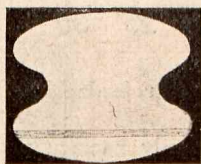
Rewizja drutów poprzecznych i odciągowych na całej ich długości powinna odbywać się w okresach 5-letnich. Niezależnie od tego łącznie z rewizją przewodu jezdnego, sprawdzający sieć bada również pobieżnie druty poprzeczne. W celu zabezpieczenia od rdzy, druty poprzeczne i od-



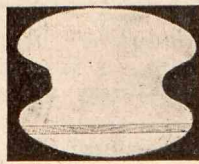
Rys. 2.

Różne sposoby zakańczania drutów poprzecznych.

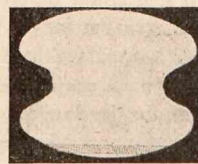
ciągowe galwanicznie pokryte są warstwą cynku; cynk ten z czasem schodzi z powierzchni i wówczas drut rdzewieje. W takich wypadkach Tramwaje Warszawskie próbowały zabezpieczyć druty w sposób czworaki: 1) smo-



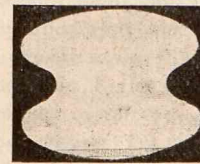
Rys. 3.



Rys. 4.



Rys. 5.



Rys. 6.

Zdarcia przewodu jezdnego.

lując, 2) smarując tłuszczem, 3) minując i 4) malując farbą pokostową. Ten ostatni sposób okazał się najlepszym. Druty poprzeczne najlepiej zakańczać końcówkami żelaznymi, jeśli zaś stosować „oczka”, to należy umocowywać je do osprzętu w taki sposób, ażeby, przystępując do zamiany, nie przecinać drutu.

Średnica drutu poprzecznego na liniach prostych nie powinna być mniejsza od 5 mm, na łukach i odciągach — 6 mm. Najczęściej stosowane są przewody jezdne następujące: miedziane „A” — o średnicy 8 mm, „B” — profilowe 65 mm² — spłaszczona ósemka, „C” — profilowe 100 mm² — ósemka o dolnym brzuszku większym; żelazne o średnicach 8 i 10 mm. Przewód miedziany o średnicy 8 mm używany jest na druty dodatkowe; przewód profilowy 65 mm² stosuje się jako normalny przewód jezdny, zaś profil 100 mm² ma zastosowanie w śródmieściu na liniach o dużym ruchu, lub przy liniach, wybiegających poza miasto, ze względu na spadek napięcia.

Przewody żelazne, wprowadzone u nas przez okupantów niemieckich, zastępowały rekwirowane przewody miedziane. Obecnie znajdują doskonałe zastosowanie przy budowie sieci nad torami w zajezdniach. Zaznaczyć należy, że w tym przypadku zostawiamy nad jednym torem przewód miedziany, traktując go jako zasilanie.

Zużycie przewodu jezdnego polega na zdzieraniu miedzi przez ślizgacze, przesuwane się pod przewodem.

Zdzieranie to zależy od kilku czynników, przede wszystkim od ilości przejazdów, następnie od stopnia twardości miedzi przewodu jezdnego i aluminium lub innego metalu, z jakiego wykonany jest ślizgacz, pozatem od siły nacisku ślizgacza na przewód jezdny oraz od stanu szyn i strzałki zwisu przewodu.

Na rys. 3, 4, 5 i 6 widać, jak ilość przejazdów wpływa na zdarcie, w tablicy zaś II podane są dane dokładne.

Tablica II.

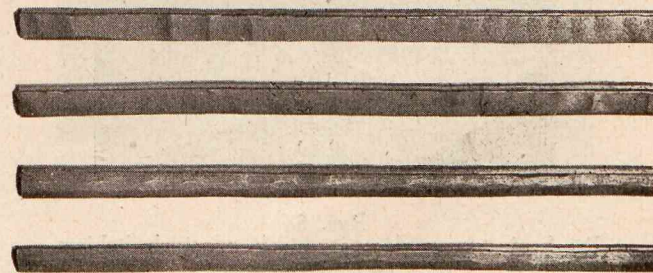
rys.	Miejsce obserwacji	Czas zdarcia	Zdarcie w mm ² na 100000 przejazdów	Ilość przejazdów w ciągu roku
3	Krak.-Przedm. 11	1.V.30-15.III.33	0.266	512 825
4	Marszałkowska 108	21.V.30-15.III.33	0.402	391 280
5	Puławska—pętla	25.V.30-26. I.33	0.589	121 180
6	Nowy Zjazd 1	6.V.32-30. I.34	0.349	450 775

Wszystkie czynniki, wpływające na zużycie przewodu jezdnego, z wyjątkiem pierwszego, mogą być tak dobrane i uregulowane, ażeby przewód jezdny był jaknajlepiej zabezpieczony od zdzierania.

Twardość przewodu jezdnego i ślizgacza regulują odpowiednio przepisy*). Nacisk ślizgacza jest kontrolowany przez zajezdnie; w Tramwajach Warszawskich wynosi on 2,5 kg. Należyte utrzymanie i uregulowanie szyn wpływa dodatnio na stan przewodu jezdnego. Faliste zużycie

szyn, jak również wybite rozjazdy, odbijają się na przewodzie jezdny, dając na jego powierzchni identyczny ślad w postaci falistego zdarcia (rys. 7).

Zaznaczyć należy, że w pobliżu przystanków, w miejscu, gdzie wagon rusza i zużywa przeto więcej energii, na sieci daje się zauważyć większe zużycie przewodu. Szczególniej dało się to zaobserwować przed wprowadzeniem w Tramwajach Warszawskich systemu trójprzewodowego, gdyż



Rys. 7.

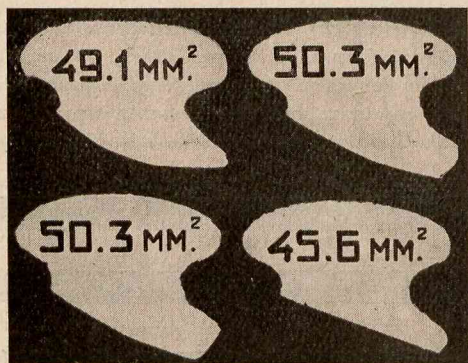
Faliste zdarcie przewodu jezdnego.

*) patrz Przepisy Polskiego Komitetu Normalizacyjnego: twardość miedzi — 80⁰; twardość aluminium — 60⁰ Brinella.

wówczas przewód jezdny był włączony na biegun dodatni. Szybkie to zużycie jest wyraźnym zjawiskiem przenoszenia z przewodu dodatniego cząsteczek elektrododatnich (cząsteczki metalu, wodór i zasady). Ilość metalu zależy od ilości prądu (1 amper na godzinę zabiera 2,35 g miedzi).

Przewód jezdny, zdzierając się, zmniejsza swój przekrój. Jeśli przekrój ten zmniejszy się tak, że przy normalnym naciągu (około 600 kg) wystąpi niedopuszczalne naprężenie na rozrywaniu, przystępujemy do wymiany przewodu.

W Tramwajach Warszawskich przewody jezdne wymieniamy, jeżeli wysokość drutu okrągłego o średnicy 8 mm spadnie do 5,1 mm a wysokość profilowego obniży się do 5,5 mm (wysokość nowego przewodu jezdnego 65 mm² równa się 8,4 mm); ze zmniejszeniem się wysokości przewodu jezdnego stopień bezpieczeństwa również maleje z 4,3 przy nowym przewodzie do 2,8 przy przewodzie, wymagającym wymiany. Ponieważ grubość 5,5 mm uważamy za niebezpieczną, miejsce to należy naprawić. Są dwa sposoby: albo wymiana przewodu na nowy, albo zabezpieczenie. Wymienić można najmniej jedno pole (odległość pomiędzy drutami poprzecznymi równa około 33 m) i wtedy, jeśli niebezpieczny przekrój znajdujemy na odcinku dłuższym, niż 2 m, lub jeśli miejsc takich, chociażby nawet krótkich, jest kilka; w przeciwnym razie stosujemy zabezpieczenie. Zabezpieczenie polega na przymocowaniu zapomocą zacisków, obok zdartego przewodu jezdnego, odcinka drutu profilowego, którego dolny brzuszek wystaje poniżej przewodu jezdnego. Wówczas ślizgacz nie zdiera już przewodu jezdnego, lecz sunie po drucie zabezpieczającym; obserwujemy wtedy, że w miejscach wejścia ślizgacza z przewodu jezdnego na zabezpieczenie i zejścia z niego następuje silne i szybkie zdercie przewodu jezdnego. Z czasem więc długość drutu zabezpieczającego należy zwiększać, wskutek czego ciężar wzrasta i zwis powiększa się, co w konsekwencji wpływa na dalsze zdzieranie przewodu jezdnego. Zabezpieczenia, jak wspomniano wyżej, przymocowuje się zapomocą zacisków, zakładając ich conajmniej po dwa z każdej strony miejsca zagrożonego. W Tramwajach Warszawskich długość zabezpieczenia pomiędzy wieszakami nie przekracza 6 m, pod wieszakami zaś — po 4 m z obu stron wieszaka. Na druty zabezpieczające używamy zdarte przewody jezdne, których grzbiet obracamy ku dołowi. Może-



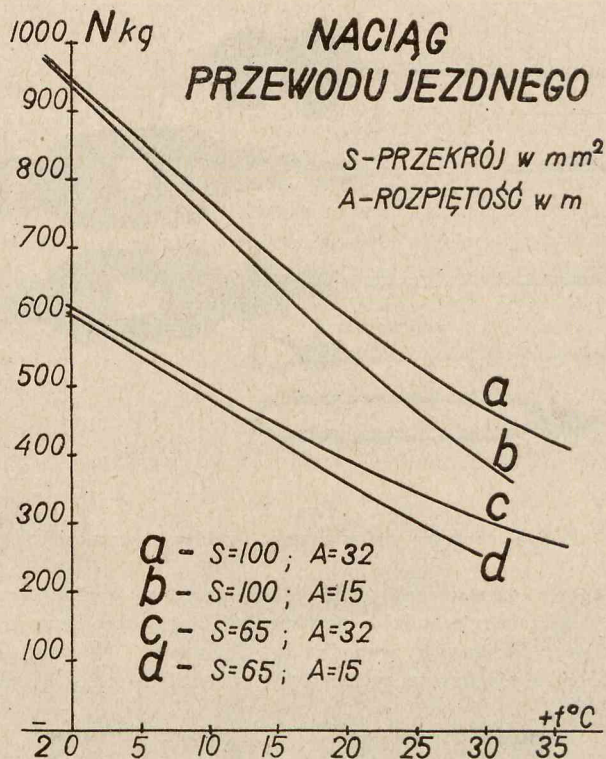
Rys. 8.

Przekroje przewodów jezdnych zdartych bokiem.
(powierzchnia w mm²)

my korzystać tylko z tych przewodów, które zdierają się nie bokiem (rys. 8), gdyż wówczas rowek przewodu jest zdarty i klamerki nie mają czego się trzymać.

Z rys. 8 widzimy, że chociaż przekrój przewodu jest jeszcze dostateczny, nie możemy go zastosować jako drutu zabezpieczającego z wyżej podanych względów.

Naprężania i luzowania przewodu jezdnego regulują jego zwis. Przy wzroście temperatury przewód i druty dodatkowe wydłużają się, powodując iskrzenie pałków wskutek nadmiernego zwisu. Luzowanie sieci, dokonywane na jesieni, ma na celu osłabienie naciągu przewodu jezdnego, co zabezpiecza sieć przed zerwaniem przy ni-



Rys. 9.

Wykresy naciągów przewodu jezdnego.

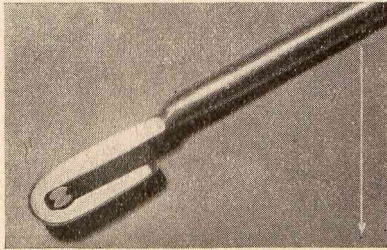
skiej temperaturze. Dla określenia siły naciągu przewodu jezdnego w zależności od temperatury służy wykres rys. 9.

Przed przystąpieniem do luzowania lub naciągania sieci, wystarczy zluźnić klamerki na pobliskich dwóch wieszakach po obu stronach doprężnika (ściągacza). Po naprężeniu, ewentualnie zluźnieniu, do określonego naciągu, wystarczy ustawić wieszaki zaciskami w ten sposób, ażeby drut poprzeczny stanowił prostą; następne druty poprzeczne, poza dwoma najbliższymi od doprężnika, są tak mało zdeformowane, że zostawiamy je bez prostowania. Naciąg należy sprawdzać dynamometrem, luzowania zaś można dokonywać wg. praktycznie określonych danych, licząc po 5 do 6 mm na jedno pole.

Ważniejszym osprzętem sieci są: izolatory sekcyjne, doprężniki, odgromniki, części izolujące, t. j. wieszaki, sprzążki i t. d. Należy w ten sposób dobierać typ osprzętu sieci, aby był on najdogodniejszy w eksploatacji. Tak np. izolatory sekcyjne o dwóch drewnkach - płozach są odpowiedniejsze, a to dlatego, że gdy jedno drewno pęknie, ślizgacz bez obawy zerwania sieci może przesunąć się pod pozostałym; ruch nie zostanie przerwany aż do przyjazdu pogotowia.

Utrzymanie wyżej wymienionych części sieci jezdnej składa się z dwóch okresów: rewizji i naprawy. Jeśli podczas rewizji zauważono uszkodzenie, wymagające natychmiastowej naprawy, dokonywa się jej odrębnie, do normalnej zaś naprawy przystępujemy po skończonej rewizji. Rewizje sieci należy przeprowadzać w określonych terminach (Tr. Warsz. co 6 — 8 tygodni). Polegają one na skrupulatnym sprawdzeniu przewodów i osprzętu. Badając przewód jezdny, należy obejrzyć go i dokonać pomiarów grubości.

Fowinno się zwracać uwagę, rewidując sieć, czy przewód profilowy nie jest skręcony, gdyż wówczas zdiera się on bokiem (patrz rys. 8). W tym wypadku trzeba przy pomocy t. zw. skrętaka (rys. 10) odręcznie wyregulować przewód, ażeby oś rowków drutu była równoległa do płaszczyzny szyn.



Rys. 10.

Przyrząd do skręcania przewodu jezdnego (skrętak)

Grubość przewodu mierzy się przy pomocy szablonu i mikrometra. Szablon do pomiaru grubości przewodu jest to płytka stalowa (rys. 11), na której wycięte są zęby o różnej wysokości (7,5; 7,25; 7,00; 6,75 i 6,50 mm).

Szablonem tym kontrolujący sieć sprawdza, w którym wcięciu mieści się przewód. Jeżeli pomiar szablonem wskazuje zdercie przewodu do wysokości poniżej 6,5 mm, wówczas dokonyujemy pomiaru zapomocą mikrometru i wyniki notujemy w zeszytiku. Pomiaru grubości przewodu dokonywuje się:

a) w miejscach wybranych do obserwacji,

b) w miejscach zaobserwowanych zapomocą szablonu, t. j. takich, gdzie wysokość przewodu jest niższa, niż 6,5 m.

Porządek notowania zdarzeń i innych uszkodzeń jest następujący: ślusarz notuje uszkodzenie w zeszytiku, który po skończonej robocie oddaje majstrowi; majster lub pisarz wciąga zanotowane uszkodzenia do książki kontroli, a po dokonaniu naprawy notuje nazwisko naprawiającego i datę.

Jak już zaznaczono, przewód, zdzierany na małej długości, zabezpieczamy „specjalnym profilem”; długie uszkodzone odcinki wymieniany na nowe. Wymiana przewodów jezdnych w eksploatacjach, które stosują ruch nocny,

bardzo jest kłopotliwa, gdyż podczas tych robót ruch nocny należy kierować inną drogą, a nawet go przerywać; ażeby tego uniknąć, zastosowaliśmy na liniach o wzmószonym ruchu przewód o przekroju 100 mm² o dolnym brzuszku większym; zdiera się on dłużej, wskutek czego w ruchliwych punktach rzadziej przystępujemy do wymiany, praca więc naszą mniej przeszkadza ruchowi.

Profil przewodu jezdnego 100 mm² powinien być tak dobrany, ażeby klamerki i zaciski były tego samego typu i wymiarów, co i dla profilu 65 mm². Chcąc uniknąć zwiśu przewodu jezdnego 100 mm² należy poddać go większemu naprężeniu, niż 65 mm² (zamiast 600 kg dajemy 800 — 900 kg). Gdy przewód 100 mm² zedrże się do wysokości 8,2 mm, trzeba traktować go jako przewód 65 mm² a, zmniejszając odpowiednio naciąg, stosować do niego te same normy, co i dla przewodu 65 mm².

Okresy wymiany przewodu jezdnego zależne są od

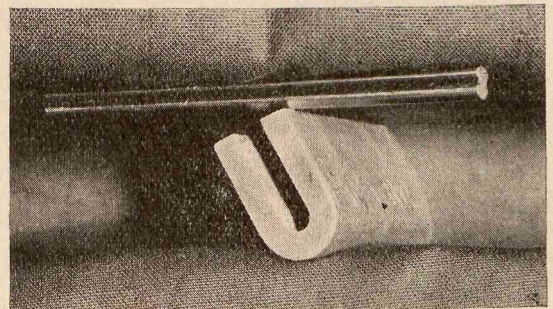
wyżej wspomnianych czynników i wahają się od 3 do 26 lat. Okres 3-letni, niezmiernie krótki, notowany był w Tramwajach Warszawskich w punktach najwięcej ruchliwych (Nowy Zjazd — 450 000 przejazdów rocznie, Krakowskie Przedmieście — 513 000 przejazdów rocznie), lecz przewód ten był jednym z pierwszych, wykonanych w kraju po wojnie. Są jednak przewody jezdne, które pracują od czasu wybudowania Tr. Warsz., — trwają już więc 26 lat i dopiero obecnie część z nich ulegnie wymianie.

Dla oszczędzania przewodu jezdnego należy pamiętać o jego smarowaniu. Zasadniczo przewód jezdny jest stale smarowany przez smar ślizgacza, niezależnie jednak od tego cała sieć powinna być dwa razy do roku posmarowana cienką warstwą smaru. W lecie używamy w tym celu czystej wazeliny technicznej, w zimie zaś dodajemy do niej trochę oliwy maszynowej.

Co 3 do 5 lat należy sprawdzać położenie przewodu jezdnego na wieszakach w stosunku do pałąka. W tych samych odstępach czasu powinniśmy sprawdzać wysokość zawieszenia przewodu jezdnego. Jeżeli przewód jest zawieszony nadmiernie wysoko, siła nacisku ślizgacza na przewód zmniejsza się, co może spowodować zły styk ślizgacza i w następstwie znaczne iskrzenie, które opala przewód jezdny. Przy niskim zawieszeniu przewodu jezdnego nacisk ślizgacza wzrasta, zdarcie zwiększa się, pozatem ślizgacz, połączony nieruchomo z pałąkiem, przy pochyleniu pałąka, posuwając się ostrym brzegiem, zdiera przewód (rys. 12).

Większe tego rodzaju zdarzenia dają się zwłaszcza zauważyć pod wiaduktami, gdzie wysokość zawieszenia sieci dochodzi do 4,2 m (w Warszawie nominalna wysokość wynosi 6,5 m).

W dalszym ciągu rewizji należy badać druty dodatkowe i „specjalne profile”, a mianowicie, czy drut dodatkowy ma odpowiednie naprężenie oraz czy zaciski na drutach dodatkowych i specjalnych są dokręcone. W punktach ruchliwych druty dodatkowe podlegają częstej wymianie (co 3—4 miesiące), lecz wobec stosowania na druty dodatkowe miedzi kadmowej, której twardość równa się 105^o Brinella, czas ich pracy wzrasta (do 5 miesięcy). Prowadzący rewizję musi zwracać uwagę i na osprzęt izolujący, t. j. na sworznie wieszaków, sprzążki i beleczki izolatorów sekcyjnych. Jest to tylko badanie powierzchowne, które nie zawsze daje realne wyniki. Do ścisłego badania izolacji osprzętu sieci przystępujemy dwa razy do roku, sprawdzając opór

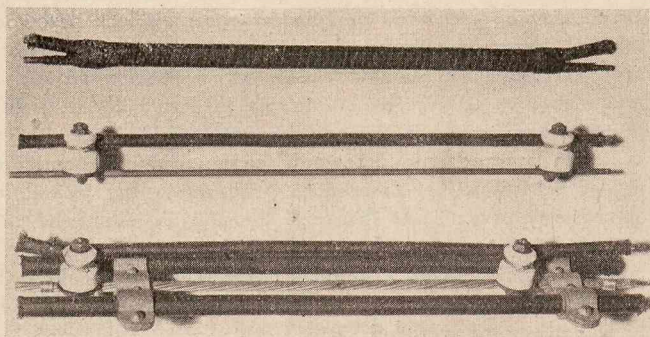


Rys. 12.

Położenie ślizgacza pałąka przy niskim zawieszeniu przewodu jezdnego.

każdej izolującej części sieci specjalnie wzorcowanym woltomierzem, w założeniu, że w suchym powietrzu oporność izolacji powinna wynosić conajmniej 10 megomów, w wilgotnym zaś najmniej 3 megomy. Osprzęt sieci z niepewną izolacją jest notowany, następnie zaś wymieniany. Części izolujące przed oddaniem do eksploatacji poddaje się pró-

bie na 3000 woltów oraz 3-krotnemu raptownemu włączaniu i wyłączaniu i tylko taki osprzęt, który wytrzyma to napięcie, uważany jest za odpowiedni.



Rys. 13.

Stary i nowy sposób przymocowania przewodów izolowanych do drutów poprzecznych.

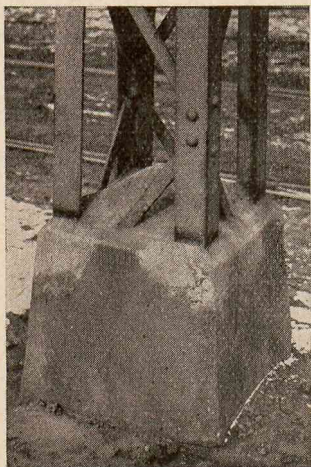
Dwa razy do roku — w marcu i w sierpniu — sprawdzane są odgromniki różkowe, t. j. ich izolacja, odległość różków, która powinna wynosić 5 mm, oraz wygięcie różków według szablonu.

Prócz tego po każdej silnej burzy należy przeprowadzać pobieżną rewizję odgromników i oczyszczać różki, na których zauważono ślady wyładowań elektrycznych.

Jeszcze w roku 1930 przewód izolowany, łączący przewód jezdny z odgromnikiem, układany był na zaizolowanym drucie poprzecznym i przymocowany izolacją, następnie lakierowany. Okazało się, że drut poprzeczny pod izolacją bardzo rdzewiał; dla uniknięcia tego zastosowano umocowanie przewodów izolowanych do drutów poprzecznych zapomocą izolatorów (rys. 13). Sposób ten okazał się bardzo praktyczny.

Obecnie w ten sam sposób przymocujemy do drutów poprzecznych przewody izolowane w punktach zasilających.

Podczas ogólnej rewizji powinno się zwracać uwagę na słupy i rozety, podtrzymujące sieć, i na wysięgniki, a mianowicie, czy nie uległy one skrzywieniu lub innemu uszkodzeniu. Słupy żelazne wszelkich typów i wysięgniki



Rys. 14.

Cokół betonowy przy słupie kratowym.

należy malować co 4 lata; przed malowaniem słupów rurowych powinien być sprawdzony stan powierzchni pod cokółami, garniturami i główką (kopułką) oraz pod uchwytami wysięgników. W razie zauważenia rdzy należy ją starannie usunąć i miejsce to pomalować. Garnitury i cokół powinny się po ustawieniu kitować od góry, od dołu zaś pozostawić przelot dla przewietrzania i wycieku wody. Dolne części słupów żelaznych, już w kilka lat po ustawieniu zaczynają rdzewieć. Szczególnie zjawisko to daje się zauważyć na ulicach wąskich i zaludnionych. Na tak szybkie rdzewienie wpływają różne zanieczyszczenia, ściekające po chodnikach: brud, sól, używana obecnie do rozpuszczania lodu, i inne nieczystości. Praktycznym zabezpieczeniem od powyższego są

cokoły betonowe o wysokości 50 cm (rys. 14). Należy zwracać uwagę, ażeby cokół betonowy związał się z betonem fundamentu, gdyż w przeciwnym razie zostaje warstwa



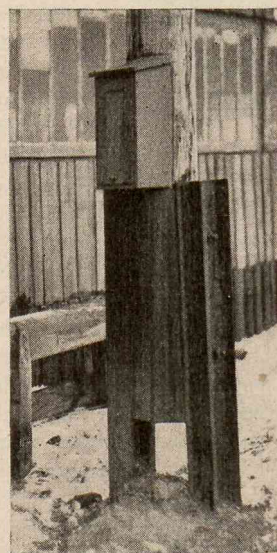
Rys. 15.

Malowanie słupa zapomocą natrysku.

ziemi, co destrukcyjnie wpływa na żelazo. Sposób ten znacznie przedłużył egzystencję słupów w Tramwajach Warszawskich. Przed malowaniem słupów kratowych należy naprawić ewentualne uszkodzenia cokółu betonowego oraz oczyścić i pomalować słup u wierzchołka w miejscu zamocowania główki (kopułki). Tak przygotowane słupy i wysięgniki, oskrobane z rdzy i wyszczotkowane, można już malować.

W sezonie 1933 roku w Tramwajach Warszawskich rozpoczęto malowanie słupów zapomocą natrysku; służy do tego sprężarka, umieszczona na samochodzie (rys. 15).

Do aparatu tego dołączone są dwa pistolety, działające pod ciśnieniem około 4 atmosfer. Używa się zwykłej farby pokostowej, rozcieńczonej rozpuszczalnikiem w stosunku 6 : 1. W pierwszym roku próby otrzymano następujące wyniki: 6 pracowników w przeciągu 8 godzin pomalowało 12 słupów, gdy przy malowaniu ręcznym ta sama ilość ludzi pomalowała 8 słupów. Sądzić należy, że następne lata, gdy pracownicy przyzwyczają się do tego sposobu malowania, dadzą wyniki jeszcze lepsze. Malarze



Rys. 16.

Ustawienie słupa drewnianego w obsadzie z szyn.

niechętnie pracują tym aparatem, motywując to utrudnieniem ruchów przy pracy w brezentowym ubraniu i okularach. Wadą też tego systemu jest większe zużycie farby, niż przy malowaniu pędzlem. W naszym wypadku zużycie to wzrosło o ok. 50%.

Osprzęt sieci ze względu na małe powierzchnie malujemy pędzlem w tych samych okresach czasu, co i słupy, t. j. co 4 lata.

Słupy drewniane powinny być sprawdzane najmniej raz do roku. W tym celu odkopuje się słup na głębokość około 50 cm od powierzchni i w miejscu, gdzie przypuszczalnie słup może gnić, t. j. od powierzchni ziemi aż do głębokości około 20 cm, wierci się otwór i bada otrzymane wiórki. O ile badany słup okaże się dobry, otwór zabija się kołkiem z twardego drzewa a odkopaną część słupa smaruje się płynem przeciwniepalnym (karbolineum, gudronitem lub gorącą smołą), jak również i część słupa nad powierzchnią do wysokości 50 cm. Gdy badane wiórki wskazują, że słup jest zepsuty, wymienia się go na nowy lub wzmacnia pasierbem. Bardzo praktycznymi w konserwacji okazują się słupy drewniane, ustawione na starych szynach tramwajowych lub kolejowych.

W ten sposób słup drewniany jest całkowicie zabezpieczony od destrukcyjnego działania wilgoci ziemi, lecz i takie słupy należy co dwa lata sprawdzać, gdyż mogą się one psuć nawet na znacznej wysokości (około 5 m nad ziemią).

Do sprawdzania rozet i haków ściennych, podtrzymujących sieć, przystępuje się co 4 lata. Badając rozetę sprawdza się śruby, sworznie i uszka, czyści się je i maluje oraz sprawdza się osadzenie haka. Jednocześnie przeprowadza się naprawę tłumików, wymieniając je na uprzednio sprawdzone w warsztacie.

Wszyscy pracownicy sieci powinni znać i posiadać przepisy, w których musi być podane: 1. jak należy obchodzić się z narzędziami, 2. jak jechać wozem montażowym, 3. jak ustawiać wóz montażowy, 4. jak wyłączać prąd z sieci, 5. jak zachować się przy pracy na sieci będącej pod napięciem, 6. jak zabezpieczać miejsca wypadku i miejsca pracy, 7. jak zachować się podczas burzy i 8. jak udzielać pomocy porażonym prądem (zgodnie z przepisami S. E. P.). W tychże przepisach podać należy numery najważniejszych telefonów tramwajowych, straży ogniowej, pogotowia ratunkowego i t. p. Wykaz tych telefonów powinien być również wywieszony na widocznym miejscu w warsztatach sieci.

Wszystkie roboty, wykonane przy sieci górnej w Tramwajach Warszawskich w roku 1933, pokazane są na rys. 17.

Procentowa zależność robotniko-godzin, użytych na poszczególne roboty, może służyć do pewnego stopnia jako

sprawdzian dla innych przedsiębiorstw tramwajowych. Najwięcej robotniko-godzin przypada na rewizję i naprawę sieci górnej.

NAZWA ROBOTY		%	PRACOWNIKO-GODZINY			
			10000	20000	30000	40000
pogotowie sieci		1,8				
rewizja i naprawa sieci		49,3				
malowanie sieci		8,4				
podciąganie i luzowanie sieci		9,6				
wymiana drutów roboczego		4,5				
utrzymanie sieci ochronnej odgromników		4,4				
pomiar izolacji sieci		0,8				
utrzymanie słupów żelaznych i rozet		3,3				
malowanie słupów żelaznych		7,3				
renowacja słupów żelaznych		2,0				
naprawa słupów uszkodzonych w wypadkach		0,9				
utrzymanie słupów drewnianych		5,2				
przebudowa istniejącej sieci		2,5				

Rys. 17.

Wykres utrzymania sieci górnej Tramwajów Warszawskich za rok 1933.

Utrzymując sieć w sposób wyżej opisany, należy się spodziewać dobrych wyników. Jeżeli za wskaźnik dobrego utrzymania sieci można uważać ilość zerwań przewodu jezdniowego, to w Tramwajach Warszawskich otrzymujemy wyniki dodatnie.

W roku	Wzywano pogotowie sieci		Zerwanie przewodu jezdniowego	
	razy	na 1 km sieci	razy	na 1 km sieci
1919	21	0.2	3	0.03
1920	45	0.4	4	0.03
1921	69	0.6	2	0.02
1922	98	0.8	3	0.02
1923	110	0.8	0	0.00
1924	112	0.7	3	0.02
1925	154	0.9	3	0.02
1926	151	0.9	2	0.01
1927/28	86	0.5	2	0.01
1928/29	128	0.7	3	0.02
1929/30	90	0.4	1	0.005
1930/31	82	0.4	1	0.005
1931/32	104	0.5	3	0.01
1932/33	175	0.8	2	0.01

Według danych inżyniera Tramwajów Berlińskich M. Otto z roku 1910 na zjeździe w Brukseli, roczna ilość zerwań przewodu jezdniowego na 1 km sieci w różnych miastach europejskich wynosi od 0,1 do 1,9. W Tramwajach Warszawskich za czas od 1919 do 1932/33 ilość ta waha się w granicach od 0 do 0,03.

OŚWIETLENIE ELEKTRYCZNE WAGONÓW KOLEJOWYCH

Inż. Józef Zieliński.

Streszczenie. Systematyczny przegląd głównych rodzajów i typów oświetlenia elektrycznego wagonów z rozpatrzeniem typów prądnic i ich napędu, układu połączeń i działania, regulatorów prądnic i sieci lamp dla trakcji dalekobieżnej i podmiejskiej. Znaczenie regulacji napięć na zaciskach prądnic i w sieci lamp. Zasilanie lamp wagonów specjalnych w energię elektryczną na stacjach.

Wstęp.

Groza katastrof kolejowych powiększana była zawsze przez pożary, wzniecane rozbitymi lampami oliwnymi lub też wybuchami zbiorników gazowych.

W związku z rozwojem bezpośredniej komunikacji międzynarodowej, zjazd komunikacyjny w Rzymie w roku 1926 ustalił dla ruchu międzynarodowego jako normę oświetlenie elektryczne niskowoltowe; jest ono całkowicie bezpieczne, a prócz tego estetyczne i wydajne.

Rodzaje i typy oświetlenia.

Instalacje oświetlenia elektrycznego w wagonach kolejowych można podzielić na kilka zasadniczych typów, a mianowicie na:

- A) akumulatorowe,
- B) indywidualne,
- C) pół-indywidualne,
- D) zbiorowe:
 - a) przy trakcji parowej,
 - b) przy trakcji elektrycznej prądu stałego,
 - c) przy trakcji elektrycznej prądu zmiennego.

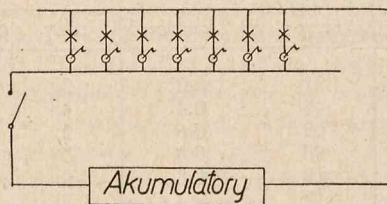
Jako napięcie dla instalacji oświetleniowych stosuje się — 20, 24 i 32 wolt. Polskie Koleje Państwowe przyjęły nominalne napięcie w sieci 24 wolt.

Oświetlenie akumulatorowe.

Instalacja elektryczna takiego wagonu składa się z baterji akumulatorów, jako źródła prądu, oraz z punktów świetlnych (rys. 1).

Pojemność baterji jest tak dobrana, aby wagon mógł przebyć drogę od stacji wyjściowej do stacji krańcowej (lub też do stacji, gdzie rozładowana baterja zostanie zastąpiona naładowaną) dostatecznie oświetlony, tak aby podróżnym dać możliwość swobodnego czytania.

Ten typ oświetlenia jest stosowany na większą skalę przez Italskie Koleje Państwowe, obecnie jednak prowadzone są próby nad ustaleniem odpowiedniego typu oświet-



Rys. 1.

Schemat uproszczony oświetlenia akumulatorowego.

lenia indywidualnego. W Polsce system powyższy jest zastosowany jedynie na niektórych kolejach wąskotorowych.

Wadą tego systemu jest konieczność stałej kontroli stanu naładowania baterji oraz prawie codzienne doładowywanie wszystkich wagonów, przeznaczonych do ruchu.

Oświetlenie indywidualne.

Każdy wagon jest zaopatrzone w urządzenie, pracujące na tych samych zasadach, co mała elektrownia automatyczna. Wagon z takimi instalacjami mogą być dowolnie grupowane na stacjach węzłowych, mając zawsze zapewnione oświetlenie. W instalacje indywidualne zaopatruje się więc wszystkie wagony pociągów dalekobieżnych.

Urządzenie oświetlenia indywidualnego składa się:

- a) z prądnicy, b) automatu, c) baterji akumulatorów.

Uproszczony schemat instalacji przedstawia rys. 2.

a) Prądnica.

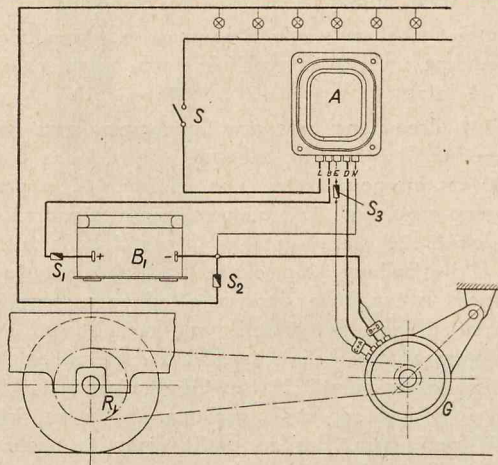
Prądnicę stosuje się budowy zamkniętej o chłodzeniu powierzchniowym, przystosowaną do zawieszenia na pudle wagonu (rys. 3) lub na wózku (rys. 4).

Napęd prądnicy może się odbywać przy pomocy:

- 1) przekładni stożkowej i kardana (rys. 5, Szwecja),
- 2) kół ciernych (próby, Niemcy),
- 3) łańcuchów skórzanych (Rumunja),
- 4) przekładni pasowej (rys. 3 i 4, Polska, Francja, Anglja, Szwajcarja, Belgja),

5) przekładni pasków trapezoidalnych bez końca (Ameryka, obecnie są prowadzone próby na P. K. P.).

Naciąg pasa osiąga się przy pomocy sprężyny odpychającej (rys. 4) lub przyciągającej (rys. 3) czy też cię-

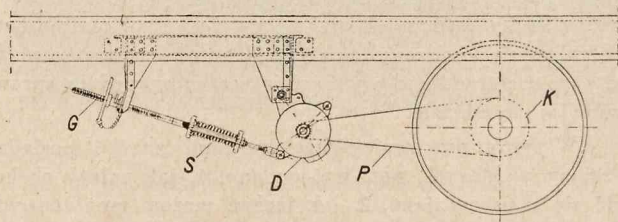


Rys. 2.

Uproszczony schemat instalacji oświetlenia elektrycznego
A — regulator, G — prądnica, B — baterja.

żaru samej prądnicy, wychylonej z pozycji normalnej (rys. 6).

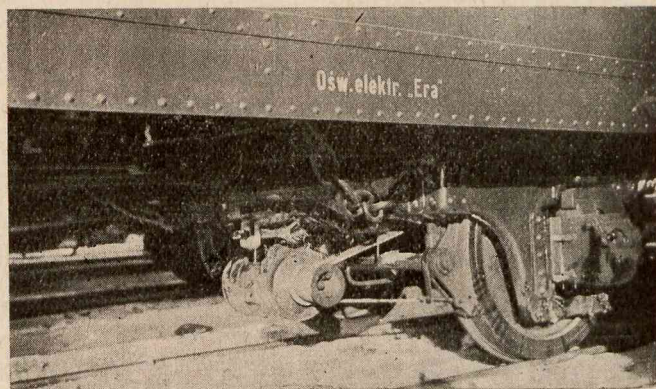
Wszystkie wyżej wyliczone rodzaje napędów mają swe



Rys. 3.

Prądnica, umocowana na pudle wagonu. Naciąg pasa przy pomocy sprężyny. G — śruba, regulująca naciąg pasa, D — prądnica, P — pas, K — koło pasowe na osi wagonu.

zalety i wady. Tylko długotrwałe badanie wyników pracy i zestawienia statystyczne kosztów konserwacji mogą dać pewne dane co do korzyści zastosowania któregokolwiek z omówionych wyżej sposobów napędu.



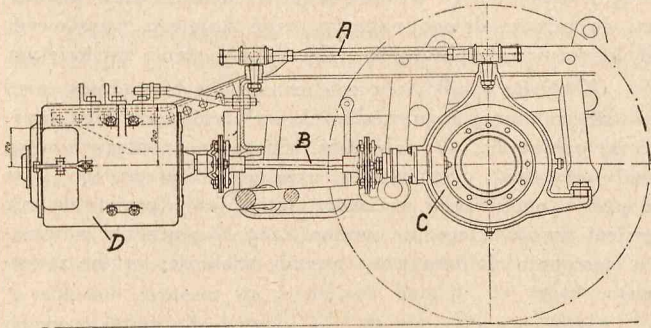
Rys. 4.

Widok prądnicy, zawieszanej na wózku wagonowym. Naciąg pasa przy pomocy sprężyny.

Ogólnie można powiedzieć, że za najlepszy typ napędu należałoby uważać napęd kardanowy, dający pełną gwarancję pracy prądnicy, nie ulegający wpływom warun-

ków atmosferycznych, co ma miejsce przy wszystkich rodzajach napędu, powodując czy to mniejszy współczynnik tarcia i zwiększenie poślizgu, a co zatem idzie i szybkiego jej zniszczenia, czy też wprost spadnięcie pasa w drozd.

ciągu pasa, która wzrasta w zależności od zmniejszania się odległości środków kół pędzonego i napędowego. Gdy odległości te są małe, w celu zmniejszenia poślizgu stosuje się naprężanie pasów przy pomocy sprężyny.



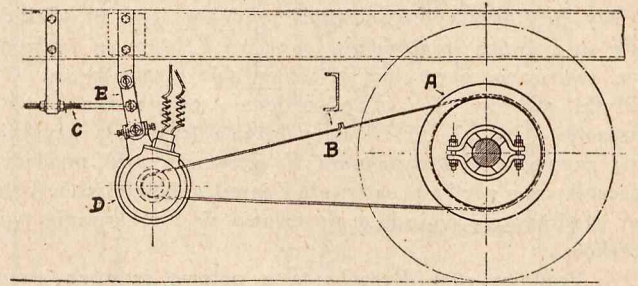
Rys. 5.

Prądnica, zawieszona na wózku wagonowym. Napęd przy pomocy przekładni kół zębatach i kardana. A — drążek unieruchamiający, B — drążek napędzający, C — przekładnia zębata, D — prądnica.

Rodzaj napędu prądnicy ma zasadniczy wpływ na ustalenie pojemności baterji. Pewny i trwały napęd pozwala na zmniejszenie samej pojemności baterji, ograniczając jej wielkość jedynie do wielkości, potrzebnej w czasie dłuższego postoju pociągu. Odpada tutaj możliwość niedoładowania baterji w czasie jazdy. Z drugiej strony sposób napędu prądnicy ma zasadniczy wpływ na jej żywotność.

Prądnica, zawieszona na wózku wagonowym, ulega o wiele większym twardym wstrząsom (dynamicznym), niż zawieszona na pudle wagonu, gdzie lepiej jest odresorowana i ulega wskutek tego tylko łagodniejszemu falowaniu wraz z pudłem wagonu.

Pozatem wpływ zawieszenia odbija się na żywotności łożysk (kulkowych i rolkowych), głównie od strony napędu. Przy napędzie kardanowym łożyska kulkowe prądnicy



Rys. 6.

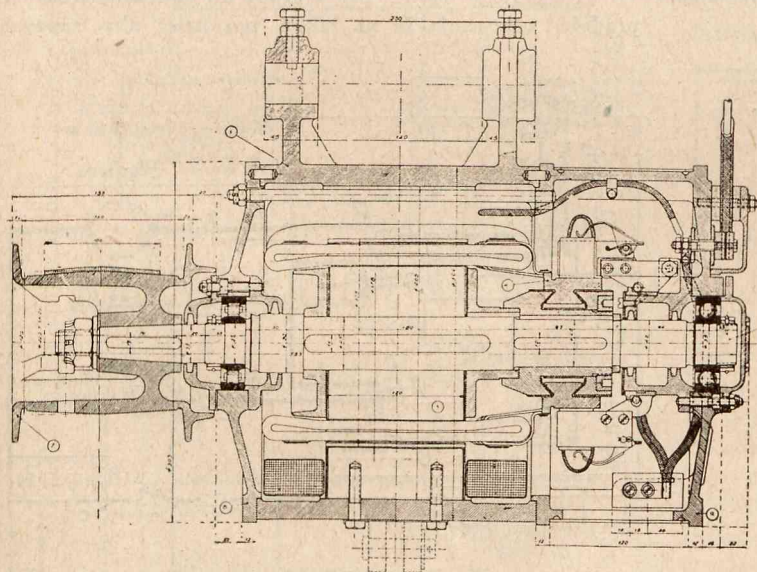
Prądnica zawieszona pod pudłem wagonu, jak rys. 3, lecz naciąg przy pomocy ciężaru własnego. A — koło pasowe na osi wagonu, B — pasek, C — naprężacz pasa, D — prądnica, E — zawieszenie pośrednie.

Pod względem konstrukcyjnym prądnice wagonowe posiadają te same główne części składowe, co zwykle prądnice prądu stałego, z tą różnicą, że są dostosowane do zawieszania i mogą pracować przy zmiennej ilości i kierunkach obrotów, nie zmieniając swej biegunowości.

Zastosowanie prądu stałego do oświetlenia wagonów wynika z konieczności współpracy prądnicy z baterją akumulatorów.

Zasadniczo istniejące systemy oświetlenia elektrycznego w wagonach można podzielić na pracujące z prądnicami

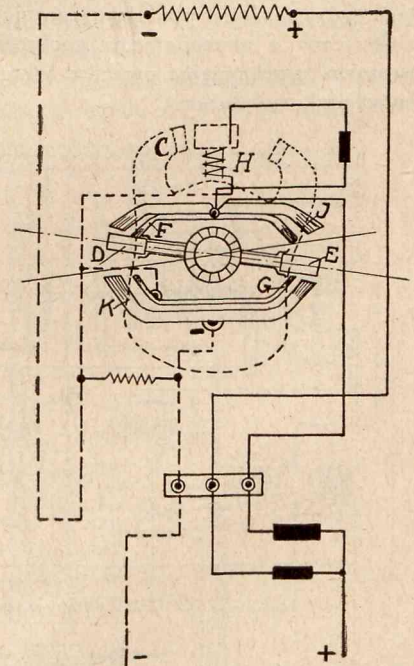
- 1) bocznikowemi lub szeregowo-bocznikowemi (Asea, Brown-Boveri, Dick, Era, Pintsch, Stone-Tonum i t. d.),
- 2) szeregowo-bocznikowemi z 3-cią szczotką (Stone-Liliput) lub połową zwartych (Asea, Mather-Platt, Rosenberg).



Rys. 7.

Przekrój podłużny prądnicy wagonowej.

od strony napędu, jak i komutatora, znajdują się w jednokowych warunkach pracy, będąc jedynie pod normalnym ciężarem twornika. Przy napędzie pasowym występuje dodatkowa siła w kierunku poziomym, pochodząca od na-



Rys. 8.

Przełącznik biegunowości prądnicy.

Nie będę opisywał ani budowy, ani funkcjonowania tych typów prądnicy, ponieważ opisy ich są dostatecznie szeroko podane w książkach, traktujących o maszynach elektrycznych.

Dla orientacji podam, że utrzymywanie stałej biegunowości prądu na zaciskach prądnicy skutecznia się przez zastosowanie ruchomych trzymadeł szczotkowych. Rys. 7 przedstawia przekrój prądnicy wagonowej z przesuwanym trzymadłem szczotkowym w łożyskach ślizgowych.

W prądnicach syst. Stone-Liliput zastosowany jest szczotkowy przełącznik biegunowości prądnicy (rys. 8). Składa się on z dwóch szczotek głównych *a* i *b*, które są osadzone na zawiasach, obracających się w obie strony o kąt 10° . Płytki stykowe *A* i *E* odpowiednio przyłączają się do szczotki *I* lub *K*. Utrwalenie położenia trzymadła uzyskuje się zapomocą elektromagnesu *H*, przez co styki pomiędzy szczotkami a płytkami są trwałe i nawet najsilniejsze wstrząsy prądnicy nie powodują zlizowania się i przerywania tych styków.

Prądnice syst. Rosenberga z połową szczotek zwartych nie zmieniają swej biegunowości ze zmianą kierunku obrotów, wobec czego nie posiadają żadnych specjalnych urządzeń do tego celu.

b) Automat.

Automaty wagonowe można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

1) automaty (włączniki automatyczne) dla prądnic o regulacji własnej (Stone-Liliput, Rosenberg);

2) regulatory napięcia, pracujące w obwodzie wzbudzenia prądnicy (bocznikowej czy też szeregowo-bocznikowej — B. B. C., Dick, Era i t. d.);

3) regulatory napięcia, pracujące w obwodzie odbiorczym, t. j. w sieci świetlnej (ASEA, AGA, Stone-Tonum).

1) **A u t o m a t y.** Współpraca prądnicy z baterią akumulatorów wymaga zastosowania wyłącznika samoczynnego, przyłączającego baterię i sieć oświetlenia do obwodu prądnicy, gdy ma ona odpowiednie napięcie, umożliwiające jednoczesne ładowanie akumulatorów, jak też i zasilanie obwodu oświetlenia w czasie biegu pociągu i przerywanie tego połączenia w chwilach postojów, jako też w tych momentach, gdy napięcie prądnicy jest niedostateczne i energia elektryczna z akumulatorów popłynęłaby w kierunku odwrotnym, uruchamiając prądnicę jako silnik i rozładowując baterię akumulatorów.

waniu praktycznym wynosi w najlepszym przypadku około 0,5 ampera prądu zwrotnego. Wynika to stąd, że wyłączniki samoczynne (rys. 9) pracują pod wpływem jednego uzwojenia napięciowego *G*, przyłączonego do zacisków prądnicy i włączającego ten przyrząd w chwili dojścia prądnicy do odpowiedniego napięcia, oraz drugiego szeregowego *H*, które utrzuwa położenie wyłącznika w stanie zamkniętym.

Z chwilą spadku napięcia na zaciskach prądnicy, przy pewnej ustalonej jego wielkości, wyłącznik powinien przerwać połączenie. W położeniu włączonym podtrzymuje go mały strumień magnetyczny uzwojenia szeregowego i to dopóty, dopóki prąd w cewce szeregowej (prądowej) nie zmieni swego kierunku, wobec czego wyłączenie automatu następuje dopiero przy pewnej wielkości prądu zwrotnego.

2) Regulatory napięcia służą do samoczynnego utrzymania napięcia na zaciskach prądnicy typu bocznikowego i szeregowo-bocznikowego w granicach, potrzebnych dla zasilania lamp i ładowania akumulatorów w czasie biegu pociągu, przy różnych jego szybkościach.

Od regulatorów i prądnic wymaga się normalnej, prawidłowej pracy począwszy od szybkości pociągu 30 km/godz. do 130 km/godz.

Regulatory napięcia są oparte na tych samych zasadach, co zwykle elektrowniane; zmieniają one natężenia prądu wzbudzenia prądnicy.

Regulatory można podzielić w zależności od zasad, na jakich pracują, na regulatory:

α) oporowe (ASEA, AGA, BBC, Dick rtęciowy, E. V. R. à peine, Stone-Tonum),

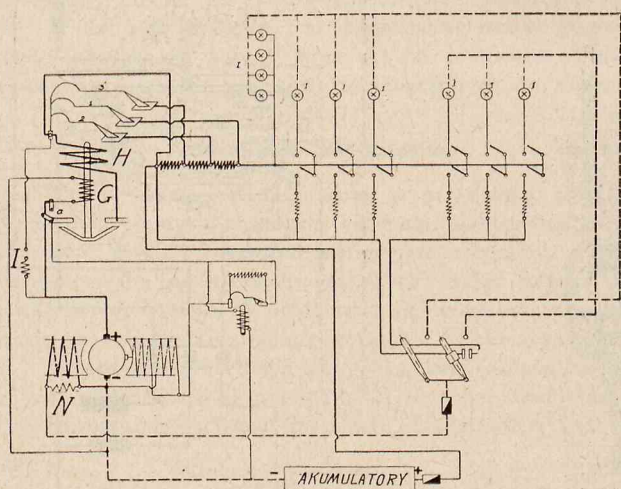
β) wibracyjne (Dick—E. V. R., Era, Elin),

γ) inne (ASEA, motorowy).

α, β *Regulatory oporowe i wibracyjne.* Zasada działania regulatorów oporowych uwidoczniła jest na schemacie rys. 10, zaś wibracyjnych — na schemacie rys. 11.

Rozwiązania konstrukcyjne są różne w systemach poszczególnych firm, lecz zasady działania są jednakowe.

Regulatory napięć, przyłączone do obwodów wzbudzeń prądnicy, utrzymują je na takim poziomie, aby zapewnić

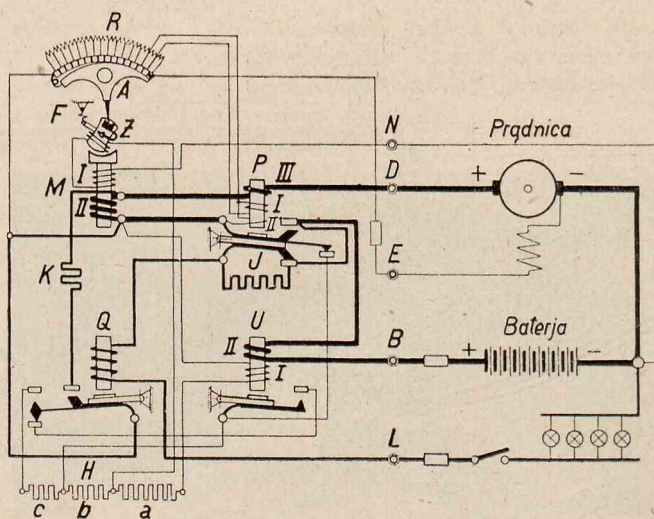


Rys. 9.

Schemat uproszczony instalacji oświetlenia, pracującego z prądnicą samoregulującą się (Stone-Liliput).

Wyłączniki samoczynne powinny działać momentalnie przy odpowiedniej wielkości napięcia (włączenia i wyłączenia).

Wyłączanie teoretycznie powinno następować przy natężeniu prądu, wynoszącym zero, które jednak w zastoso-



Rys. 10.

Schemat uproszczony instalacji oświetlenia z regulatorem oporowym (B. B. C. — GI).

jaknajszybsze doładowanie baterii akumulatorów i zasilanie jednocześnie obwodów lamp w wagonie.

Co się tyczy napięć, potrzebnych do ładowania akumulatorów, to przy końcu ładowania baterii żelazo-niklowej potrzeba 1,85 V na ogniwo, co daje przy baterji 18-ogniwo-

wej — 33,3 V i 19-ogniowej — 35,15 V, zaś przy oświetlanej 2,7 V na ogniwo, co daje przy baterji 12-ogniów. ok. 32,4 V. Równocześnie z ładowaniem baterji ta sama prądnicą dostarcza energii sieci lamp wagonowych, które są wykonane na nominalne napięcie 24 V.

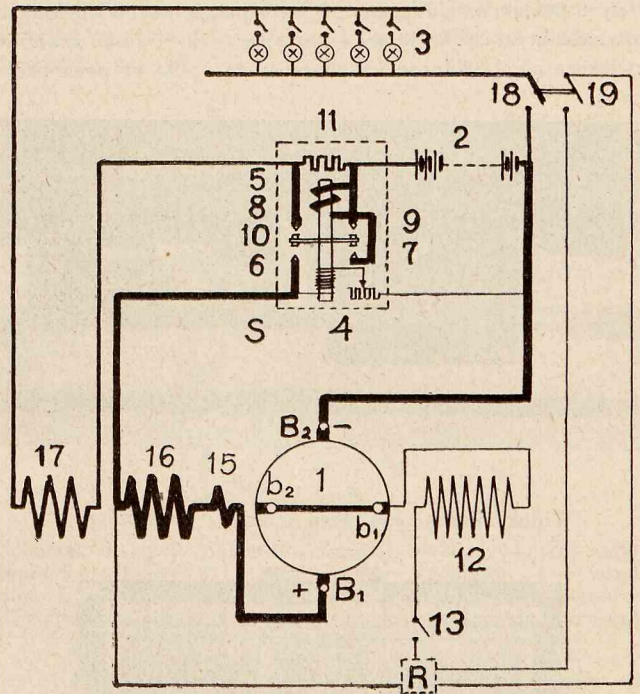
Nadwyżka napięcia prądnicy ponad 24 V dla sieci oświetlenia powinna być zredukowana tak, aby dostarczyć żarówkom napięcia nominalnego. Zastosowane przez poszczególne fabryki oporniki, włączone pomiędzy obwód baterji i prądnicy a sieć żarówek (rys. 10 a b c lub rys. 11 r_1 r_2 r_3 r_4), spełniają swe zadanie tylko częściowo, gdyż spadek napięcia na tych opornikach zależy przede wszystkim od natężenia prądu, przepływającego przez nie, to jest od ilości palących się lamp w wagonie, jak również od wysokości napięcia na zaciskach baterji, co zależy i od stanu naładowania baterji. W tym wypadku napięcie w sieci oświetleniowej odbiega zwykle od 24 V i podnosi się nawet niekiedy do 28 V.

Wprowadzenie uzwojenia, połączonych w szereg z lampami (rys. 12), pozwoliło na częściowe uniezależnienie napięcia na żarówkach w zależności od obciążenia sieci lamp. Jako granicę najwyższego dopuszczalnego wzrostu napięcia na żarówkach przyjęto 26,5 V.

Regulator motorowy. Bardzo ciekawe rozwiązanie regulacji napięcia wprowadził inż. Akerman (A. S. E. A.), zastosowując zamiast regulatora napięcia silnik regulujący wg. schematu rys. 13.

Uzwojenie wzbudzenia prądnicy jest włączone w szereg z jednym z uzwojeń stojana silnika, drugie jego uzwojenie jest wzbudzane z 6 woltowej baterji pomocniczej (4).

Wyłącznik odśrodkowy (6), uzależniony od szybkości wirowania silnika steruje wyłącznikiem głównym (5). Silnik wiruje od zera do około 2000 obr./min. Dla prądnicy o mocy 2 do 3 kW stosuje się silnik o mocy około 100 W, o wadze około 15 kg. Regulator motorowy (silnik) i baterja pomocnicza są umieszczone pod pudłem wagonu (rys. 14).



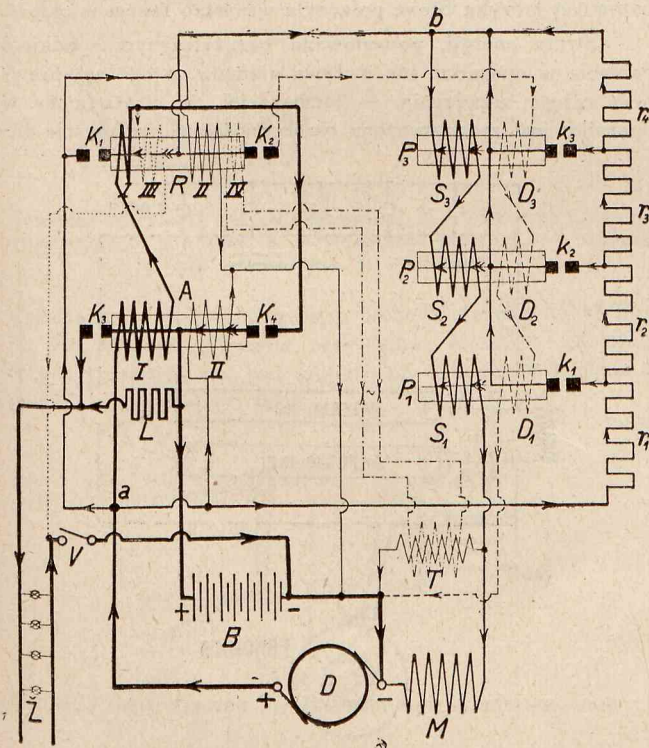
Rys. 12.

Schemat uproszczony instalacji oświetlenia ze wzbudzeniem szeregowo-lampowym (Elin).

1—Twornik, 2—Akumulatory, 3—Lampy, 4—Cewka napięciowa, 5—Cewka prądowa, 6, 7, 8, 9—Kontakty wyłącznika, 10—Płytki kontaktowe, 11—Opór lampowy, 12—Cewka bocznikowa prądnicy, 13—Wyłącznik, 15—Uzwojenie biegunów zwrotnych, 16—Uzwojenie szeregowe, 17—Uzwojenie szeregowo-lampowe, 18—Wyłącznik lampowy, 19—Wyłącznik złączony z 18, B_1 , B_2 —Szczotki główne, b_1 , b_2 —Szczotki pomocnicze, S—Wyłącznik automat, główny, R—Regulator.

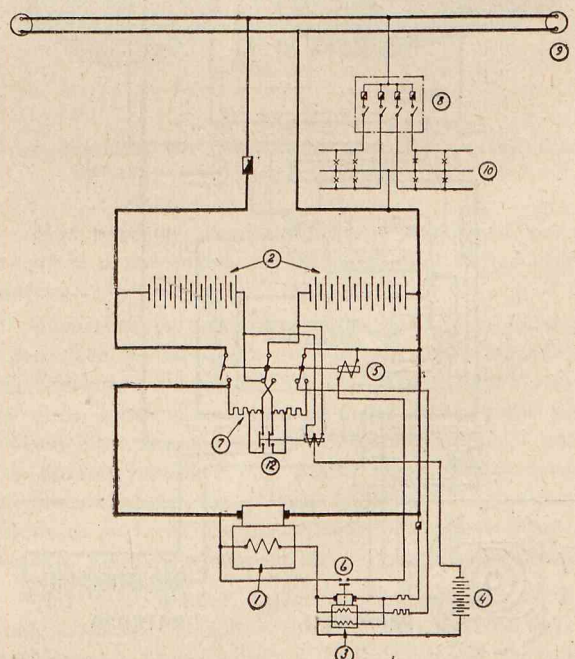
3. Regulatory napięcia sieci lamp. W celu usunięcia wahań napięcia w sieci oświetlenia podczas biegu pociągu i postojów, zostały wprowadzone regulatory napięcia dla sieci świetlnej (żarówek).

Przy zastosowaniu regulatora napięcia sieci świetlnej otrzymujemy napięcie, utrzymujące się stale na ściśle okreś-



Rys. 11.

Schemat uproszczony instalacji oświetlenia z regulatorem wibracyjnym (ERA).



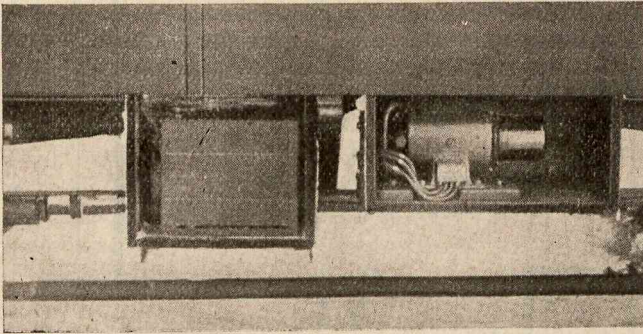
Rys. 13.

Schemat uproszczony oświetlenia z regulatorem silnikowym (ASEA).

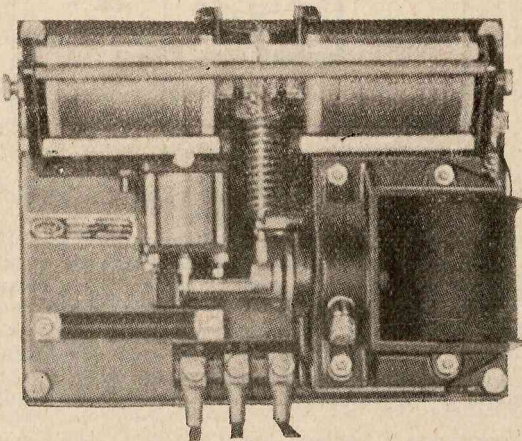
lonym poziomie. Unika się w ten sposób wszelkich wahań oświetlenia w czasie jazdy i postojów, jak również znacznie zwiększa się żywotność i wydajność żarówek, co poza przy-

jemniejszym światłem odbija się bardzo dodatnio na kosztach eksploatacji żarówek.

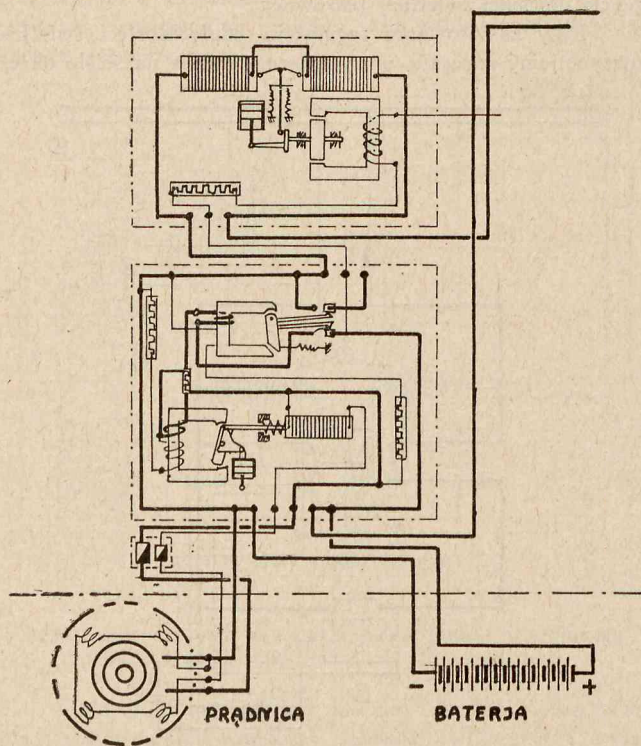
Regulatory napięcia tego typu muszą regulować napię-



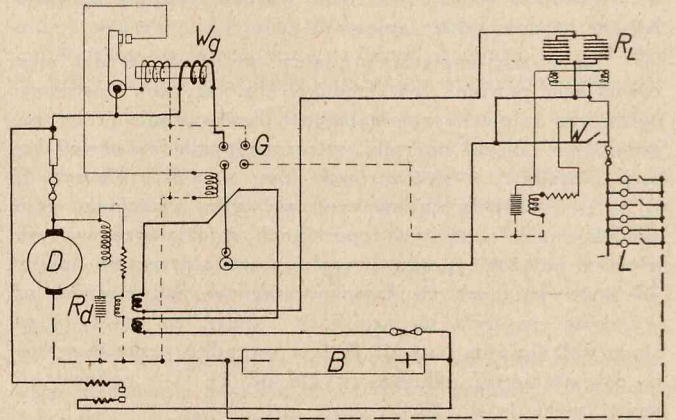
Rys. 14.
Widok silnika-regulatora i baterji pomocniczej.



Rys. 14a.
Widok regulatora sieci lamp (ASEA).



Rys. 15.
Schemat uproszczony regulatora sieci lamp i regulatora prądnic (ASEA).



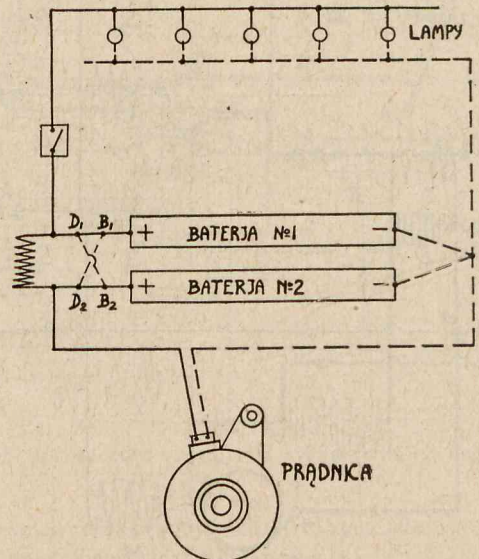
Rys. 16.
Schemat uproszczony typu oporowego dla sieci lamp i prądnic (Stone-Tonum) D — prądnic, B — baterja, L — sieć lamp, Wg — przełącznik wyłącznika głównego, G — styki wyłącznika głównego, Rd — regulator oporowy wzbudzenia, Rl — regulator oporowy sieci lamp.

cie prądu o dość dużych natężeniach, dochodzących do trzydziestu paru amperów.

Dla osiągnięcia zmiennych spadków napięć przy różnych natężeniach prądów fabryki (A. G. A., A. S. E. A., Stone) zastosowały z bardzo dobrym skutkiem oporniki grafitowe, włączone w szereg z siecią żarówek (rys. 14a, 15, 16).

Opornik taki składa się z szeregu krążków grafitowych, które są pod zmiennym naciskiem, uzależnionym od sprężyny i napięcia sieci. Przez odpowiednie ściskanie względnie zwalnianie nacisku osiąga się zmianę oporu przejścia dla prądu oświetlenia, a co zatem idzie — zmienny spadek napięcia na tym zmiennym oporniku. Fabryka A. S. E. A. i A. G. A. stosuje ten typ regulatora, jako dwa niezależne regulatory, natomiast fabryka Stone połączyła wszystko razem w całość.

Strata energii, powodowana bezużytecznym spadkiem napięcia w oporniku, nie wpływa ujemnie na ogólną sprawność całego urządzenia, — tembardziej, że strata mocy w oporniku jest zrównoważona oszczędnościami na koszcie za-



Rys. 17.
Schemat uproszczony instalacji oświetlenia wagonu przy syst. dwubateryjnym (Stone).

rówek oraz na ogólnie przyjemniejszym dla oka oświetleniu wagonu.

Celem uzyskania tego samego wyniku, t. j. jaknajmniejszego wahań napięcia żarówek bez użycia dodatkowego regulatora sieci, firma Stone ma swój system dwubateryjny (rys. 17).

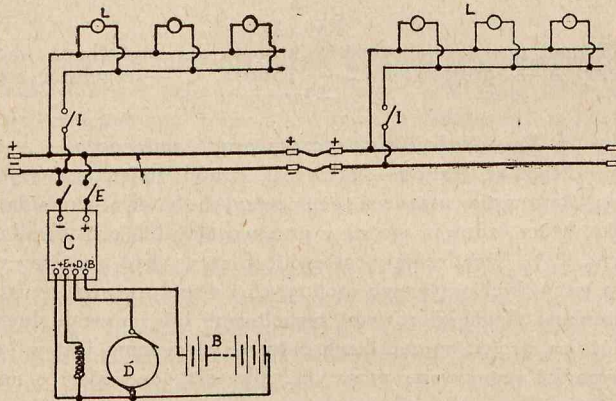
Baterje są kolejno przyłączane do ładowania przy pomocy przełącznika Pegoud ($D_1 D_2 B_1 B_2$) po każdym rozruchu pociągu. Baterja druga jest jednak przyłączona równolegle przez opornik. Sposób ten pozwolił na uzyskanie mniejszych wahań napięcia na żarówkach przy zastosowaniu tych samych oporów regulacyjnych w sieci lamp.

Jako droższy od systemów jednobateryjnych nie uzyskał jednak na kontynencie wielu zwolenników.

Oświetlenie pół-indywidualne.

W pociągach, których składy wagonów nie zmieniają się w czasie całej drogi, np. w pociągach podmiejskich przy trakcji parowej, nie stosuje się instalacji indywidualnych we wszystkich wagonach, lecz instalacja taka, umieszczona w jednym wagonie, zasilają kilka wagonów sąsiednich lub nawet cały skład pociągu. Koszt zakładowy, jak również i koszt utrzymania takiej instalacji jest o wiele niższy, niż w wagonach z instalacjami indywidualnymi.

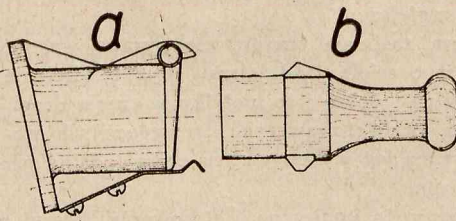
Instalacja wagonu zasilającego niczem się nie różni od poprzednio opisanego urządzenia oświetlenia indywidualnego, natomiast pozostałe wagony posiadają jedynie sieć rozdzielczą, zasilającą lampy (rys. 18). Instalacja jest tak



Rys. 18.

Schemat instalacji pół-indywidualnej. B — baterja, C — regulator, D — prądnica, E — wyłącznik główny, I — wyłącznik oświetlenia, L — lampy.

wykonana, że wzdłuż wagonu przechodzi główny kabel, który jest zarazem głównym przewodem, łączącym wszystkie wagony; przewód ten jest zaopatrzony w końcach wagonu w gniazda stykowe (rys. 19a).

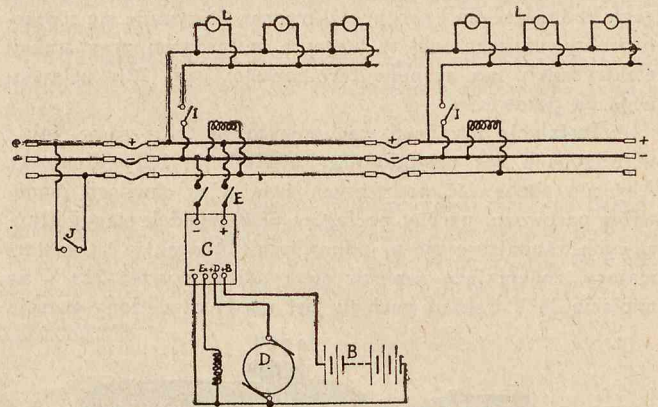


Rys. 19.

Gniazdo (a) i wtyczka (b) dla łączników międzywagonowych.

Łączniki oświetlenia (rys. 19b) muszą gwarantować samowylączenie bez uszkodzenia kabla w razie, gdyby zapomniano przy rozczepieniu wagonów zdjąć łącznik.

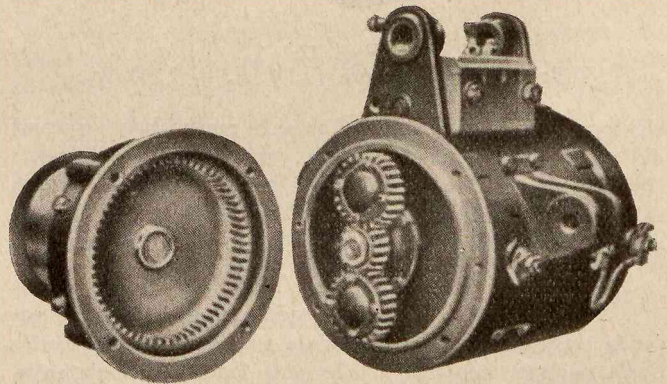
Jeżeli światło w każdym wagonie jest zapalane oddzielnie, to instalację wykonywa się według schematu, podanego na rys. 16.



Rys. 20.

Schemat instalacji pół-indywidualnej ze sterowaniem zapalania na odległość. B — baterja, C — regulator, D — prądnica, E — wyłącznik główny, I — wyłącznik automatyczny oświetlenia sterowany z odległości, L — lampy.

Często zachodzi potrzeba, aby zapalenie światła we wszystkich wagonach odbywało się z jednego miejsca, np. z przedziału kierownika pociągu lub przedziału bagażowego, wówczas zaopatruje się wszystkie wagony w wyłączniki samoczynne, sterowane na odległość (rys. 20). Ze względu na sterowanie z odległości łączniki muszą być trójprzewodowe.



Rys. 21.

Widok prądnicy do oświetlenia pociągów podmiejskich od strony powiększacza szybkości (E. V. R.).

Moc prądnicy, zasilającej grupę wagonów, jest większa, niż w urządzeniach indywidualnych, i wynosi parę kilowatów.

Zastosowanie prądnic, napędzanych przez oś wagonu, w pociągach podmiejskich czy liniach drugorzędnych, których szybkości stosunkowo są niewielkie, a ilość przystanków duża, sprawia, że w czasie dużej części biegu pociągu szybkość prądnicy nie osiąga wartości minimalnie potrzebnych dla otrzymania z nich pełnej mocy. Wobec czego baterje akumulatorów nie zostają dostatecznie doładowywane, powodując w szybkim czasie światło niedostateczne i konieczność doładowywania na stacji postojowej wagonów.

Aby tego uniknąć, zastosowano urządzenia do zwiększenia szybkości, złożone z układu kół zębatach (rys. 21), umieszczonych bezpośrednio w kadłubie samej prądnicy.

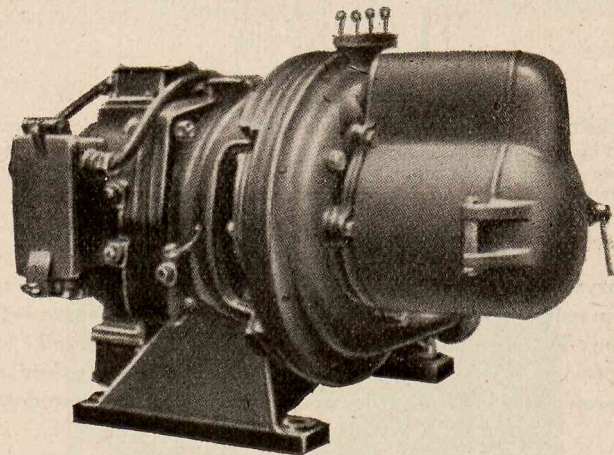
Wielkość przekładni dochodzi do 4, co pozwala na normalną pracę prądnicy już przy szybkości $6 \div 10$ km/godz.

Oświetlenie zbiorowe.

a) Przy trakcji parowej.

Oświetlenie zbiorowe stosuje się przeważnie w pociągach podmiejskich. Energję elektryczną otrzymuje się z przetwornicy, umieszczonej w wagonie motorowym przy trakcji elektrycznej, lub zespołu turbinowego (rys. 22), ustawionego na parowozie.

Instalacje urządzeń wagonowych są takie same, jak i w wagonach bez prądnic przy oświetleniu indywidualnym. Aby nie pozbawiać podróżnych światła w chwilach manewrów parowozu, perony pociągów podmiejskich stacji krańcowych zaopatruje się w odpowiednie kontakty i transformatory, zmieniające napięcie sieci 120 V czy też 220 V na napięcie 24 V i skład pociągu jest wtedy oświetlony energją



Rys. 22.

Widok turbo-generatora (E. V. R. — 1 500 W).

elektryczną z sieci. Te same kontakty mogą służyć również do oświetlania wagonów hoteli, resaturacji z kuchnią i chłodnią elektryczną i t. p. Można stosować również baterję akumulatorów, umieszczone w jednym z wagonów, lecz to pociąga duże koszty i kłopoty, związane z konserwacją.

b) Przy trakcji elektrycznej prądu stałego.

Przy trakcji elektrycznej prądu stałego wysokiego napięcia wagony motorowe posiadają przetwornicę dla oświetlenia pociągu, jako też i ładowania baterji akumulatorów, przyłączonej buforowo, która przede wszystkim służy do zasilania urządzeń sterowniczych wagonu motorowego, a potem w razie zaniku napięcia na linii zasila część sieci oświetleniowej w wagonach osobowych.

Do oświetlenia zbiorowego stosuje się napięcie 110 V, t. j. o wiele wyższe, niż przy systemach indywidualnych.

Kwestja motor-generatora oświetleniowego, współpracującego z baterją akumulatorów, przyłączonej buforowo, na pierwszy rzut oka nie przedstawia, zdawałoby się, żadnych trudności; tak jednak nie jest.

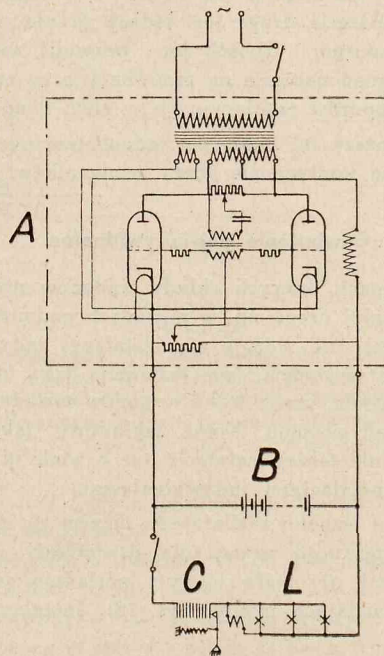
W wypadku uszkodzenia motor-generatora, zasilającego sieć lamp napięciem znamionowym 110 V, sieć obwodów sterowniczych, jak i oświetlenia, automatycznie przełącza się na baterję.

Obwody sterownicze pracują sprawnie nawet i przy 50% napięcia nominalnego, natomiast inaczej przedstawia się sprawa oświetlenia.

Jeżeli zastosujemy żarówki na napięcie znamionowe prądnic, zostaną one w tym wypadku przyłączone do baterji, której napięcie będzie niższe od nominalnego i będzie szybko dalej spadać do wartości średniej napięcia wyładowania baterji, to jest do napięcia o około 20% niższego. Tak wielka różnica napięcia odbije się bardzo na oświetleniu.

Aby tego uniknąć, stosuje się regulatory sieci lamp i żarówki na napięcie odpowiednio niższe; staje się to niezbędne, gdy lampy sygnałowe pociągu są elektryczne.

Prawie tak samo dobrze, jak oporowe regulatory sieci, pracują ogniwa oporowe, które przy normalnej pracy motor-generatora są włączone w szereg, obniżając napięcie, zaś w wypadkach jego uszkodzeń są zwierane automatycznie.



Rys. 23.

Schemat urządzenia prostownikowego dla oświetlenia wagonów. A — prostownik, B — baterja, C — regulator sieci, L — lampy.

c) Przy trakcji elektrycznej prądu zmiennego.

Stosując trakcję elektryczną prądu zmiennego, mamy dla sterowania urządzeń pomocniczych baterję akumulatorów, które ładować można z przetwornicy lub prostowników (rys. 23). Urządzenia prostownicze mogą być zastosowane we wszystkich wagonach osobowych i współpracować z urządzeniami akumulatorowymi zespolonymi lub indywidualnymi. Różnica napięć na zaciskach baterji i sieci lamp jest w tym wypadku regulowana przez opornik szeregowy sieci o analogicznej budowie, jak regulatory sieci.

Urządzenia specjalne.

Poza wagonami osobowymi w trakcji pociągów osobowych mamy wagony bagażowe i pocztowe. Wagon bagażowy pod względem urządzeń oświetlenia nie stawia żadnych specjalnych wymagań.

Ponieważ normalne zapotrzebowanie światła w wagonie bagażowym jest małe, wagony te mają prądnice i baterję o wiele mniejsze.

Sprawa zasilania energją elektryczną wagonów pocztowych jest o wiele trudniejsza, gdyż oświetlenie w nich musi być silne i dobre i to nie tylko w czasie drogi, lecz i w czasie prac przygotowawczych (segregacji), które personel poczty zaczyna już wykonywać na dwie godziny przed odejściem pociągu.

Powoduje to konieczność stosowania baterji o dużych pojemnościach, co odbija się na kosztach. Taką baterję trzeba wymieniać na nową w okresach prawie pięcioletnich.

Baterja w takim wagonie po parogodzinnej pracy przed wyjściem w drogę jest już dobrze rozładowana, i w razie wypadku uszkodzenia napędu w drodze może spowodować niedostateczne oświetlenie, co jest zupełnie niedopuszczalne.

Aby nie ograniczać czasu korzystania z oświetlenia elektrycznego w wagonach pocztowych, zaproponowałem zaopatrzenie wagonów poza normalną instalacją oświetlenia indywidualnego w dodatkowe urządzenie, składające się z transformatora 220/24 V lub 110/24 V i specjalnego kontaktu. Transformator ten może być zasilany z sieci ogólnej.

Gniazdko kontaktowe jest tak wykonane (znormalizowane), że z chwilą przyłączenia transformatora do sieci ogólnej odłącza automatycznie zasilaną sieć zarówno od baterji prądnic i regulatora.

Stosując powyższe urządzenie, zaoszczędzamy na energii, zakumulowanej w baterji. Sposób ten pozwala na zaopatrzenie ambulansów pocztowych w baterje i urządzenia takiej samej wielkości, co i wagonów dalekobieżnych oso-

bowych; jest to bardzo wskazane ze względu na jednorodność urządzeń.

Wagony z tem dodatkowem urządzeniem już zostały wprowadzone do ruchu tytułem próby przez Dyрекję Poczty i Telegrafów.

Ze względów na ograniczone ramy niniejszego artykułu, kwestja badań urządzeń oświetlenia wagonowego, będzie poruszona osobno.

LITERATURA.

Publikacje poszczególnych firm i dane zebrane bezpośrednio w czasie praktyk na fabrykach A. G. A. i A. S. E. A. N. I. F. E. w Szwecji, B. B. C. i E. R. A. w Polsce, E. V. R. S. A. F. T. i STONE we Francji, STONE w Anglii.

KOMUNIKACJA TRAMWAJOWA W TORUNIU.

Inż. Z. Wojciechowski.

Streszczenie. Krótki rys historyczny rozwoju linii tramwajowych. Porównanie trzech rodzajów trakcji: tramwajowej, autobusowej i trolleybusowej. Zestawienie przyczyn, dla których wybrano trakcję tramwajową. Krótka historia i opis budowy torów. Opis ważniejszych szczegółów układu i urządzenia torów na dojazdach i moście. Porównanie sum, wydanych rzeczywiście, z sumami kosztorysowymi i przyczyny tańszego wykonania.

Tramwaje toruńskie należą do jednych z najstarszych przedsiębiorstw tego rodzaju w Polsce. W roku 1891 zostały uruchomione tramwaje konne, należące do prywatnych przedsiębiorców. Po 9-ciu latach przedsiębiorcy odstępują swe prawa spółce akcyjnej, która wprowadza w roku 1900 trakcję elektryczną. Połowę akcji tego przedsiębiorstwa posiadało Miasto.

Po ustąpieniu okupantów w 1920 r., zarząd wspólny elektrowni, gazowni i tramwajów przechodzi w ręce tymczasowego zarządu likwidacyjnego, a w miesiącu lipcu roku 1926 wszystkie trzy przedsiębiorstwa przechodzą pod zarząd i we władanie Miasta.

Miasto Toruń ma 60 000 mieszkańców, bez wojska; leży na szlakach kolejowych Warszawa — Gdynia, Warszawa — Poznań, Iłowo — Piła, Toruń — Czarnowo, Toruń — Unisław, Toruń — Grudziądz — Gardeja, Toruń Lubicz — Sierpc; jest siedzibą Urzędu Wojewódzkiego, Sądu Okręgowego, od niedawna Okręgowej Dyrekcji Kolejowej, przeniesionej z Gdańska; wkrótce ma stać się siedzibą innych władz II instancji, przeniesionych z Grudziądza.

Mury forteczne, okalające jeszcze za czasów okupacji Toruń i hamujące jego rozwój, zostały rozebrane. Przedmieścia Torunia coraz bardziej zrastają się ze środkiem Miasta, tworząc jedną całość. Ruch budowlany, mimo niepomyślne warunki doby obecnej, jest dość intensywne.

Rozpoczęta w roku 1928 budowa mostu drogowego dobiega końca; most stworzy pierwszorzędną arterję ruchu pomiędzy prawym, a lewym brzegiem Wisły; miasteczko Podgórz, leżące na lewym brzegu Wisły, przybliży się do Torunia i zespoli się z nim, być może, w przyszłości.

Pierwszą linią tramwajową powstała w Toruniu jest linja Bydgoskie Przedmieście — Dworzec Miasto; linja ta istniała już za czasów tramwaju konnego i myślano wówczas o przedłużeniu jej przez most kolejowy do Dworca

Przedmieście. Projekt ten nie doczekał się urzeczywistnienia.

Linja Ratusz — Dworzec Mokre została wybudowana w latach 1903 — 1905 do obecnej ulicy Kościuszki; w roku 1917 ukończono przedłużenie tej linii do Dworca Toruń Mokre.

Linję Ratusz — Chełmińska Szosa ukończono w 1907 roku do ulicy Grunwaldzkiej; w 1927 roku przedłużono ją do ulicy Wybickiego.

Jak już wspomniano, budowa mostu drogowego dobiega końca i zapewne w czasie Zjazdu Stowarzyszenia Elektryków w czerwcu r. b. most i dojazdy będą ukończone i oddane do użytku publicznego.

Każdy, kto był choć raz w Toruniu, odczuł, jak niewygodne było połączenie Dworca Toruń-Przedmieście z miastem. Wyczekiwano długo na pociąg, łączący Dworzec Przedmieście z Dworcem Miasto, lub też brano bagaż, aby przejść pieszo odległość około 800 metrów do promu parowego, dojechać do prawego brzegu, a tam znów iść piechotą do śródmieścia dalszych 500 metrów.

Gdy rozpoczęto budowę mostu, finansowaną przez Państwo i Miasto, musiało być obmyślane i zdecydowane zagadnienie komunikacji między prawym a lewym brzegiem, między Dworcem-Przedmieście a śródmieściem. Jak zwykle stawiano żądania, aby komunikacja była szybka, tania i wygodna, aby była nowoczesna i aby zaspakajała w sposób należyty spodziewaną bardzo nierównomierną frekwencję.

Zwolennicy autobusów wysuwali wszystkie rzeczywiście dobre strony tej trakcji, a gdy ich zabrakło, operowali sztucznymi obliczeniami. Sprawa zastosowania trolleybusów była również brana pod uwagę. Kierownictwo Tramwajów Miejskich postanowiło rozstrzygnąć to zagadnienie zupełnie bezstronnie i mieć jedynie dobro Miasta i publiczności na uwadze. Przystudjowano liczne artykuły prasy zagranicznej, omawiające współzawodnictwo tych trzech rodzajów komunikacji lokalnej.

Przy powzięciu decyzji opierano się na zebranych materiałach, na własnym doświadczeniu, opartem na liczbowych wynikach w ruchu istniejących oddawna linii tramwajowych w Toruniu, oraz na bardzo starannie i rzeczowo opracowanej pracy Inż. Pawła Nastypke, Dyrektora Śląsko-Dąbrowskich Kolei w Katowicach, pod tytułem: „O zakresie działania poszczególnych środków komunikacji lokalnej”, przygotowanej na Ogólnokrajowy Zjazd w sprawach komunikacji miejscowej w październiku 1932 r.

Wyniki prac porównawczych i zestawień liczbowych były następujące:

koszt na 1 wozu/km przy trakcji tramwajowej	— 0,775 zł.
„ „ „ „ „ „ „ „ autobusowej	— 1,600 „
„ „ „ „ „ „ „ „ trolleybusowej	— 1,020 „
dochody na 1 wozu/km przy trakcji tramwajowej	
„ „ 1 „ „ „ „ „ „ „ „ autobusowej	} — 0,962 zł.
„ „ 1 „ „ „ „ „ „ „ „ trolleybusowej	

Liczby te otrzymano, wychodząc z założenia, że przy wszystkich rodzajach trakcji zostanie wykonana jednakowa liczba wozokilometrów przy jednakowej liczbie przewiezionych pasażerów i jednakowej tramwajowej taryfie. Dane liczbowe z ruchu tramwajowego w Toruniu przekonały, że powyższe teoretyczne wyliczenia niedokładnie przedstawiają stan rzeczy. Tramwaje mogą być w każdej chwili przystosowane do wzmożonej frekwencji przez wypuszczenie przyczepki, skierowanie wozów motorowych z innych linii i t. p. Autobusy i trolleybusy nie mogłyby nigdy sprostać wzmożonej frekwencji podczas ruchu niedzielnego, targowego, wycieczkowego.

Przekonania nasze w tym względzie skryształizowaliśmy w następujących zdaniach, które znalazły uznanie sfer decydujących.

Trakcja tramwajowa:

- 1) jest najtańsza dla masowego przewozu ludności,
- 2) jest najbezpieczniejsza i najpewniejsza tak dla pasażerów, jak i dla ruchu ulicznego,

3) jest w możności przystosować się do liczby pasażerów i powiększać swą pojemność przez przyczepki,

4) jest korzystna dla gospodarki miejskiej przez obowiązki utrzymywania nawierzchni ulic w pasie torów,

5) jest pożądana ze względu na miejscowe warunki, a mianowicie ze względu na większe zużycie prądu, dostarczanego przez Pom. Elek. Krajową „Gródek“, wskutek czego Miasto uzyska tańszą taryfę. Przy projektowanym ruchu zużyto by rocznie około 250 000 kWh więcej niż dotychczas, dzięki czemu cena prądu obniżyłaby się o 3—4%;

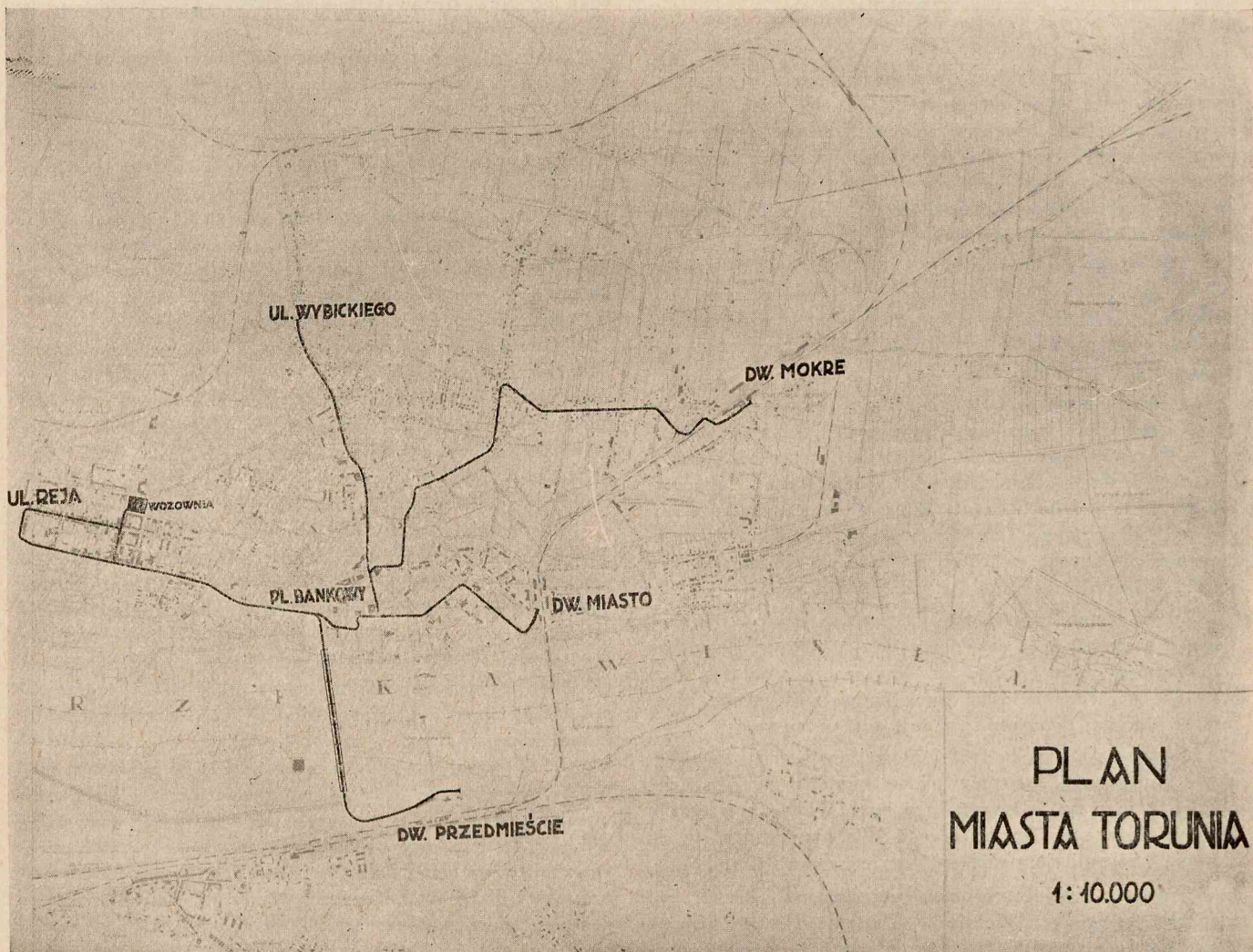
6) jest z tego powodu dobra, że nie można kraść materiału pędnego, jak to ma miejsce z benzyną i smarami przy autobusach;

7) może być użyta tylko na liniach przeznaczonych do tego i nie może być użyta do celów postronnych i do nadużywania przez imprezy dobroczynne.

8) jest od szeregu lat prowadzona w Toruniu, ma wszelkie urządzenia i usprawnioną administrację; należy jedynie rozszerzyć je z chwilą uruchomienia nowej linii;

9) jest pożądana ze względów zdrowotnych, gdyż nie zanieczyszcza powietrza gazami spalinowymi.

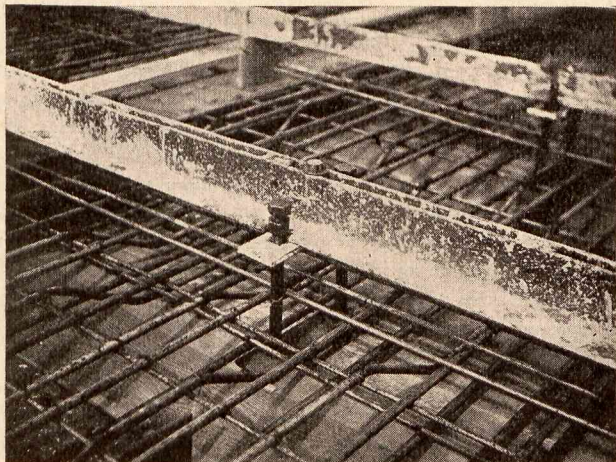
Ze względu na brak funduszków budowa mostu przedłużała się. W roku 1932 zaczęto budowanie płyt żelbetonowych jezdnii, przyczem wbetonowano jednocześnie zakotwienie dla linii dwutorowej. W 1933 r. ukończono betonowanie i wtedy można było przystąpić do układania szyn tramwajowych.



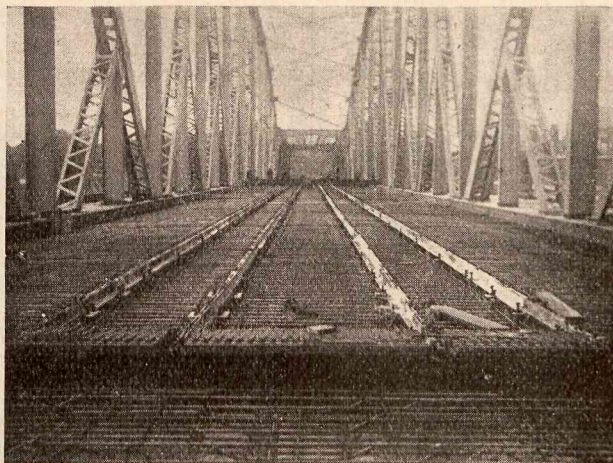
Budowę linii tramwajowej rozpoczęto w połowie lipca 1933 r. Wszelkie potrzebne materiały były dość późno zamówione, mimo to dostarczono je na czas i nieterminowe dostawy tylko w nieznacznym stopniu wpłynęły na opóźnienie prac. Prace były prowadzone w takim tempie, aby nie

dzie trawa, tak jak to ma miejsce na ulicy Szopena. Zielony trawnik urozmaici jednostajny szary koloryt jezdni.

Prześwit torów tramwajów toruńskich wynosi 1 m; torry są ułożone w odległości 2,50 m, licząc między osiami torów; ponieważ szerokość tramwajów wynosi 2,10 m, pozo-



Rys. 1.



Rys. 2.

opóźnić robót przy wykonywaniu izolacji płyty betonowej. W ostatnich dniach października 1933 r. tory zostały ułożone do Dworca-Przedmieście i linia robocza prowizorycznie ułożona, aby umożliwić ruch tramwajów przy zwózce materiałów do dalszej budowy jezdni na moście i dojazdów prawego i lewego brzegu.

Dzięki nadzwyczaj przychylnemu stanowisku Ministerstwa Komunikacji, Okręgowej Dyrekcji P. K. P. w Toruniu oraz Kierownictwa Budowy Mostu, zezwolono na tymczasowe uruchomienie tramwajów na nowej linii, pomimo, że całkowite ukończenie mostu drogowego i otwarcie ruchu pieszego i kołowego jest spodziewane dopiero w czerwcu lub lipcu 1934 r.

Tramwaje przechodzą przez most zamknięte; konduktorzy otwierają je dopiero w miejscu, gdzie jezdnia jest zupełnie wykończona. W pierwszym miesiącu kursowania t. j. od 22 grudnia 1933 r. do 22 stycznia 1934 r. przejechało tą linią około 40 000 pasażerów. Linia ta jest jeszcze mało znana przyjezdnym, poza tym w czasie zimowym ruch między lewym i prawym brzegiem jest nikły.

Przy Placu Bankowym wykonano prowizoryczne połączenie torów istniejącej linii tramwajowej z nowymi torami. Dalsza rozbudowa przewiduje wybudowanie dwutorowej linii, łączącej Plac Bankowy z Placem Teatralnym, i stworzenie tam węzła rozjazdowego na wszystkie przedmieścia Torunia.

Nowa linia tramwajowa ma 2,05 km długości; na toruńskiej stronie i na moście jest dwutorowa, a na stronie podgórskiej w odległości 53 m od przyczółka mostowego przechodzi w linię jednotorową, budowaną jednak tak, aby w przyszłości można było dobudować drugi tor.

Przy dworcu Toruń-Przedmieście urządzono mijankę. W przyszłości ma być rozbudowany odpowiedni dojazd do dworca i stworzony odpowiedni dziedziniec dworcowy. W projekcie jest wybudowanie pętli, umożliwiającej przejazd tramwajowych pociągów bez przetaczania.

Na toruńskim dojeździe do mostu stworzono ze względów oszczędnościowych własne torowisko (110 m długości); użyto tam szyn zwykłych, kolejowych na podkładach drewnianych, nasyconych syst. „Rüpinga”; torowisko obsiane bę-

staje więc między mijającymi się tramwajami 0,40 m. Torry rozstawiono w ten sposób po pierwsze dlatego, że na istniejących torach odległość ta jest zachowana, po drugie — że szerokość jezdni mostu nie jest zbyt wielka i pasy jezdni po obu stronach torów byłyby zbyt wąskie. Przy wykonanym układzie torów szerokość pasa jezdni od szyny do krawężnika wynosi 3,56 m. Ze względu na wątpliwości, wyrażone ze strony Dyrekcji Okręgowej P.K.P., w sprawie rozstawienia torów, zebraliśmy, drogą ankiety, dane z całej Polski co do odległości między mijającymi się tramwajami. Warszawa ma największą odległość — 0,85 m; w Poznaniu odległość ta wynosi 0,535 m i 0,335 m; w Łodzi i Toruniu — 0,40 m. Poparliśmy nasze stanowisko wyjątkiem z dzieła prof. R. Podolskiego, który słusznie twierdzi, że duże odległości między mijającymi się tramwajami są więcej szkodliwe, niż pożyteczne. Zresztą ulice Torunia naogół są tak wąskie, że nie pozwalają na szersze rozstawienie.

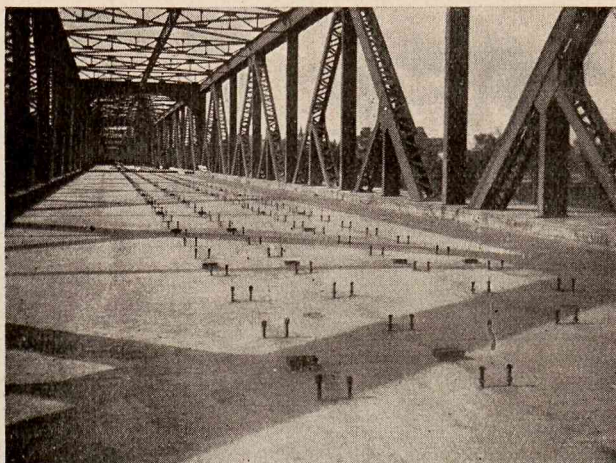
Szyn użyto typu lwowskiego o wysokości 160 mm, szerokości stopy 140 mm i szerokości żłobka 38 mm. Szyny na stykach wszędzie, gdzie tylko było można, spawano sposobem alumino-termicznym bezwkładkowym.

Na moście, rzecz prosta, nie można było spawać szyn na całej długości. Most drogowy w Toruniu ma 8 przęseł; licząc od Torunia I, VII i VIII mają dług. po 78 m; II, III, IV, V i VI — po 130 m. Przęsła mostu połączono specjalnymi złączkami wydłużalnymi, skonstruowanymi dla nas specjalnie przez naszego doradcę technicznego p. Inż. Jana Zarzyckiego, asystenta Wydziału Torów Tramwajów Warszawskich. Przedstawione jest ono na rys. 6. Złącza te dozwalają na grę 150 mm przy wahanii temperatury od minus 30° C do plus 45° C. Gra ta jest zupełnie wystarczająca; teoretycznie obliczone wydłużenie toku szyn o długości 130 m wynosi w granicach powyższych temperatur 118 mm.

Przęsło 130 m nie jest jednak tak zbudowane, aby można było na całej długości ułożyć szynę spawaną. Przęsło podzielone jest na trzy części konstrukcyjne, mogące się rozszerzać pod wpływem temperatury; w dwóch więc miejscach jednego toku szyn wbudowano dodatkowe złącza wydłużalne prostszej budowy, dozwalające na grę od 20 do

30 mm. Złącza wydłużalne spojono aluminotermicznie z odpowiednio długimi odcinkami spojonych szyn.

Co 2 m szyny otrzymały zakotwienia, składające się z żelaznej płytki 10 mm z dwoma czterokątnymi otworami, w których tkwią odpowiednio ukształtowane łby sworzni.

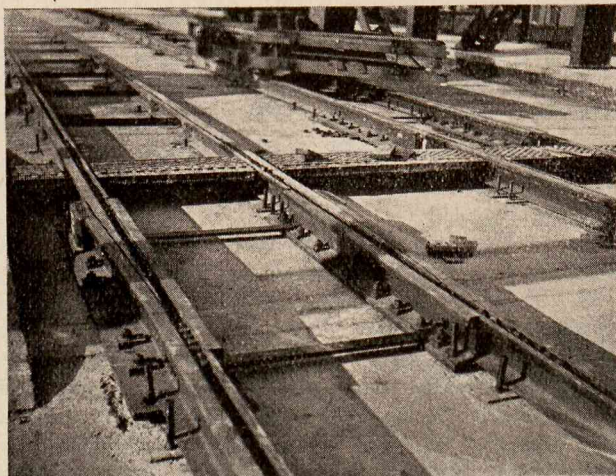


Rys. 3.

Płytki i sworznie są zatopione w betonie pomiędzy prętami uzbrojenia (p. podane obok rysunki). Na wystające ponad beton końce sworzni nałożona została odpowiednia żabka prasowana, opierająca się jedną stopą na podkładce żelaznej, drugą na stopie szyny; 2 naśrubki przyciskają żabkę do szyny i podkładki. W podobny sposób zostały zakotwione i złącza wydłużalne.

Aby uniemożliwić szynie pełzanie na dłuższych przęsłach, zastosowano zakotwienia przeciwpełzne, połączone z szyną nie żabkami, lecz kształtnikami, przypominającymi łubki i przyśrubowanymi do szynki szynami 3-ma śrubami. Każdy odcinek szyny między dwoma złączami wydłużalnymi jest zabezpieczony z dwu stron takimi zakotwieniami.

Tak połączone, wyregulowane i odpowiednio podklimowane tory zostały podlane asfaltem, który ma za zadanie



Rys. 4.

stworzenie elastycznego podłoża, aby uderzenia kół nie wpływały szkodliwie na beton i aby skrócić czas późniejszych napraw. Teoretycznie liczone, że masa asfaltowa będzie 30 mm gruba, tymczasem z powodu wielkiej nierówności powierzchni betonu w niektórych miejscach mia-

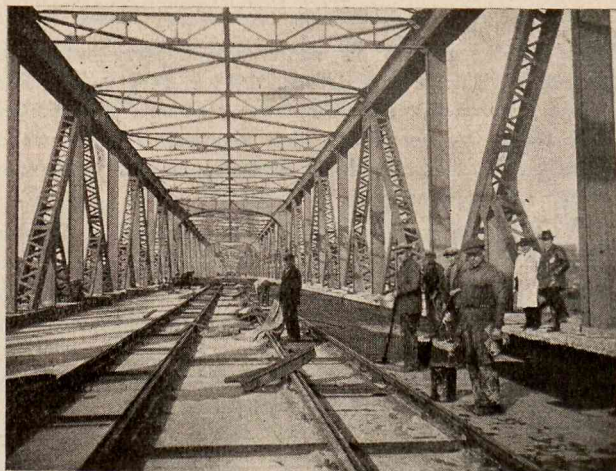
ła 80 mm, w innych trzeba było beton wycinać lub podlewać specjalnym bardzo płynnym asfaltem, aby masa podeszła pod stopę szyny.

Tory na moście mają gęsto rozstawione skrzynie odwodniające: na 78-metrowych przęsłach — 3, na 130-m — 4 na każdym torze. Złącza wydłużalne mają oddzielne odwodnienia.

Toki szyn są połączone ze sobą poprzecznikami torowemi co 1,50 m i poprzecznikami międzytorowemi co 3 m.

Na przestrzeni dojazdów prawo- i lewobrzeżnych stosowano, z wyjątkiem własnego torowiska, dotychczasowy sposób układania torów. Pod każdym tokiem szyn wykopywano rów szerokości 0,40 m, głębokości również 0,40 m, licząc od stopy szyny. W rowie tym, o pionowych ścianach, układano kamień gruboładany szeroką stroną do dna wykopu, zasypywano drobnym tłucznem, ubijano ręcznie i zamulano żwirem. Na tak utworzony podkład kamienny kładziono spawane tory szyn, zmontowywano tor i podbijano do wymaganej wysokości drobnym tłucznem.

Umocowanie zakotwień szyn, złączy wydłużalnych i odwodnień na moście było bardzo uciążliwe i dopiero po zabetonowaniu dwóch przęseł krótkich znaleziono właściwy sposób. Umocowanie złączy do drewnianej belki kwadra-



Rys. 5.

towego przekroju nie dało dobrych wyników: belka paczyła się pod wpływem wody i sworznie zakotwień schodziły z linii prostej w planie i profilu. Zastosowanie specjalnych spawanych konstrukcji z dwóch kątowników, na których wisały zakotwienia na odpowiedniej wysokości, dało dobre rezultaty; drobne uchybienia były naprawiane przy montowaniu torów.

Transporty szyn z Zakładów Ostrowieckich nadchodziły częściowo na lewy, a częściowo na prawy brzeg Wisły. Na lewym brzegu zwożono szyny kołami, układając je wzdłuż projektowanej linii; na prawym podjeżdżano brzegiem Wisły pod most i tam je składano. Na most wciągano szyny dźwigiem elektrycznym, ustawionym tam dla dostawy betonu. Wciągnięte na poziom mostu szyny złożono przy przyczółku mostowym i układano prowizorycznie w pasach zakotwień,—stworzono tym sposobem tymczasowy tor, po którym przesuwano ręcznie wózek z ładunkiem 6-ciu do 8-miu szyn. Szyny te układano dalej. Transport był tym sposobem bardzo ułatwiony i nie zabrał dużo czasu. W ten sam sposób rozwieziono po całym moście wszelki materiał, potrzebny do montażu.

Ustawienie szyn na odpowiedniej wysokości sprawiało duże trudności ze względu na wspomniane już poprzednio

niedokładności betonowania. Podklinowano toki szyn klinami drewnianymi, które miano przy asfaltowaniu usuwać, wybijając jednak kliny, zniekształcano położenie szyn w planie i profilu. Wkrótce przekonano się, że wyjmowanie klinów jest rzeczą wprost niemożliwą, wobec czego zalewano je asfaltem i tak pozostawiano.

Podlewa asfaltowa miała ścianki pionowe po usunięciu piasku, tworzącego groblę dla płynnego asfaltu. Wykonawca izolacji betonu zmusił jednak do utworzenia z betonu skarpy pod 45°, ułatwiającej kładzenie izolacji.

Cięcie szyn, obcinanie zadługich sworzni zakotwień po zmontowaniu i t. p. roboty wykonano palnikiem acetylenowym.

Kosztorys, który był opracowany na wiosnę 1931 roku, kiedy zaledwie wiadome były ceny szyn żłobkowych, a sposób ułożenia szyn na moście znany był jedynie w zarysie, opiewał na następujące sumy ogólne:

A) Dojazdy do mostu na prawym i lewym brzegu Wisły:

Materiały	210 000 zł
Transporty	10 000 „
Robocizna	22 000 „
	<u>242 000 zł</u>

B) Tory na moście drogowym:

Materiały	250 000 zł
Transporty	15 000 „
Robocizna	29 000 „
	<u>294 000 zł</u>

Suma A) + B) = 242 000 zł + 294 000 zł = 536 000 zł. Obecnie, gdy to piszę, konto budowy torów jest obciążone okragło sumą 414 000 zł i sędzę, że ostateczne wykończenie torów na moście i dojazdach da się wykonać bez przekroczenia sumy 450 000 zł. Tańsze wykonanie zawdzięczyć należy następującym okolicznościom:

1. Zmniejszeniu długości dwutorowej linii.
2. Niemożności wykonania narazie pętli przy Dworcu Przedmieście.
3. Uproszczeniu sposobowi połączenia nowych torów ze starymi.
4. Urządzeniu własnego torowiska na przestrzeni 110 m dwutorowej linii.
5. Potanieniu niektórych materiałów, jak naprzykład miedzi.
6. Potanieniu robocizny.
7. Wyzyskaniu przez Zarząd Tramwajów Miejskich wszelkich możliwości zdobycia materiałów po tańszych cenach i energicznemu prowadzeniu robót.

Dla interesujących się sprawą budowy torów ciekawę będzie zestawienie główniejszych wydatków, tworzących sumę 414 000 zł.

1. Szyny, zwrotnice, złącza wydłużalne, zakotwienia i ich wbetonowanie 300 455 zł
2. Spawanie szyn (bez robocizny) 17 229 „
3. Podlewa asfaltowa (bez robocizny) 11 815 „

4. Kamień (podkładowy, tłuczeń i żwir)	4 534 zł
5. Roboty brukarskie	3 400 „
6. Różne materiały	11 063 „
7. Drut jezdny i zawieszania	11 544 „
8. Skrzyżowanie z przewodami pocztowymi	950 „
9. Transporty (kolej, samochody ciężarowe)	12 975 „
10. Opracowanie projektu, starania o pozwolenia oraz przyjęcie materiałów	4 897 „
11. Robocizna	35 138 „
	<u>razem: 414 000 zł</u>

Jeżeli wykończenie zupełne linii nie przekroczy sumy 450 000 zł, a nie sędzę, by przekroczyło, to koszt jednego km linii wyniesie 218 000 zł, a jeden km toru pojedynczego 140 000 zł.

Z kosztów rzeczywistych obliczyłem, że cena jednej tony szyn żłobkowych na miejscu w Toruniu wynosi 580 zł, zwrotnica wraz z transportem — 5 600 zł, jedno złącze wydłużalne duże, międzyprzęsłowe — 665 zł, jedno złącze wydłużalne, małe — 302 zł, poprzeczki torowe, wykonane we własnych warsztatach ze sprowadzonego żelaza płaskiego — 1.95 zł, kompletne zakotwienie normalne na moście — 11,12 zł.

Na zakończenie chciałbym jeszcze wspomnieć o wprowadzeniu nowego rozkładu jazdy tramwajów z chwilą uruchomienia linii do Dworca Przedmieście.

Przedtem ruch odbywał się w ten sposób:

na I linii Dworzec Miejski — ul. Reja kursowało 7 wozów, utrzymujących ruch 6-cio minutowy;

na II linii Ratusz — Dworzec Mokre kursowały 3 wozy, utrzymujące ruch 15 minutowy;

na III linii Ratusz — ul. Wybickiego kursował 1 wóz, utrzymujący ruch 20-to minutowy.

Taboru tramwajowego nie można było powiększyć. Przy uruchomieniu IV linii Plac Bankowy—Dworzec Przedmieście i zachowaniu dawnego sposobu — należałoby mieć w ruchu 7 + 3 + 1 + 2 = 13 wozów. Wprawdzie silnikowych wagonów jest 17, lecz 3 z nich są bardzo starego typu i tylko z konieczności są wypuszczane na linje. W rzeczywistości zdolnych do stałego ruchu jest więc tylko 14 wozów tramwajowych. Gdybyśmy na stałe uruchomili 13 — byłby jeden tylko zapasowy, a w czasie naprawy rocznej, półrocznej, czy też doraźnej nie byłoby żadnego wozu zapasowego. Zmieniono więc ruch w ten sposób, że:

na I linii Dworzec Miejski — ul. Reja kursują 4 wozy przy ruchu 10 min.;

na II linii Dworzec Mokre — ul. Reja kursują 3 wozy przy ruchu 20 min.;

na III linii ul. Wybickiego — ul. Reja kursują 2 wozy przy ruchu 20 min.;

na IV linii Pl. Bankowy — Dworzec Przedm. kursują 2 wozy przy ruchu 10 min.

Razem jest 11 wozów w ruchu, tak jak poprzednio; przesiadanie — tylko na Dworzec Przedmieście. Trochę rzadszy ruch na odcinkach od Ratusza do Dworca Miejskiego i od Ratusza do Dworca Mokre naogół odpowiada rzeczywistym potrzebom.

SEKCJA MIERNICTWA ELEKTRYCZNEGO.

O WYMIARACH WIELKOŚCI FIZYCZNYCH.

Inż. Czesław Rajski.

Streszczenie. Z analizy własności wymiarów wielkości fizycznych jest wyprowadzone pewne ogólne twierdzenie, które w zastosowaniu prowadzi do redukcji ilości jednostek podstawowych. Równoległe z analizą formalną jest przedstawione fizyczne znaczenie otrzymywanych wyników.

W roku ubiegłym ukazała się na tem miejscu *) interesująca praca prof. Fryzego „Jednostki fizykalne i techniczne”, w zakończeniu której autor wzywa do nawiązania dyskusji na poruszony przez siebie temat. Pozwalam sobie skorzystać z tego wezwania i zgłosić niniejsze skromne uwagi tem chętniej, że temat jest jeszcze daleki od wyczerpania, pomimo istnienia w tej dziedzinie stosunkowo obfitej literatury.

Elektrotechnika teoretyczna jest nie tylko oparciem dla wiedzy praktycznej, lecz również działem fizyki, w ramach której żyje i rozwija się niezależnie od swych zastosowań. Dlatego też elektrotechnika teoretyczna jest nie do pomysłenia w oderwaniu od całości fizyki. Ewolucja fizycznych koncepcyj i poglądów musi przenikać elektrotechnikę teoretyczną niezależnie od przyzwyczajenia i potrzeb codziennego życia. Ewolucja ta może nieść za sobą zmiany pojęć, jednostek i teoryj, które w zastosowaniu praktycznym mogą się wydawać obce, sztuczne i niezrozumiałe, mogą się okazać w najwyższym stopniu niewygodne, jednak nie będą przez to mniej celowe i logiczne z punktu widzenia fizycznego. Z drugiej strony potęga życiowa dzisiejszej elektrotechniki, bezwładność myślowa wielu tysięcy elektryków oraz potrzeby prostoty i szybkości myślenia praktycznego dają niewielkie szanse teoretycznie najbardziej słusznym, lecz trudno zrozumiałym lub praktycznie zbędnym ideom do przesiąknięcia w obieg nie tylko powszedni, ale nawet nieco odświeżony. Dlatego też trzeba jasno oddzielać sprawy praktyczności tych lub innych ujęć elektrotechniki teoretycznej od ich poprawności. Trudno byłoby przypuszczać, że ewolucja teoretyczna nauk przyrodniczych idzie w kierunku ułatwienia manipulacji pojęciami i wielkościami, interesującymi w praktyce; rozwój fizyki świadczy nieledwie we wszystkich dziedzinach o czemś wręcz odwrotnym.

Wysuwa się zarzut przeciwko wymiarom C. G. S. wielkości elektrycznych, że wykładniki w symbolach wymiarów są ułamkowe, przez co wymiary są niewygodne w użyciu. Jest to zarzut zupełnie racjonalny z punktu widzenia praktycznego, gdybyśmy jednak my, elektrycy, poszli do fizyków z pretensją o to, moglibyśmy otrzymać słuszną odpowiedź: „Cieszcie się, że te wykładniki nie są niewymierne”. Gdy jednak dwoistość wymiarów wielkości elektrycznych w układach elektrostatycznym i elektromagnetycznym, nie tylko jest dla nas kłopotliwa, ale niepokojąca i niezrozumiała, wówczas mamy prawo żądać od fizyków wyjaśnienia. Fizycy mogą nam swój punkt widzenia wyłożyć

lub przyznać się do niewiedzy, ale nie mogą nas wyprosić za drzwi, tak jak w pierwszym wypadku.

Rozróżnienie powyższe jest, zdawałoby się, tak oczywiste, że prawie nie warto zaznaczyć. W rzeczywistości dzieje się inaczej — systemy jednostek C. G. S. elektrostatyczny i elektromagnetyczny posłużyły za podstawę (głównie ten drugi) dla układu jednostek praktycznych. W końcu ubiegłego stulecia określono i nazwano osiem jednostek: amper, kulomb, om, wolt, farad, henr, joule, wat. Zostały one określone, jako pewne wielokrotności jednostek C.G.S. Maxwell zauważył, że te osiem jednostek można otrzymać wprost z jednostek długości, masy i czasu, wychodząc z jednostki długości, wynoszącej 10^9 cm, jednostki masy 10^{-11} gr. i jednostki czasu 1 sek. Gdyby chcieli zrobić z tego konsekwentny użytek i traktować zespół tych ośmiu jednostek, jak układ, oparty na zmienionych jednostkach podstawowych, to wówczas dalsze jednostki pochodne wypadłyby praktycznie nie do przyjęcia, np. jednostką gęstości prądu byłby amper na 10^{18} cm² i t. p.

W miarę rozwoju elektrotechniki i powiększania ilości pojęć i ich jednostek możliwości powstawania podobnie niemiłych konsekwencji są coraz większe. Pomimo tego uczyniono i czyni się nadal szereg prób oparcia jednostek praktycznych na kilku odpowiednio dobranych jednostkach podstawowych, np. proponowano, jako jednostki podstawowe metr, kilogram, sekundę, om (Giorgi), centymetr, 10^7 gramów, sekundę (Dellinger i Bennett), om, amper, sekundę, centymetr (Blondel), centymetr, 10^9 gramów, 0,1 kulomba, sekundę (Germani). Każdy z tych układów posiada jakieś wady, wykluczające możliwość jego zastosowania, zaś wszystkie charakteryzuje jeden wspólny szczegół — nieodróżnianie dwóch zasadniczo różnych momentów: doboru wielkości podstawowych i doboru jednostek tych wielkości. Dobranie jednostek podstawowych jest zagadnieniem, co do którego wagi teoretycznej mogą istnieć różne zdania, ale w każdym razie sprawa dobrania jednostek dla tych wielkości jest najzupełniej odrębna od poprzedniej. Wszystkie proponowane systemy mają ambicję podniesienia grupy używanych w praktyce jednostek elektrycznych z rangi zespołu do rangi układu, nie określają jednakże, czemby się wyrażał zysk udania się podobnego przedsięwzięcia. Otóż, zdaniem naszym, o wiele lepiej jest zostawić sytuację w takim stanie, w jakim znajduje się ona obecnie. Jednostki praktyczne stoją w określonym stosunku do jednostek układu C. G. S., ale pozatem same w sobie stanowią szarmonizowany wewnętrznie układ, oparty mocno na własnych wzorcach, żywy, zdolny do dalszego rozwoju i czynienia zadość potrzebom praktycznych pojęć i pomiarów. Teoria jednostek i ich wymiarów musi się zasadniczo rozwijać swoją drogą, a praktyka — swoją. Niewątpliwie nonsensem byłoby wyciągnięcie konsekwencji ze wspomnianego poprzednio faktu, że układ praktyczny można uważać jako układ bezwzględny o jednostce długości równej jednej czwartej ziemskiego południka (10^9 cm) i liczenie średnicy

*) „Przeгляд Elektrotechniczny”, 1933, zeszyty 11, 13, 14, 15 i 16.

drutów nawojowych w stosunku do obwodu ziemi, ale równie wielkim nonsensem teoretycznym jest obieranie *oma*, jako jednostki podstawowej. Bowiem z punktu widzenia fizycznego oporność jest pewnym wyrażeniem kombinowanym, w skład którego wchodzi współczynnik, charakteryzujący pewne własności ciała (oporność właściwa) oraz wymiary geometryczne tego ciała. Takie wyrażenie nie występuje poza równaniem definicyjnym oporności (prawo Ohma) w żadnych innych równaniach fizycznych.

Jeśli chodziłoby o zamianę podstawowych jednostek długości, masy i czasu częściowo lub całkowicie przez jednostki innych wielkości, to, być może, wchodziłyby w grę energia, moment magnetyczny, ładunek, potencjał grawitacyjny i inne, ale na takiej liście napewno nie znalazłaby się oporność. Dlatego też *om*, który w praktyce może naprawdę jest najbardziej często używaną jednostką, nie może mieć żadnych pretensyj do wzbudzania dla siebie zainteresowań teoretycznych. Trudno o bardziej jaskrawy przykład sprzeczności wymagań teorii i praktyki, bowiem *om*, jako jedna z jednostek, posiadających wzorzec podstawowy dla praktyki pomiarowej, jest siłą rzeczy jednostką podstawową, niezależnie od koncepcyj teoretycznych.

Często można się spotkać w literaturze z zarzutem, skierowanym w stronę teorii wymiarów, że różne wielkości posiadają te same wymiary. Otóż symbol wymiaru pewnej wielkości fizycznej posiada jedno i tylko jedno znaczenie: wskazuje, w jakim stosunku zmieniają się jednostki pewnych wielkości uznanych, jako pochodne, przy zmianie jednostek innych, niezależnych od siebie wielkości, uznanych za podstawowe. Jeśli pewna wielkość fizyczna posiada wymiar

$$A^\alpha B^\beta C^\gamma,$$

gdzie *A*, *B*, *C* są symbolami ogólnymi bliżej nieokreślonych jednostek wielkości, niezależnych od siebie i przyjętych za podstawowe, to oznacza to, że przy zwiększeniu jednostki *A* *m* razy, jednostki *B* *n* razy i jednostki *C* *p* razy, jednostka wielkości pochodnej wzrośnie w stosunku

$$m^\alpha n^\beta p^\gamma,$$

Na tej podstawie jest oparta znana metoda kontroli równań, których wymiary po obu stronach winny być te same.

Żadnego innego znaczenia, poza zawartym w podanym określeniu, symbol wymiaru nie posiada i jakiegokolwiek koncepcje teoretyczne na wymiarach oparte mają znaczenie i wartość li tylko zgadywania.

Z określenia znaczenia wymiaru nie wynika bynajmniej, że dwie lub więcej wielkości nie mogą mieć tego samego wymiaru, bo oznacza to tylko, że ich jednostki są w jednakowy sposób zależne od jednostek podstawowych. Niekiedy wskazuje to na ich jednorodność fizyczną, niekiedy inne czynniki różniczkują je wyraźnie. Np. praca i moment obrotowy mają jednakowe wymiary, ponieważ powstają w jednakowy sposób przez mnożenie wartości siły przez wartość pewnej długości, jednak w jednym przypadku mamy do czynienia z iloczynem skalarowym, w drugim — z wektorowym, co nie znajduje odbicia w wymiarze, który uwzględnia tylko wartości skalarowe.

Nieco trudniej przedstawia się sprawa, gdy ta sama wielkość ma dwa różne wymiary, jak to ma miejsce w stosunku do wszystkich wielkości elektrycznych i magnetycznych. Istotnie, ładunek elektryczny w układzie elektrostatycznym ma wymiar

$$\frac{3}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-1}$$

zaś w elektromagnetycznym

$$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$$

Jeśli za jednostkę długości przyjmiemy najpierw centymetr, a potem metr, to jednostka ładunku w układzie elektrostatycznym wzrośnie przy tej zmianie 1000-krotnie, a w układzie elektromagnetycznym 10-krotnie. Ta sama jednostka nie może jednak zmieniać się jednocześnie w dwóch odmiennych stosunkach, tkwi w tem jakaś sprzeczność.

Tę samą sprzeczność prof. Fryze uwidoczniła przez przyrównanie do siebie pewnego ładunku elektrycznego, wyrażonego w jednostkach *ES* i *EM*. Na str. 420 wspomnianego artykułu czytamy: „Jednakże po uproszczeniu wypada z tej drugiej równości

$$1 = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sek.}$$

czyli prędkość światła równa jedności, czego po pierwsze nie zakładaliśmy ani w układzie *ES*, ani w układzie *EM*, a po drugie nie rozumiemy”. Jest to niezmiernie trafne ujęcie trudności sytuacji. Właśnie naszym zdaniem jedyną rzeczą do zrozumienia jest to, że szybkość światła musimy przyjąć, jako równą jedności. Dowodzić tego nie trzeba, wystarczy przypomnieć podstawowe rysy szczególnej teorii względności.

Czas i przestrzeń istniały w fizyce klasycznej, jako dwie formy poznania apriorycznego, niezależne od siebie. Teoria względności pokazała, że ta niezależność nie da się utrzymać. Koniecznym się stało uznanie, że świat, w którym żyjemy, stanowi czterowymiarowe continuum przestrzenno-czasowe, w którym czas i przestrzeń przenikają się nawzajem w taki sposób, że pewne zjawisko, obserwowane z jednego układu, ma tylko składowe przestrzenne, obserwowane z drugiego układu, ma również składowe czasowe, zaś wartość bezwzględna mają tylko orzeczenia, dotyczące określonej kombinacji stosunków przestrzennych i czasowych. Rozbicie tej kombinacji na składowe przestrzenne i czasowe zależy od stanu ruchu, obserwatora w stosunku do układu obserwowanego. Różni obserwatorzy, osądzając z różnych układów, otrzymają różne wyniki, jeśli będą je rozbijali na składowe przestrzenne i czasowe, osądzane ze swoich układów; dopiero pewna kombinacja wyników obserwacji każdego z nich posiada wartość bezwzględną, jest niezmiennikiem, to jest tem, co zostanie jednakowo zmierzone we wszystkich układach. Trójwymiarowa kinematyka przechodzi w czterowymiarową geometrię, ciało nieruchome kreśli linię prostą, równoległą do osi czasu, ciało w ruchu jednostajnym kreśli jakąś prostą, pochyloną względem osi czasu, ciało w ruchu przyspieszonym kreśli jakąś krzywą i t. p. Skoro jednak czas i przestrzeń nie są niezależne od siebie, jednostka długości określa jednostkę czasu i naodwrot. Jedną z tych jednostek możemy obrać dowolnie, druga jest tem samym ściśle określona. Jeśli obierzemy dowolnie jednostkę długości, to jednostką czasu będzie czas, który zużywa światło na przejście tej jednostki długości. Jeśli jednostką długości będzie 1 cm, to jednostką czasu będzie czas, w ciągu którego światło przechodzi drogę 1 cm. Zatem mamy możliwość mierzenia czasu wprost w centymetrach. Zwykle mierzymy czas w sekundach. Sekunda jest jedną miarą czasu, centymetr inną miarą. Pomiędzy temi miarami czasu istnieje jednoznaczna zależność

$$1 \text{ sek.} = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm} \dots \dots (1)$$

Te same jednostki mierzą odległość. Długość odcinka można wyrażać zarówno w centymetrach, jak w sekundach. Jest to konsekwencją równouprawnienia oraz izotropowości czasu i przestrzeni. Izotropowość continuum przestrzennego — czasowego upatrujemy w tem, że dwa układy, znajdujące się względem siebie w ruchu, mają pochylone względem siebie osie czasu. Oś czasu niema ogólnie określonego

położenia, zaś miara czasu musi być zawsze ta sama niezależnie od położenia osi czasu w continuum przestrzenno-czasowym. Jedyńa miara, która czyni zadość temu warunkowi, jest ta sama miara, co w przestrzeni, miara długości. Gdyby szybkość światła była nieskończenie wielką, oś czasu miałyby ten sam kierunek we wszystkich układach odniesienia, niezależnie od stanu ich wzajemnego ruchu, czas i przestrzeń byłyby niezależne od siebie, można byłoby stosować dowolne niezależne od siebie jednostki długości i czasu. Ponieważ szybkość światła, największa, jaką znamy, jest skończona, jednostki długości i czasu muszą być te same. Szybkość jest zatem bez wymiaru, szybkość światła jest równą jedności, każda inna szybkość fizyczna mierzy się ułamkiem właściwym. Ilość ruchu ma wymiar masy, ginie różnica wymiarów i jednostek w układach elektrostatycznym i elektromagnetycznym, do czego wrócimy później, energja otrzymuje wymiar masy i może być mierzona w gramach ($1 \text{ kWh} = 40 \mu\mu \text{ gr}$) i t. p.

W ten sposób dochodzimy do tego samego wyniku, który został otrzymany poprzednio niejako wypadkowo drogą porównywania wielkości elektrycznych, wyrażonych w dwóch różnych układach. Jednak ten wynik, który wydaje się nieledwie nonsensem, gdyż otrzymany ad hoc nie wiąże się ze współczesnymi mu pojęciami, staje się czemś oczywistym, gdy zostanie związany z innymi faktami. Gdyby nie rewizja pojęć przestrzeni i czasu, spowodowana przez negatywny wynik doświadczeń Michelsona, równanie (1) byłoby dla nas równie niezrozumiałe, jak przed trzydziestu laty.

Opierając się na zyskanem w tym przypadku doświadczeniu, pozwalamy sobie sformułować następujące ogólne twierdzenie z dziedziny teorii wymiarów: „Jeśli, wychodząc z pewnych jednostek, przyjętych za podstawowe, dochodzimy do różnych wyrażań na jednostki pochodne, oznacza to, że jednostki podstawowe nie są niezależne od siebie”.

Przez porównanie różnych wymiarów jednostek pochodnych otrzymujemy pewną zależność pomiędzy jednostkami podstawowymi. Zależność może być dla nas całkowicie niezrozumiała z punktu widzenia naszych pojęć fizycznych, ale będzie wówczas wskazywała na to, że jeszcze czegoś nie wiemy.

Raz już byliśmy w takiej sytuacji. Przez porównanie wymiarów w układach ES i EM doszliśmy do równania wymiarowego

$$T = L \dots \dots \dots (2)$$

którego znaczenie fizyczne wyjaśniła nam szczególna teoria względności. Na podstawie tej równości dwa układy wymiarów i jednostek, elektrostatyczny i elektromagnetyczny, redukują się do jednego układu. W załączonej tabeli w trzech rubrykach figurują wymiary wielkości, w innych trzech rubrykach — wartości jednostek tych wielkości, przy jednostkach podstawowych centymetr, gram i sekunda, względnie centymetr i gram.

Jako drugi z kolei przykład zastosowania wymienionego twierdzenia rozpatrzmy wymiar siły. Z prawa bezwładności określamy wartość siły

$$F = a m, \dots \dots \dots (3)$$

co wyrażamy słownie: wartość siły jest równa iloczynowi wartości masy przez wartość przyspieszenia.

Na tej zasadzie jednostką siły nazywamy taką jej wartość, która jednostkowej masie nadaje jednostkowe przyspieszenie. Następnie siłę przyciągania wzajemnego dwóch ciał prawo grawitacji określa w postaci

$$F = C_1 \frac{m_1 m_2}{r^2}, \dots \dots \dots (4)$$

gdzie C_1 oznacza współczynnik proporcjonalności. Słownie

ostatnie równanie wyrażamy w ten sposób: siła, z jaką przyciągają się dwa ciała, jest proporcjonalna do iloczynu wartości ich mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ich odległości. Siła jest niezmiennem pojęciem fizycznym niezależnie od tego, czy jej źródłem są działania grawitacyjne, czy jakiegokolwiek inne, wobec czego równanie (4) możemy napisać bez współczynnika proporcjonalności

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2}, \dots \dots \dots (5)$$

słowami: siła przyciągania się dwóch ciał jest równa iloczynowi z wartości ich mas podzielonemu przez kwadrat odległości. Stąd określamy jednostkę siły, jako równą sile przyciągania się dwóch jednostkowych mas, umieszczonych od siebie na jednostce odległości. Wówczas równanie bezwładności napisalibyśmy przez analogię w postaci

$$F = C_2 a m, \dots \dots \dots (6)$$

i, wyrażając je słownie: siła, jaką należy użyć, aby zmienić szybkość ciała, jest proporcjonalną do iloczynu z wartości masy przez wartość przyspieszenia. Mamy zatem dwie alternatywy: albo z równania bezwładności (3) określić jednostkę siły i wprowadzić ją przy pomocy odpowiedniego współczynnika proporcjonalności do równania grawitacji (4) (jak to robimy zwykle), albo z równania grawitacji (5) określić jednostkę siły (układ astronomiczny) i wprowadzić ją przy pomocy innego współczynnika proporcjonalnie do równania bezwładności (6).

Jest oczywiste, że obie metody postępowania są równie dobre, a właściwie równie złe, skoro nie mamy kryteriów do uznania jednej z nich za słuszniejszą od drugiej. Jeśli nie mamy jednak żadnych motywów, któreby skłaniały nas do uznania prawa bezwładności za bardziej nadające się do oparcia na niem jednostki siły od równania grawitacji lub naodwrot, musimy obie alternatywy odrzucić. Jakie są inne możliwości? Prawo bezwładności możemy wyrazić równaniem (3) lub (6), prawo grawitacji — równaniem (4) lub (5); do jednoczesnego wyrażenia obu praw mamy do wyboru cztery kombinacje; z spośród nich dwie, t. zn. (3), (4) i (5), (6), odrzuciliśmy, jako niezadowolające; pozostają nam alternatywy (3), (5) i (4), (6).

Ostatnia wprowadza współczynniki proporcjonalności do obu praw: bezwładności i grawitacji. Logiczniejsza od poprzednich nowa koncepcja również się nie da utrzymać, ponieważ współczynniki proporcjonalności, aczkolwiek związane ze sobą zależnością

$$\frac{C_1}{C_2} = K \quad (K - \text{stała grawitacji}),$$

pozostają nieoznaczone, tak że jednostki siły wogóle nie możemy zdefiniować bez dodatkowych założeń, wprowadzających moment dowolności. W szczególności założenia

$$C_1 = 1 \text{ lub } C_2 = 1$$

prowadzą do poprzednio odrzuconych kombinacji (5), (6) i (3), (4), tak że trzecia alternatywa zawiera dwie pierwsze, jako wypadki szczególne*). Pozostaje do rozpatrzenia jedynie czwarta kombinacja (3), (5). Jej przyjęcie oznacza fizycznie, że ta sama jednostka siły może być równie dobrze

*) Jest to identycznie to samo, co w elektrotechnice. Stała dielektryczna próżni i przenikalność magnetyczna próżni są związane ze sobą zależnością

$$\epsilon \mu = c^2$$

Jeśli założyć $\epsilon = 1$, to się otrzymuje układ elektrostatyczny, jeśli założyć $\mu = 1$, to się otrzymuje układ elektromagnetyczny. Dowolność obu założeń wprowadza do współistnienia dwóch różnych układów wymiarów i jednostek. Dopiero równanie (2) usuwa chaos, doprowadzając do równości $\epsilon = \mu = c = 1!$

określona z prawa grawitacji, jak i z prawa bezwładności. Jest to niewątpliwie najbardziej logiczne postawienie sprawy, należy jednak zbadać, do jakich konsekwencji ono nas prowadzi.

Wymiary siły, określone z równania (3).

$$F = L M T^{-2}$$

i z równania (5)

$$F = L^{-2} M^2,$$

muszą być sobie równe, skąd wyprowadzimy

$$M = L^3 T^{-2},$$

czyli jednostki masy, długości i czasu przestają być niezależne od siebie.

Jeśli przyjmiemy jednostkę masy za pochodną, to łatwo obliczymy, że pomiędzy nową jednostką masy a masą jednego grama zachodzi zależność

$$1 \text{ gr} = 6,585 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ sek.}^{-2}$$

Eliminując czas, przy pomocy równań (1) i (2) otrzymamy równanie wymiarowe

$$M = L \dots \dots \dots (7)$$

oraz zależność liczbowa

$$1 \text{ gr} = 7,3 \cdot 10^{-28} \text{ cm.}$$

Fizyczne znaczenie tych równań jest niezrozumiałe, aż do interpretacji zjawisk ciężenia przez ogólną teorię względności. Podstawowe równanie tej teorii mówi nam, że pewna miara krzywizny (wymiar L^{-2}) czterowymiarowej rozciągłości przestrzenno-czasowej jest równa gęstości masy (i energii).

Wymiarowo równanie to

$$M L^{-3} = L^{-2}$$

daje nam wprost wynik (7).

Tablica wymiarów i jednostek.

Jednostki podstawowe	L, M, T				L, M	
	Elektrostatyczny		Elektromagnetyczny		Zredukowany	
	Wymiar	Jednostka	Wymiar	Jednostka	Wymiar	Jednostka
Układ	Elektrostatyczny		Elektromagnetyczny		Zredukowany	
Wielkość	Wymiar	Jednostka	Wymiar	Jednostka	Wymiar	Jednostka
Czas	T	sek	T	sek	L	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-10}$ sek
Szybkość	$L T^{-1}$	cm/sek	$L T^{-1}$	cm/sek	—	$3 \cdot 10^{10}$ cm sek
Siła	$L M T^{-2}$	dyna	$L M T^{-2}$	dyna	$L^{-1} M$	$9 \cdot 10^{21}$ dyn
Energja	$L^2 M T^{-2}$	erg	$L^2 M T^{-2}$	erg	M	$9 \cdot 10^{20}$ erg
Moc	$L^2 M T^{-3}$	10^{-7} w	$L^2 M T^{-3}$	10^{-7} w	$L^{-1} M$	$27 \cdot 10^{23}$ w
Ładunek	$\frac{3}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ Cb	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	10 Cb	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	10 Cb
Potencjał elektrostatyczny	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	300 V	$\frac{3}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-2}$	10^{-8} V	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	$9 \cdot 10^{12}$ V
Pojemność	L	$\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ F	$L^{-1} T^2$	10^{-9} F	L	$\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ F
Indukcja pola elektrycznego	$L^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ Cb/cm ²	$L^{-\frac{3}{2}} \frac{1}{M^2}$	10 Cb/cm ²	$L^{-\frac{3}{2}} \frac{1}{M^2}$	10 Cb/cm ²
Natężenie pola elektrycznego	$L^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	300 V/cm	$L^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{M^2} T^{-2}$	10^{-8} V/cm	$L^{-\frac{3}{2}} \frac{1}{M^2}$	$9 \cdot 10^{12}$ V/cm
Stała dielektryczna	—	$\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ F/cm	$L^{-2} T^2$	10^{-9} F/cm	—	$\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ F/cm
Natężenie prądu	$\frac{3}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-2}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ A	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	10 A	$L^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{11}$ A
Oporność	$L^{-1} T$	$9 \cdot 10^{11}$ Ω	$L T^{-1}$	10^{-9} Ω	—	30 Ω
Indukcyjność	$L^{-1} T^2$	$9 \cdot 10^{11}$ H	L	10^{-9} H	L	30 H
Strumień magnetyczny	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ M	$\frac{3}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	I M	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ M
Indukcja pola magnetycznego	$L^{-\frac{3}{2}} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ G	$L^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	I G	$L^{-\frac{3}{2}} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ G
Natężenie pola magnetycznego	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-2}$	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-10}$ Ö	$L^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	I Ö	$L^{-\frac{3}{2}} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ Ö
Przenikalność	$L^{-2} T^2$	$9 \cdot 10^{20}$ G/Ö	—	I GÖ	—	I G/Ö
Masa magnetyczna fikcyjna	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ M	$\frac{3}{L^2} \frac{1}{M^2} T^{-1}$	I M	$\frac{1}{L^2} \frac{1}{M^2}$	$3 \cdot 10^{10}$ M

Jako trzeci przykład rozpatrzmy wymiar potencjału elektrostatycznego.

Już dawno został wypowiedziany pogląd, że jednostki elektryczne winny być oparte nie tylko na podstawowych jednostkach wielkości mechanicznych długości, masy i czasu, ale również winna pomiędzy nimi figurować jakaś podstawowa wielkość elektryczna, np. ładunek, tak samo, jak w termodynamice figuruje ilość ciepła. Rzeczywiście ładunek elektryczny jest jak gdyby predestynowany do figurowania jako wielkość podstawowa, ze względu na to, że wielkość ładunku jest wprost miarą ilości elektronów i na odwrót, a elektron stanowi elementarną i bodaj najlepiej znaną cegiełkę, z której jest zbudowany nasz świat. Dlatego też układ jednostek i wymiarów, oparty na czterech jednostkach podstawowych L, M, Q i T , jest szczególnie interesujący.

Nawet w tym wypadku jednak wymiary wielkości elektrycznych nie są jednoznacznie określone. Potencjał elektrostatyczny określa się w sposób dwojaki. Po pierwsze, jako stosunek pracy do ładunku, zatem wymiarowo, po uwzględnieniu równania (2)

$$V = MQ^{-1},$$

po drugie, jako stosunek ładunku do długości, wymiarowo

$$V = QL^{-1}$$

Przyrównując do siebie prawe strony tych obu równości, otrzymamy zależność pomiędzy jednostkami długości, masy i ładunku

$$MQ^{-1} = QL^{-1}$$

Rugując stąd jednostkę masy przy pomocy równania (7), otrzymamy

$$Q = L^* \dots \dots \dots (8)$$

Po raz trzeci nie rozumiemy, co to znaczy. Tym razem jednakże fizyka nam nic prawie nie wyjaśni. Prawie, t. zn. oficjalnie nic, a półoficjalnie moglibyśmy się dowiedzieć, że istnieją teorie (Weyl, Eddington, Einstein i Meys-

*) To samo można otrzymać wprost z tablicy.

er), usiłujące sprowadzić zjawiska elektryczne do własności przestrzeni, ale te teorie są w chwili obecnej czysto spekulacyjne, bez oparcia o materiał doświadczalny. To też nie mają one w fizyce prawa obywatelstwa chociażby dlatego, że różnią się w swych założeniach, a brak jest podstaw do rozstrzygnięcia pomiędzy nimi. W każdym razie równanie (8) stanowi pewnego rodzaju przewidywanie związku pomiędzy wielkościami elektrycznymi a geometrycznymi, tem samym jest usprawiedliwieniem powstawania wspomnianych teorii. Gdyby te teorie nie istniały, to równanie (8) byłoby wyrazem żądania geometryzacji elektrotechniki, żądaniem geometrycznej interpretacji pól elektrycznego i magnetycznego.

Na zakończenie niech nam wolno będzie dla uniknięcia nieporozumień zaznaczyć z całym naciskiem, że równania (2), (7) i (8) w najmniejszej mierze nie stosują się do samych wielkości, ale wyłączone do ich jednostek. Nie można z tych trzech równań wyciągnąć wniosku w tym rodzaju, że „w gruncie rzeczy zatem czas, masa, ładunek i długość, to jedno i to samo”. Byłoby to najfatalniejszą interpretacją tych równań. Sprawa wymiarów jest tylko sprawą arytmetyki obliczeń. Dopóki zostajemy w ograniczonej dziedzinie zjawisk (elektrostatyka, magnetostryka, mechanika, astronomja), dopóty możemy wielkości jednostek podstawowych obierać dowolnie; z chwilą gdy łączymy ze sobą niektóre dziedziny, tworząc działy obszerniejsze (nauka o elektryczności, teoria grawitacji), dowolność ta musi ulec ograniczeniu, w przeciwnym wypadku bowiem dochodzimy do różnych sprzeczności arytmetycznych. Jedyny i wyłączny sens równań (2), (7) i (8) jest ten, że z określonymi wartościami czasu, masy i ładunku są związane określone wartości długości, tak że odstępy czasu, masy ciał i ładunki elektryczne możemy jednoznacznie mierzyć jednostkami długości.

Dział Studiów
Państwowych Zakładów Tele-
i Radjotechnicznych.
Luty—marzec, 1934.

OSCYLOGRAF KATODOWY

Dr. Inż. Samuel Dunikowski.

Streszczenie: W poniższym referacie autor przedstawia w krótkim zarysie podstawy fizyczne i wykonania techniczne nowoczesnych oscylografów katodowych, dostosowanych do potrzeb współczesnej elektrotechniki pomiarowej.

Ze względu na szczupłość miejsca i wielki materiał, który należało podać, referat ten ma charakter raczej opisowy. Autor uważa, że tego rodzaju ujęcie całości zagadnień, dotyczących oscylografów katodowych, aczkolwiek niezupełnie kompletne, powinno być jednak celowe i to szczególnie ze względu na to, że w Polsce zagadnienia powyższe są naogół mało znane.

Omówienie różnych szczegółów oraz danych liczbowych, które mogłyby ewentualnie zainteresować czytelników, autor uważa za najwłaściwsze przenieść do dyskusji na Zjeździe Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

1. Rozwój historyczny oscylografów katodowych.

W roku 1859 Plücker¹⁾ zaobserwował poraz pierwszy promienie katodowe jako niebieskawą fluorescencję na

¹⁾ Plücker J.: Pogg. Ann. d. Phys. Bd. 107 (1859). S. 77, 111.

ściankach rurki Geislerowskiej, sporządzonej ze szkła, zawierającego sole ołowiu. Szereg dalszych badań nad powyższymi promieniami dał możliwość określenia ich natury fizycznej oraz własności odchylenia się ich toru pod wpływem pól elektrycznych i magnetycznych.

Praktyczne zastosowanie promieni katodowych do badań oscylograficznych przeprowadził poraz pierwszy Hess²⁾ w roku 1894. Przepuszczał on promienie katodowe przez okienko Lenard'a do komory próżniowej, w której ulegały one odchyleniu pod wpływem pola magnetycznego, a następnie padały na płytę fotograficzną, przesuwającą się z określoną szybkością.

W roku 1897 Braun³⁾ skonstruował poraz pierwszy t. zw. rurę braunowską, w której promienie katodowe, otrzymywane z zimnej katody, ulegały dwum prostopadłym przesunięciom i padały na ekran świetlący. Jedno z przesunięć związane było z badaniami przebiegami perjodyczne-

²⁾ Hess A.: Sur une application des rayons cathodiques à l'étude des champs magnétiques variables. C. R. Acad. Sci. Vol. 119, p. 57. Paris 1894.

³⁾ Braun F.: Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme. Wied. Ann. Bd. 60 (1897). S. 552.

mi, podczas gdy drugie powodowane było niezależnym od badanego układem o określonej częstotliwości drgań. Na tej zasadzie Braun otrzymywał na ekranie figury Lissajou'a, które po odpowiednim zanalizowaniu pozwalały na określenie przebiegów czasowych badanych wielkości. Był to zatem pierwszy oscylograf katodowy z elektrycznym przesunięciem czasowym.

Dalsze lata przynoszą ustawiczne doskonalenie rury braunowskiej jako oscylografu katodowego. W roku 1905 Wehnelt⁴⁾ zastosowuje katodę żarzoną, zmniejszając szybkość elektronów w promieniu katodowym i zwiększając jego podatność do odchylenia. W roku 1911⁵⁾ Ryan koncentruje promień katodowy przy pomocy równoległe do niego skierowanego pola magnetycznego, W latach 1925—27 Norinder⁶⁾, Rogowski⁷⁾, Berger⁸⁾ i ich współpracownicy opracowują rozmaite systemy wyzwalania i odcinania promienia katodowego, w celu uniknięcia prześwietlania oscylogramów w czasie przed i po rejestracji badanego przebiegu.

Lata ostatnie przynoszą znaczne ulepszenia techniczne w konstrukcji oscylografów. Ostatnie wykonania tych aparatów przez jedną z firm szwajcarskich podług planów Berger'a (rys. 15) stwarzają z oscylografu katodowego aparat pomiarowy już o charakterze technicznym, pewny w działaniu, łatwy do obsługi i transportu. Oscylograf katodowy przestaje być przyrządem czysto laboratoryjnym.

2. Podstawy fizyczne oscylografu katodowego.

Promień katodowy, czyli strumień elektronów poruszających się w określonym kierunku z wielką szybkością, otrzymuje się w technice oscylografów katodowych zasadniczo dwoma sposobami: w oscylografach o zimnej katodzie na zasadzie bombardowania katody jonami i wyzwalaniu z niej swobodnych elektronów, w oscylografach zaś o katodzie żarzonej na zasadzie emitowania elektronów przez rozżarzoną substancję katody.

Elektrony wyzwolone z katody, znajdując się w polu elektrycznym, istniejącym pomiędzy katodą a anodą, nabierają szybkości w kierunku anody i, przelatując przez odpowiednio w niej wyrobione otwory, tworzą właściwy promień katodowy. Warunkiem powstania promienia katodowego, odpowiedniego do celów oscylograficznych, jest istnienie dostatecznej próżni w obszarze, w którym promień przebiega. W przeciwnym razie elektrony uderzałyby o cząsteczki gazu, napotymane na swej drodze, i rozprasałyby się nader szybko. W oscylografach z zimną katodą nie można jednak próżni posunąć zbyt daleko w komorze katodowej, gdyż wówczas zanika zjawisko istniejących tam wyładowań jonowych, warunkujące powstanie dostatecznych ilości jonów, potrzebnych do bombardowania katody. Oczywiście w przypadku katody żarzonej można stosować dowolnie wysoką próżnię w komorze katodowej.

Promień katodowy w obszarze wolnym od pól elektrycznych i magnetycznych ma w znacznym przybliżeniu przebieg prostoliniowy. Elektrony poruszają się w nim na

zasadzie bezwładności z szybkością niewielej stałą, jakiej nabyły, przechodząc przez pole elektryczne katoda-anoda. Oczywiście istnieją w promieniu wzajemne siły odpychania pomiędzy elektronami, jak również zjawiska spowodowane zderzaniem się niektórych elektronów z cząsteczkami gazu, które komplikują przebieg promienia.

Jeśli w kierunku prostopadłym do osi promienia katodowego wytworzyć pole elektryczne lub magnetyczne, to wówczas promień ulegnie odchyleniu. W przypadku pola elektrycznego będzie się on odchylił w stronę jego elektrody dodatniej, w przypadku zaś pola magnetycznego, będzie się skręcał dokoła osi równoległej do linii pola. Własność ta wynika bezpośrednio z oddziaływania pola elektrycznego, względnie magnetycznego, na poruszające się elektrony, obciążone ładunkami ujemnymi. Odchylenie promienia będzie tem silniejsze, im silniejsze jest natężenie pola odchylającego i im mniejsza będzie szybkość elektronów promienia katodowego.

Powyzsza możność oddziaływania na przebieg promienia katodowego ma podstawowe znaczenie dla techniki oscylografów katodowych. Możliwość odchylenia promienia katodowego w kierunkach prostopadłych do jego toru, pozwala na użycie go jako czułego, praktycznie pozbawionego bezwładności, wskaźnika badanych szybkozmiennych przebiegów elektrycznych.

Ze względów praktycznych jest rzeczą nader ważną otrzymanie w niektórych punktach możliwie skoncentrowanego promienia katodowego, czyli wiązki z dużej ilości elektronów, posiadającej przy dużej ich liczbie jaknajmniejszy przekrój poprzeczny.

Koncentrację rozpraszającego się promienia można osiągnąć działaniem pola elektrycznego koncentrycznego, prostopadłego do osi promienia i posiadającego wewnętrzny biegun dodatni. Ten sam rezultat da się osiągnąć przy pomocy pola magnetycznego. W tym ostatnim przypadku rozróżnić wypada dwa możliwe układy: klasyczny, polegający na wytworzeniu pola magnetycznego kołowego w płaszczyźnie prostopadłej do promienia i drugi, obecnie najczęściej stosowany, polegający na zasadzie solenoidu umieszczonego współosiowo z promieniem. Ten ostatni sposób polega na tem, że elektrony, posiadające niewielkie składowe szybkości prostopadłe do zasadniczego kierunku promienia, opisują w jednostajnym polu magnetycznym do niego równoległym spirale cylindryczne i w przypadku, gdy wyszły one ze wspólnego punktu (np. praktycznie katody), to wówczas, po przebiegnięciu pewnego odcinka, schodzą się ponownie razem. W przypadku krótkich solenoidów zjawisko to jest w rzeczywistości dużo bardziej skomplikowane. Badania teoretyczne Busch'a⁹⁾ i doświadczenia kontrolne Ruska i Knoll'a¹⁰⁾ stwierdziły, że działanie krótkiego solenoidu, o osi równoległej do osi promienia, jest analogiczne do działania soczewki w stosunku do promienia świetlnego. Zdolność koncentracyjna takiego solenoidu jest zależna od jego wymiarów i amperozwojów.

Ważnym wreszcie zjawiskiem jest samokoncentracja promienia katodowego, czyli t. zw. zjawisko Bijl'a¹¹⁾. Zjawisko to występuje wówczas, gdy promień katodowy przebiega przez obszar odpowiednio rozrzedzonego gazu. Elektrony promienia, uderzając w napotymane cząsteczki gazu, rozbijają je na jony dodatnie i elektrony. Jony dodatnie,

⁴⁾ Wehnelt A.: Empfindlichkeitssteigerung der Braunschen Röhre durch Benutzung von Kathodenstrahlen geringer Geschwindigkeit. Physik. Z. Bd. 6 (1905), S. 609.

⁵⁾ Ryan: A power diagrams inductor for high-tension circuits. Proc. AIEE, v. 30. 1911, p. 511.

⁶⁾ Norinder: Katodstrålrörets Användning som Högfrekvensoscillograf Särskilt för Undersökning av Vandringsvägar. Teknisk Tidskrift 55, II, 1925, S. 152.

⁷⁾ Rogowski u. Flegler: Ein Kathodenstrahl-Oscillograph für Aufnahmen in Vakuum. A. f. E. Bd. 15. 1925, S. 297.

⁸⁾ Berger: Ueber die Weiterentwicklung des Kathodenstrahl-Oscillographes von Dufour. Bull. SEV. Bd. 19. 1928, S. 292.

⁹⁾ Busch H.: Ueber die Wirkungsweise der Konzentrierungsspule bei der Braunschen Röhre. A. f. E. Bd. 18. (1927). S. 583.

¹⁰⁾ Ruska E. u. Knoll M.: Die magnetische Sammelspule für schnelle Elektronenstrahlen. Z. techn. Phys. Bd. 12. 1931, S. 389, 448.

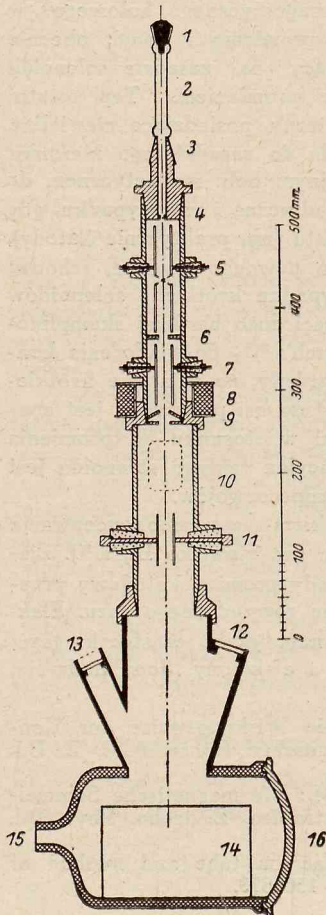
¹¹⁾ van der Bijl J.: Vacuum tube and method of operating the same. Amer. P. 1565873.

jako znacznie cięższe, oddalają się pod wpływem działających na nie pól elektrycznych dużo wolniej od punktu, w którym nastąpiło zderzenie, aniżeli lekkie elektrony. Z tego powodu jony dodatnie grupują się w obszarze wiązki promienia, elektrony zaś powstałe z rozbitcia, są wyrzucane przez odpychanie od elektronów promienia katodowego nazewnątrz. W ten sposób ładunki przestrzenne jonów dodatnich i wtórnych elektronów wytwarzają pole elektryczne koncentryczne, powodujące samokoncentrację promienia. Zjawisko samokoncentracji zachodzi tylko przy odpowiednim rozrzedzeniu gazu. Jeśli gaz jest za mało rozrzedzony, następuje za dużo zderzeń pomiędzy elektrodami promienia a cząsteczkami gazu i promień się rozprasa, tracąc na tych zderzeniach większość swych elektronów. Odwrotnie, gdy próżnia jest za wysoka, to wówczas zderzenia są za rzadkie i tem samym działania samokoncentracyjne są słabe.

Umiejąc wytwarzać, odchyłać i koncentrować promień katodowy, rozwiązać należy jeszcze ważne zagadnienie wykrywania końcowego punktu tego promienia, padającego na jakiś układ odczytowy. Wyzyskuje się tu niektóre własności fizyczne promieni katodowych. Do najważniejszych należy wzniecanie światlenia pewnych substancji, przy podaniu ich działaniu promienia, oraz wrażliwość płyty fotograficznej na elektrony uderzające w jej emulsję światłoczułą. Własność pierwsza stanowi podstawę wszelkich obserwacji wzrokowych przebiegów, rejestrowanych przez oscylografię katodową, własność zaś druga jest podstawą rejestracji fotograficznej oscylogramów.

3. Budowa techniczna oscylografu katodowego.

W działaniu oscylografu katodowego rozróżnić należy następujące podstawowe fazy: wytwarzanie, koncentrowanie, odcinanie i odchylenie promienia katodowego, oraz rejestrowanie położenia punktu zetknięcia się promienia katodowego z układem odczytowym. Odpowiednio do tego



Rys. 1.

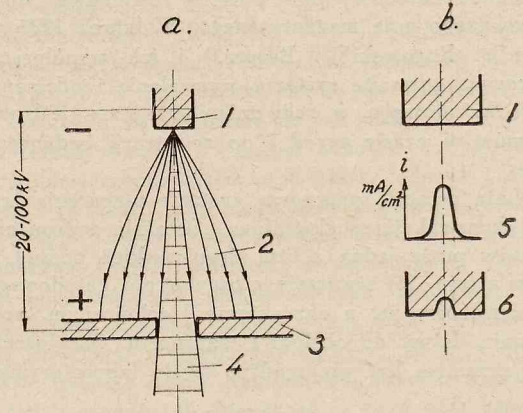
Schemat nowoczesnego oscylografu katodowego (pg Klamperer'a).

- | | |
|--|---------------------|
| 1. Katoda | } komora katodowa |
| 2. Obszar wyładowań | |
| 3, 4. Anoda | } komora odcinająca |
| 5, 7. Elektrody odcinające | |
| 6, 9. Przesłony odcinające | } komora odchyłowa |
| 8. Cewka koncentrująca | |
| 10, 11. Elektrody odchyłowe | } komora dotyłowa |
| 12. Okienko obserwacyjne | |
| 13. Okienko do rejestracji fotogr. zewnętrznej | } komora dotyłowa |
| 14. Układ rejestracji fot wewnętrznej | |
| 15. Połączenie z pompą | } komora dotyłowa |
| 16. Pokrywa zdejmowalna do wymiany filmów | |

oscylograf katodowy dzieli się pod względem konstrukcyjnym na komorę katodową, urządzenie koncentracyjne, komorę odcinającą, komorę odchyłową i komorę odczytową (Rys. 1). Pod względem elektrycznym w skład oscylografu wchodzi jeszcze układ odchyłowy czasowy, który tu zostanie rozpatrzony oddzielnie.

Jak już zaznaczono powyżej, we współczesnych oscylografach katodowych otrzymuje się promień katodowy bądź z katody zimnej, bądź też żarzonej.

Oscylografię o *katodzie zimnej* (np. oscylograf Rogowski lub Berger'a) wymagają wysokich napięć anoda-katoda, wahających się w granicach 20—100 kV. Jako ma-



Rys. 2.

Zimna komora katodowa.

1 — Katoda. 2 — Całkowity strumień elektronów wyzwolonych z katody. 3 — Anoda. 4 — Użyteczny strumień elektronów wyzwolonych z katody, tworzący promień katodowy. 5 — Rozkład prądu, wydzielonego przez katodę w postaci elektronów. 6 — Zużyta katoda z kraterem.

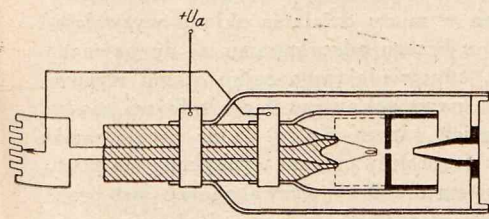
terjału katody używa się najczęściej aluminium. Jony dodatnie uderzające o katodę (rys. 2) tworzą, ze względu na własności fizyczne wyładowania świetlającego, strumień o bardzo małej średnicy i dlatego wyzwolenie elektronów z katody odbywa się na bardzo małej powierzchni o średnicy rzędu dziesiątych części milimetra. Skupione bombardowanie katody ma dużą zaletę w bardzo skoncentrowanej emisji elektronów, co powoduje łatwość dalszej koncentracji promienia (koncentracja promienia katodowego patrz dalej). Z drugiej jednak strony katoda szybko zużywa się w miejscu wyzwolenia elektronów i wytwarza się w niej stopniowo coraz większy krater. Powstanie krateru na katodzie odbija się ujemnie na końcowej koncentracji promienia katodowego w punkcie zetknięcia się jego z układem odczytowym. Oscylogramy przestają być ostre i wymiana katody staje się konieczna. Nowoczesne katody aluminiowe mogą pracować bez zmiany zaledwie parę godzin.

W celu uzyskania wyzwolenia dostatecznej liczby elektronów z katody bombardowanej jonami, należy utrzymać w komorze katodowej ciśnienie mniej więcej rzędu 0,01 mm Hg. W przypadku próżni wyższej, ilość jonów, otrzymywana z wyładowań pomiędzy anodą i katodą, jest niedostateczna, co powoduje zamało intensywne bombardowanie katody.

Wskutek konieczności stosowania wysokich napięć katodowych, elektrony wyzwolane w zimnych komorach katodowych osiągają znaczne szybkości, przez co otrzymany promień katodowy jest twardy, t. j. mało podatny odchylającemu działaniu pól elektrycznych, względnie magnetycznych.

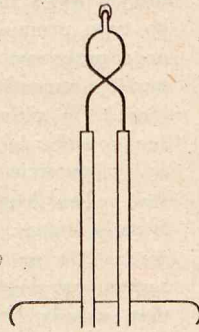
Komory katodowe żarzone (np. oscylografię Wehnelt'a, lub Johnson'a) posiadają z reguły próżnię rzędu wyższego

od komór zimnych (rys. 3). Zjawiska wyładowań jonowych nie grają tu roli. Napięcia katodowe są znacznie niższego rzędu niż poprzednio i wynoszą około kilkuset woltów. Wskutek niskich napięć katodowych, elektrony w polu katoda - anoda nabierają niewielkich szybkości, a więc otrzymywane promienie są miękkie. Ilość elektronów emi-



Rys. 3a.

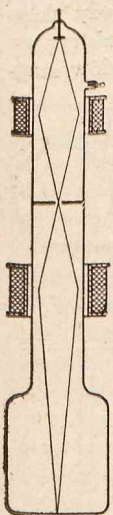
Komora katodowa żarzona.
a — Typowy układ elektrod komory katodowej żarzonej (pg. Sommerfeld'a). b — Nowoczesna katoda żarzona, punktowa.



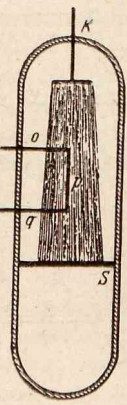
Rys. 3b.

towanych przez katody żarzone jest znacznie większa, niż w przypadku katod zimnych. Własność ta sprawia, że promień katodowy zawiera bardzo dużo elektronów i energia, jaką przenosi oraz wywołuje na układzie odczytowym, jest znaczna pomimo małych szybkości elektronów i może dorównywać energii przenoszonej przez promienie, wydzielane przez katody zimne.

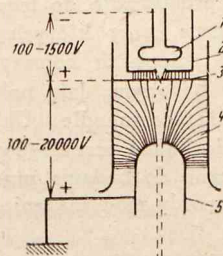
W komorach żarzonych występują trudności z koncentracją promienia katodowego. Wynikają one z jednej strony ze względu na mniejsze szybkości elektronów promienia i na mniej skoncentrowane wytwarzanie go na katodzie, z drugiej zaś ze względu na słabsze, albo pomijalne działanie samokoncentracji, spowodowane wysoką próżnią istniejącą w komorze.



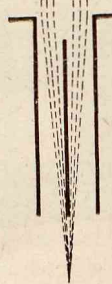
Rys. 4a.



Rys. 4b.



Rys. 4c.



Rys. 4d

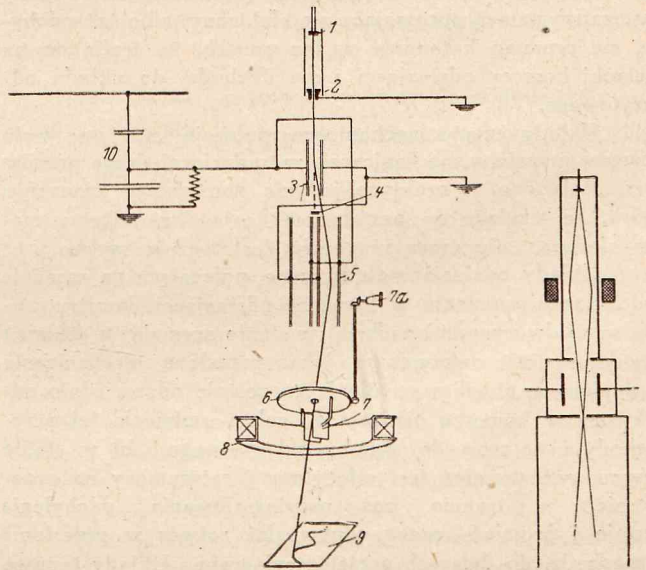
Koncentracja promienia katodowego.

a — Koncentracja magnetyczna przy pomocy pola magnet. o osi równoległej do promienia katodowego. b — Koncentracja magnetyczna przy pomocy kołowego pola magnetycznego. c — Koncentracja elektryczna przy pomocy odpowiednio ukształtowanej przesłony. d — Koncentracja elektryczna przy pomocy elektrod koncentrycznych.

Dla wprowadzenia działania samokoncentracyjnego stosuje się niekiedy komory żarzone gazowe (np. w oscylografach Westphal'a oraz Bijl'a), gdzie rozmyślnie obniża się próżnię. Istnienie gazu w komorze katodowej wpływa jednak ujemnie na trwałość katody żarzonej, która pod wpływem bombardowania jej jonami zużywa się nader szybko. Należy w takich konstrukcjach przewidzieć specjalne osłony żarzeniowego drucika katody, chroniące go przed uderzeniami jonów. W komorach gazowych napięcia katodowe są normalnie rzędu paru tysięcy woltów.

Przy otrzymywaniu w komorze katodowej strumienia elektronów, tylko mała jego część zostaje wyzyskana dla utworzenia promienia katodowego. Znaczna część elektronów zubożnia się, napotykając po drodze jony dodatnie, część wreszcie dobiega do anody.

W celu powiększenia intensywności promienia katodowego, stosuje się sztuczne środki, mające na celu skierowanie jaknajwiększej ilości elektronów w kierunku otworu w anodzie. To oddziaływanie na torę elektronów w komorze katodowej, czyli t. zw. koncentracją wstępną, może się odbywać na drodze elektrostatycznej, przez dobranie odpowiednich kształtów katody, anody, oraz, ewentualnie, elektrod pomocniczych, albo też na drodze magnetycznej,



Rys. 5.
Układy odcinające.

a — Układ mechaniczny (Norinder'a). b — Układ elektryczny (Boekels'a).

przez zastosowanie odpowiednich koncentrujących pól magnetycznych (rys. 4). Przy koncentracji wstępnej odgrywa w przypadku zimnych katod i żarzonych katod gazowanych pierwszorzędą rolę zjawisko samokoncentracji, opisane poprzednio.

Po przejściu anody, promień katodowy dostaje się do innych części oscylografu, w których próżnia jest z reguły wysoka (rzędu 10^{-5} mm Hg). Elektrony promienia poruszają się tam swobodnie, napotykając bardzo mało cząstek gazu. Mają one, ze względu na istniejące pomiędzy nimi siły odpychające, ciągłą tendencję do rozprzaskania się.

Ponieważ przy przejściu niektórych organów odcinających oscylografu, jak również w punkcie zetknięcia się promienia z układem odczytowym, należy uzyskać promień silnie skoncentrowany, przeto wzdłuż osi promienia umieszcza się układy, koncentrujące go sztucznie. W znacznej większości przypadków stosuje się tu w praktyce podłużne

pola magnetyczne, wytwarzane przez solenoidy o osiach równoległych do osi promienia katodowego.

Nader ważną jest koncentracja końcowa promienia, czyli t. zw. *koncentracja główna*, od której zależy bezpośrednio ostrość otrzymywanych oscylogramów.

W większości przypadków czas trwania rejestrowanych przez oscylograf przebiegów jest bardzo krótki, rzędu mikro- względnie mili-sekund. Jeśli w celu dokonania zdjęcia oscylograficznego tak krótkotrwałych przebiegów, przygotowuje się do pomiaru oscylograf i rzuci promień katodowy na układ obserwacyjny, to przez okres czasu poprzedzający i następujący po samym zdjęciu, promień katodowy będzie naświetlał film fotograficzny stosunkowo bardzo długo, zaczerniając go niemal zupełnie. Aby temu zapobiec, stosuje się specjalne urządzenie, wyzwalające promień katodowy dopiero w ostatniej chwili przed rozpoczęciem rejestracji badanego przebiegu i odcinające go zaraz po jej ukończeniu. Ponieważ operuje się tu normalnie odstępami czasu wyrażalnymi w mikrosekundach, przeto urządzenia te winny działać niemal bez żadnej bezwładności.

Układy odcinające promień katodowy od komory odczytowej (rys. 5), opierają się na jednej z dwu zasad: albo umieszcza się na drodze promienia przeszkodę mechaniczną, zatrzymującą poruszające się elektrony, albo też odchyła się promień katodowy w ten sposób, że trafia on na ścianki komory odcinającej i nie dochodzi do układu odczytowego.

Układy czysto mechaniczne polegają na wsuwaniu pewnej przesłony mechanicznej, zagradzającej drogę promienia. Mają one w praktyce jedynie pomocnicze znaczenie, gdyż, ze względu na bezwładność całego urządzenia mechanicznego, nie mogą reagować dostatecznie szybko.

Układy odcinające elektryczne, polegające na zasadzie odchylenia promienia w komorze odcinającej, konstruowane są w dwóch odmianach: a) w stanie normalnym promień katodowy jest zatrzymany jakąś przesłoną mechaniczną i dopiero w chwili wyzwolenia go zostaje odpowiednio odchyłony w komorze odcinającej, celem ominięcia tej przesłony i dotarcia do układu odczytowego; b) w stanie normalnym promień jest odchyłony i zatrzymany na przesłonie, w trakcie zaś oscylografowania odchylenie ustaje i promień przez odpowiedni otwór w przesłonie przechodzi do dalszych części oscylografu. Układy typowe

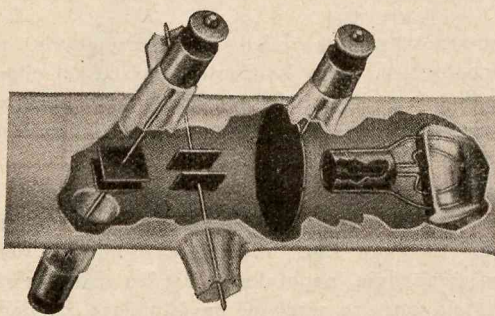
pierwszego typu zostały zaprojektowane przez Norinder'a¹²⁾, zaś do układów typu drugiego zaliczyć wypada najczęściej spotykane systemy Rogowskiego¹³⁾, Boekels'a¹⁴⁾ i Berger'a¹⁵⁾.

Dla układu odcinającego ważną cechą charakterystyczną jest sposób, w jaki pojawia się na układzie odczytowym wyzwolony promień katodowy. W układach starszego typu promień ten w miarę działania układu wyzwalającego przesuwiał się z brzegu odsylogramu aż do pewnego punktu normalnego, odpowiadającego całkowitemu wyzwoleniu. W układach nowszych wyzwolenie odbywa się w ten sposób, że promień odrazu zjawia się na oscylogramie w tym punkcie, w którym przy pełnym wychyleniu ma pozostać. Ten drugi system urządzeń wyzwalających jest praktycznie lepszy, gdyż przez czynność wyzwalania nie wprowadza się na oscylogramie żadnej dodatkowej linii i tem samym oscylogram staje się przejrzystszy. Pod tym względem układy Norinder'a i Berger'a wykazują przewagę nad układami Rogowskiego i Boekels'a.

Wychodząc z komory odcinającej (o ile taka komora w danym oscylografie istnieje), promień katodowy przechodzi do komory odchyłowej, gdzie tor jego pod wpływem pól elektrycznych, względnie magnetycznych, doznaje odpowiednich odchyżeń.

Normalnie *układ odchyłowy* oscylografu (rys. 6) dzieli się na dwie części: na układ związany z badanymi przebiegami, t. zw. *układ pomiarowy*, i na układ związany z pewnymi drganiem, których przebiegi elektryczne są dokładnie znane w czasie, czyli t. zw. *układ czasowy*. Układy te w najczęstszych wykonaniach technicznych oscylografów katodowych dają wychylenia promienia w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych.

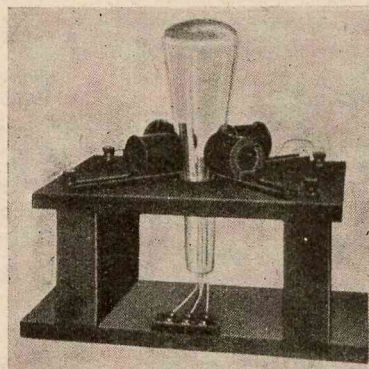
W praktyce stosuje się niemal wyłącznie albo układy odchyłowe elektryczne w postaci elektrod, umieszczonych w próżni w komorze odchyłowej, wytwarzających pod wpływem przyłożonego do nich z zewnątrz napięcia pole elektryczne, prostopadłe do toru promienia, albo też układy magnetyczne, przy których cewki umieszczone są na zewnętrznych ściankach komory odchyłowej i które, zasilane prądem badanym, dają pole magnetyczne również do tego promienia prostopadłe. Układy elektryczne nadają się szczególnie do badań przebiegów napięć, podczas gdy układy magnetyczne do badania prądów. Układy elektryczne pobierają z zasady moc znacznie mniejszą od układów mag-



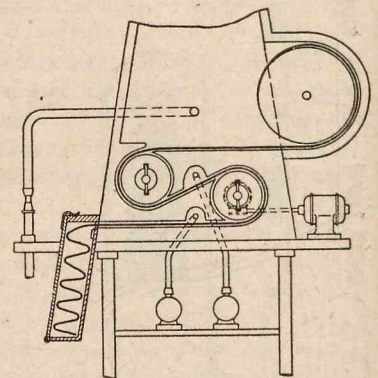
Rys. 6a.

Układy odchyłowe.

a — Układ odchyłowy elektryczny. b — Układ odchyłowy magnetyczny.



Rys. 6b.



Rys. 7.

Komora odchyłowa dla rejestracji fotograficznej wewnętrznej (pg. Matthias'a).

¹²⁾ Patrz odnośnik 6 str. 279.¹³⁾ Patrz odnośnik 7 str. 279.¹⁴⁾ Boekels H.: Strahlsperrungen beim Kathodenoszillographen. A. f. E. Bd. 25, 1931, S. 497.¹⁵⁾ Patrz odnośnik 8 str. 279.

netycznych. W praktyce układy te są znacznie częściej stosowane od układów magnetycznych.

Jeśli oscylograf ma być przeznaczony do badania napięć wysokich, to wówczas przewiduje się zazwyczaj pro-

mień katodowy twardy i napięcia między elektrodami odchyłowymi układu pomiarowego są znaczne (rzędu kilowoltów). Aby przy tych napięciach uniknąć przeskoków pomiędzy elektrodami, należy stosować (na co zresztą wpływają ze swej strony i względy na koncentrację oraz rozpraszanie się promienia) próżnię dość znaczną. W praktyce próżnia w komorze odchyłowej jest zazwyczaj rzędu 10^{-5} mm Hg.

Komorę odchyłową wpływa w znacznej mierze na czułość oscylografu katodowego, t. j. na stosunek przesunięcia pomiarowego, wykreślonego przez promień na układzie odczytowym, do przyrostu badanego napięcia czy też prądu, zasilającego układ odchyłowy. Czułość zależy od twardości promienia, konstrukcji układu odchyłowego (wymiary, położenie i odstęp elektrod w układach elektrycznych, względnie wymiary, położenie i amperozwoje cewek w układach magnetycznych) i wreszcie długości komory odchyłowej. Im pola odchyłowe, przy zasilaniu pewnym określonym napięciem lub prądem układu odchyłowego, są silniejsze i im większa jest długość komory, tem czułość oscylografu jest większa.

Promień katodowy, przechodząc do komory odczytowej, wykonywa w trakcie oscylografowania drgnięcia, odpowiadające przebiegom oscylografowanym. Zadaniem *układu odczytowego* jest zarejestrowanie tych drgnięć w sposób umożliwiający ich obserwację wzrokową, względnie zdjęcie fotograficzne.

W celu *obserwacji wzrokowej* wyzyskuje się działanie promienia katodowego na substancje świetlące. Ponieważ przy oscylografowaniu (szczególnie przebiegów nieperiodycznych, udarowych) przesunięcie się promienia po układzie odczytowym jest nadwyraz szybkie, przeto oko ludzkie jest w stanie uchwycić obraz tylko wówczas, gdy substancja świetląca ekranu posiada własność świetlenia szczytkowego przez parę sekund po przeslizgnięciu się po niej strumienia elektronów. W przypadku tym obraz przebiegu jest łatwy do zaobserwowania w postaci pewnej świetlonej linii ciągłej, nakreślonej przez promień katodowy na ekranie.

Jako substancji świetlącej używa się obecnie najczęściej siarczku cynku z dodatkiem różnych soli. Daje on pod wpływem promieni katodowych silne światło zielonawe, utrzymujące się po odcieciu promienia przez parę sekund. Natężenie świetlenia ekranu zależy od energii, wydzielanej na nim przez promień katodowy na jednostkę długości nakreślonej linii oscylogramu. Efekt optyczny będzie tym silniejszy, im twardszy i bogatszy w elektrony będzie promień i im wolniej będzie kreślił oscylogram. W wykonaniu konstrukcyjnym komory odczytowej przewiduje się zazwyczaj odpowiednie okienko do obserwacji świetlenia ekranu. Próżnia w komorze odczytowej jest jednakowa z próżnią w komorze odchyłowej.

Przy *rejestracji fotograficznej* oscylogramów rozróżnia się dwa podstawowe systemy: fotografowanie wewnętrzne i zewnętrzne.

Przy rejestracji zewnętrznej fotografuje się obraz oscylogramu powstały na ekranie świetlącym za pośrednictwem aparatu, umieszczonego nazewnątrz oscylografu. Ponieważ aparat znajduje się wówczas pod ciśnieniem normalnym i jest łatwo dostępny, przeto wszelkie operacje fotograficzne są bardzo ułatwione. Wadą tego systemu jest mała jego czułość. Obraz świetlący na ekranie musi być bardzo intensywny, co pociąga za sobą konieczność stosowania oscylografów o wielkiej energii, przenoszonej na układ odczytowy przez promień katodowy.

Przy rejestracji wewnętrznej elektrony padają bezpośrednio na emulsję filmu fotograficznego (rys. 7). Układ ten

jest fotograficznie dużo czulszy. Przy normalnym promieniu katodowym można osiągać w tym wypadku szybkość rejestracji (szybkość kreślenia linii oscylogramu przez promień katodowy), dochodzącą do dziesiątek tysięcy kilometrów na sekundę. Układ taki ma poważną jednak wadę ze względu na to, że, znajdując się w próżni komory odczytowej, jest trudno dostępny. W celu wymiany filmów musi się zatrzymać oscylograf i wpuścić do niego powietrze. Powoduje to przerwy w pracy oscylografu, dochodzące do kilkudziesięciu minut. W praktyce przy wykonywaniu większych seryj zdjęć wymiana filmu jest konieczna po zdjęciu kilku lub kilkunastu oscylogramów.

Pewną modyfikacją zewnętrznej rejestracji fotograficznej jest układ, w którym film umieszcza się nazewnątrz komory odczytowej, bezpośrednio za okienkiem Lenard'a, przez które przedostają się elektrony promienia katodowego i padają na emulsję filmu. System ten przedstawia zalety, związane z rejestracją zewnętrzną, jednak przy przejściu przez okienko Lenard'a elektrony tracą dużo energii i rozpraszają się, przez co zarówno szybkość rejestracji, jak i ostrość oscylogramów jest mniejsza niż przy rejestracji wewnętrznej.

Do rejestracji fotograficznej używa się zwyczajnych filmów fotograficznych o możliwie wielkiej czułości. Wywoływanie i utrwalanie tych filmów odbywa się w sposób normalny.

4. Układ czasowy oscylografu katodowego.

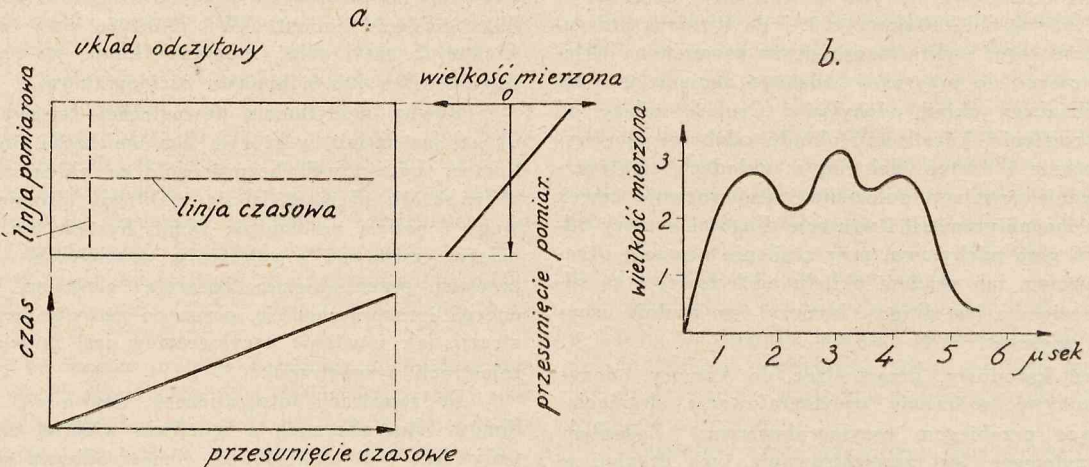
W normalnym oscylografie katodowym, jeśli załączony będzie do układu badanego jedynie odchyłowy układ pomiarowy, wszystkie zaś układy czasowe oscylografu będą nieczynne, to promień katodowy będzie ulegał pewnemu przesunięciu w stosunku do układu odczytowego, t. zw. *przesunięciu pomiarowemu*, i nakreśli na układzie odczytowym pewną linię, którą w miarę drgań wielkości badanych będzie przebiegał tam i z powrotem. Linja ta, t. zw. linja pomiarowa danego układu oscylograficznego, pozwoli jedynie na określenie maksymalnej amplitudy wychyleń promienia, czyli wartości szczytowej badanej wielkości szybkozmiennnej. Ze znajomości samej tylko linii pomiarowej nie można nic wnioskować o zmianach w czasie badanych wielkości.

W celu poznania przebiegu czasowego wielkości badanej należy spowodować dodatkowe przesunięcie promienia katodowego względem układu odczytowego, t. zw. *przesunięciu czasowe*. Przesunięcie to musi się odbywać w czasie w sposób ściśle określony i znany. Przy jednoczesnym działaniu przesunięcia pomiarowego i czasowego zostaje wykreślony oscylogram, po zanalizowaniu którego staje się możliwe poznanie przebiegów czasowych wielkości badanych.

W normalnym oscylografie katodowym promień musi ulegać zatem dwum przesunięciom względem układu odczytowego: pomiarowemu i czasowemu. Jeśli istnieje tylko przesunięcie pomiarowe, to wówczas na oscylogramie otrzymuje się tylko *linję pomiarową*, jeśli naodwrot istnieje tylko przesunięcie czasowe, wówczas promień kreśli jedynie *linję czasową*. W razie gdy wielkość badana posiada wartość stałą i równą zeru, wówczas nakreślona w tych warunkach linja czasowa jest t. zw. *linją zerową*.

W najczęstszych wykonaniach oscylografów katodowych linje pomiarowe i czasowe są linjami prostymi do siebie prostopadłymi. Dzięki temu otrzymuje się oscylogram w postaci wykresów prostokątnych badanej wielkości w funkcji czasu. Kwestja skali tych wykresów zależy od charakteru przesunięć promienia katodowego względem

układu odczytowego. W nowoczesnych oscylografach dąży się do otrzymania przesunięcia pomiarowego niemal ściśle proporcjonalnego do badanej wielkości i do możliwie stałej szybkości przesunięcia czasowego. Oscylogram otrzymany w takich prostokątnych układach oscylograficznych jest nadwyraz przejrzystym wykresem prostokątnym badanej wielkości w czasie, przyczem zachowane są skale proporcjonalne zarówno czasu jak wielkości badanej (rys. 8).



Rys. 8.

Układ oscylograficzny prostokątny o skalach proporcjonalnych. a — analiza przesunięcia zerowego i pomiarowego, b — otrzymany oscylogram.

Nadmienić należy, że dla wyrazistości oscylogramu w układzie powyżej opisanym konieczne jest dobranie takiej szybkości przesunięcia czasowego, aby była ona tego samego rzędu, co i szybkość przesunięcia pomiarowego. Ponieważ szybkości przesunięcia pomiarowego są tego rodzaju, że promień katodowy doznaje pełnego wychylenia niejednokrotnie w ciągu mikrosekundy, przeto przesunięcie czasowe musi się odbywać również bardzo szybko, w przeciągu czasu tego samego rzędu.

Jeśli rejestracja badanego przebiegu ma się odbywać długo i bez przerwy, a szybkość przesunięcia czasowego ma być wielka, to zachodzi konieczność wydłużenia linii zerowej. Stosuje się wtedy niejednokrotnie *linje zerowe sinusoidalne* (rys. 9) o osi równoległej do linii pomiarowych. Niekiedy wreszcie stosuje się układ współrzędnych biegunowych oscylogramu, przy którym linja zerowa jest kołem, linje zaś pomiarowe są do niej ustawione promieniowo.

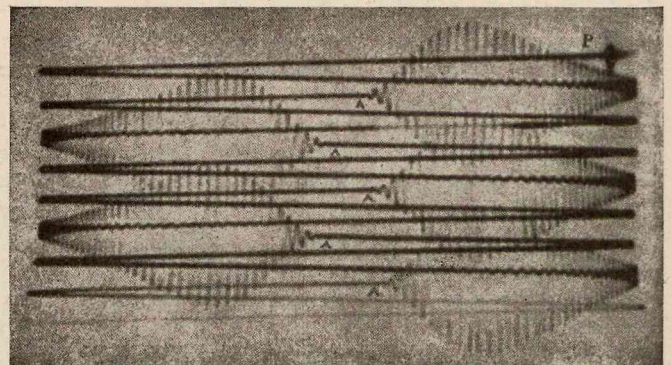
W rozwiązaniu technicznym sprawy przesunięcia czasowego są możliwe dwie alternatywy. Albo układ czasowy nie będzie działał na promień katodowy i jedynie układ odczytowy będzie przesuwany w stosunku do niego mechanicznie, albo też układ odczytowy pozostanie nieruchomy, promień zaś katodowy otrzyma dodatkowe odchylenie czasowe. Pierwszy system prowadzi do konstrukcji *układów czasowych mechanicznych*, drugi do *układów elektrycznych*. W praktyce kombinuje się czasami te układy, tworząc układy czasowe mieszane, mechaniczno-elektryczne.

Wszystkie dotychczas znane układy mechaniczne czasowe odznaczają się stosunkowo małą szybkością otrzymywanego przesunięcia. Nadają się więc one jedynie do oscylografowania zjawisk wolnozmiennych o częstotliwościach, nie przekraczających paru tysięcy okresów na sekundę. Przy przejściu do zjawisk udarowych i szybkozmiennych ma się do czynienia z czasem trwania zjawiska, wyrażanym w mikrosekundach. W tym ostatnim przypadku konieczne jest stosowanie układów elektrycznych.

Z pośród licznych czasowych układów mechanicznych ma znaczenie w nowoczesnych oscylografach niemal jedynie system, polegający na przewijaniu z określoną szybkością wstęgi filmu fotograficznego w układzie odczytowym. Układ taki stosuje się zazwyczaj jako pomocniczy w połączeniu z podstawowym układem czasowym elektrycznym. Nadaje się on szczególnie podczas rejestracji długotrwałej, gdy stosuje się sinusoidalną linję zerową.

Wykonanie czasowych układów elektrycznych polega na wbudowaniu w komorze odchyłowej dodatkowego układu odchyłowego czasowego i na zasilaniu go w sposób ściśle wiadomy pewnymi znanymi przebiegami szybkozmiennymi.

Najczęściej, dla otrzymania linii zerowej i pomiarowej wzajemnie prostopadłych, stosuje się w komorze odchyłowej system czasowy, przesunięty geometrycznie (pod względem oddziaływania na promień katodowy) o kąt prosty w stosunku do pomiarowego układu odchyłowego. Jak już podano poprzednio, jest pożądane, aby przesunięcie promienia katodowego, spowodowane przez układ czasowy, odbywało się ze stałą szybkością. W tym celu pole elektryczne lub

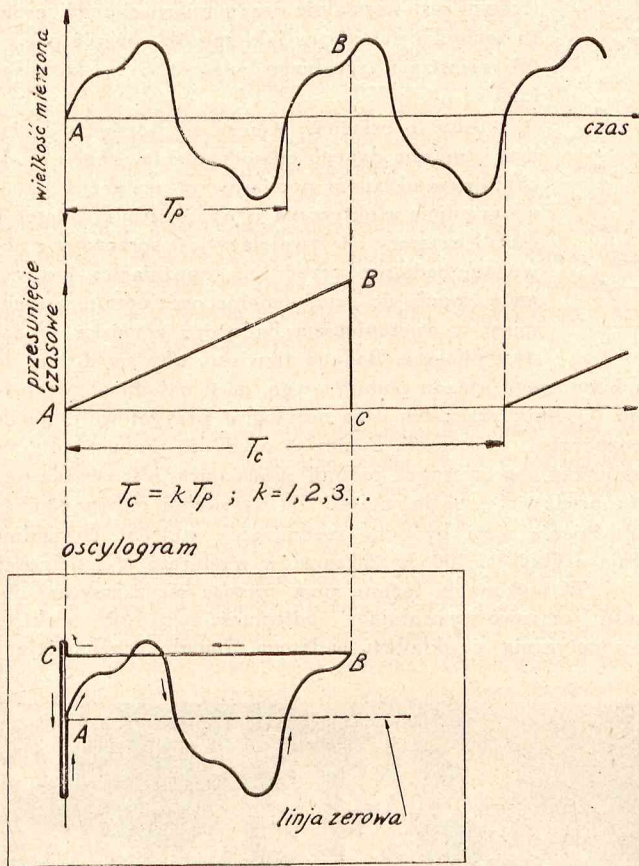


Rys. 9.

Przykład oscylogramu przy zastosowaniu linii zerowej sinusoidalnej.

magnetyczne, powodujące odchylenie czasowe, powinno wzrastać lub maleć z szybkością jednostajną. Dla uzyskania tego stosuje się specjalne układy elektryczne, zasilające układ odchyłowy czasowy. Z układów tych otrzymuje się napięcie, względnie prąd, zmieniający się w przeciągu pewnego czasu z szybkością jednostajną.

Jeśli chodzi o ustalenie wymagań stawianych układowi, zasilającemu elektryczny układ czasowy oscylografu, to należy rozróżnić dwa podstawowe przypadki. Pierwszy, gdy chodzi o zoscylografowanie przebiegów perjdycznych i drugi, gdy należy zoscylografować przebiegi pojedyncze, udarowe.



Rys. 10.

Oscylografowanie przebiegów okresowych przy przeprowadzeniu synchronizacji układu czasowego (na układzie odczytowym obraz stojący).

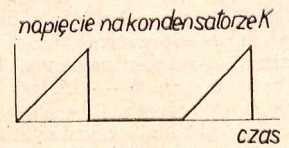
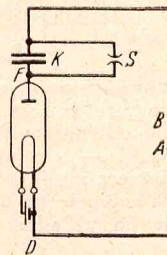
W wypadku badanych przebiegów perjdycznych, pożądanę jest, aby zsynchronizować przesunięcia czasowe i pomiarowe promienia katodowego. Dzięki temu można uzyskać na oscylogramie stojącą linię zamkniętą, obieganą w koło przez koniec promienia. Dla otrzymania jasnego wykresu oscylograficznego, o stałej skali czasu, najidealniejszym byłoby takie przesunięcie czasowe, przy którym promień katodowy przesuwałby się pod wpływem układu czasowego z jednostajną prędkością od jednego krańca oscylogramu do drugiego i następnie z nieskończenie wielką prędkością wracałby do krańca pierwszego, aby nanowo rozpocząć ten sam przebieg. Wówczas oscylogram składałby się z wykresu prostokątnego badanej wielkości o stałej skali czasu, nakreślonego w trakcie przesuwania się promienia od krańca pierwszego do drugiego i z pewnej linii czasowej (niekoniecznie zerowej), kreślonej przy jego nieskończeniu szybkim powrocie do pozycji wyjściowej. Dla przebiegania promienia katodowego stale wzdłuż tej samej linii po oscylogramie musiałaby częstotliwość przebiegu czasowego być wielokrotnością częstotliwości przebiegu mierzonego (rys. 10).

Techniczne wykonania układów elektrycznych, zasilających układ czasowy w sposób opisany powyżej, opierają się na zasadzie działania lamp świetlanych, względnie na specjalnych układach lamp katodowych. Na rysunku po-

dano najbardziej typowy schemat takiego urządzenia (rys. 11).

Przy wielokrotnym przebieganiu promienia po tej samej krzywej oscylogramu energia, dostarczana przez promień katodowy układowi odczytowemu na jednostkę długości nakreślonej krzywej, może być znacznie mniejsza, aniżeli w przypadku, gdy promień raz tylko jeden przebiega po krzywej oscylogramu. Wreszcie moment rozpoczęcia i zakończenia oscylografowania jest przy takim badaniu przebiegów perjdycznych w znacznej mierze dowolny. Ze względu na to stosowanie w tym przypadku urządzeń, odcinających promień katodowy, ma znaczenie drugorzędne.

Sprawa jest znacznie trudniejsza w razie oscylografowania przebiegów udarowych. Wówczas badany przebieg występuje tylko raz jeden i musi być zdjęty właśnie ściśle w tej chwili, w której się pojawia. Zazwyczaj przebieg, któ-

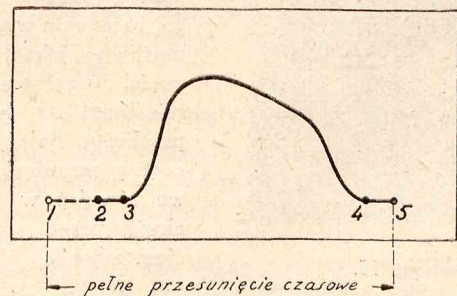


Rys. 11.

Czasowy układ proporcjonalny synchronizowany (pg. Rogowskiego), a — Schemat układu, b — Wykres.

ry należy zdjąć, trwa tak krótko, że wystarczy dla jego rejestracji jedynie czas, w ciągu którego promień otrzymuje jedno pełne przesunięcie czasowe. Rzecz jasna, iż prędkość tego przesunięcia jest w pewnych granicach dowolna, gdyż nie ma tu mowy o synchronizacji.

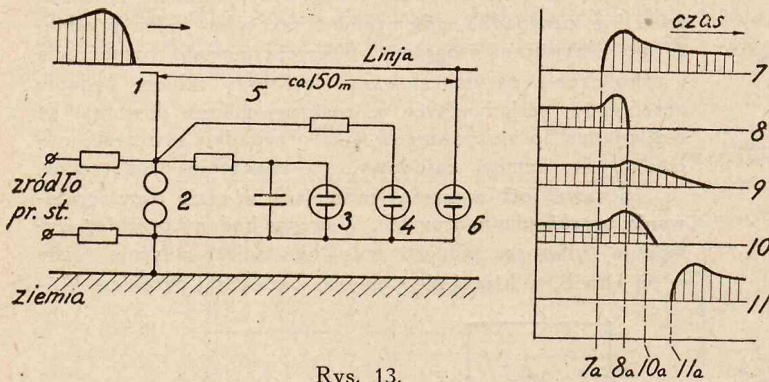
W przypadkach szczególnych, gdy zależy na długiej rejestracji przebiegu pojedynczego, stosuje się układ czasowy o sinusoidalnej linii zerowej. Przesunięcie czasowe rozkłada się na dwie składowe prostopadłe. Pierwsza z nich daje przesunięcie o prędkości sinusoidalnie zmiennej, prostopadłe do osi sinusoidy,—przesunięcie to jest otrzymywane przez układ elektryczny, druga zaś daje przesunięcie o prędkości jednostajnej, rzędu mniejszego od poprzedniej i o kierunku do osi sinusoidy równoległym. To ostatnie przesunięcie otrzymuje się zazwyczaj mechanicznie, przez przewijanie filmu. W układzie takim przesunięcie, powodowane przez elektryczny układ czasowy, jest prostopadłe do przesunięcia pomiarowego, przesunięcie zaś czasowe mechaniczne jest do niego równoległe. Oscylogram nie ma oczywiście stałej skali czasu i musi być odpowie-



Rys. 12.

Koordinacja działania poszczególnych elementów oscylografu. 1 — Uruchomienie układu czasowego. 2 — Wyzwolenie promienia katodowego. 3 — Początek rejestracji przebiegu. 4 — Koniec rejestracji przebiegu. 5 — Odcięcie promienia katodowego.

dnio zanalizowany. Na tej drodze udaje się czytelnie rejestrować przebiegi bardzo szybkie przez niewspółmiernie dłuższy przeciąg czasu (rys. 9). Otrzymanie sinusoidalnie zmiennego prądu lub napięcia, zasilającego w tym przypadku elektryczny układ czasowy, nie nastęrcza trudności.



Rys. 13.

Układ elektryczny oscylografu przy zdejmowaniu przebiegów udarowych. 1—Sprzężenie układów oscylografu z linią. 2—Iskiernik. 3—Układ czasowy. 4—Układ odcinający. 5—Linia opóźniająca. 6—Układ odchylowy. 7—Przebieg w punkcie sprzężenia. 8—Napięcie na iskierniku (2). 9—Napięcie na układzie czasowym (3). 10—napięcie na układzie odcinającym (4). 11—Przebieg na układzie odchylowym (6).

Przy badaniu przebiegów jednorazowych kwestja rozpoczęcia zdjęcia i zakończenia go jest jednym z najtrudniejszych zagadnień. Ponieważ energia, przenoszona

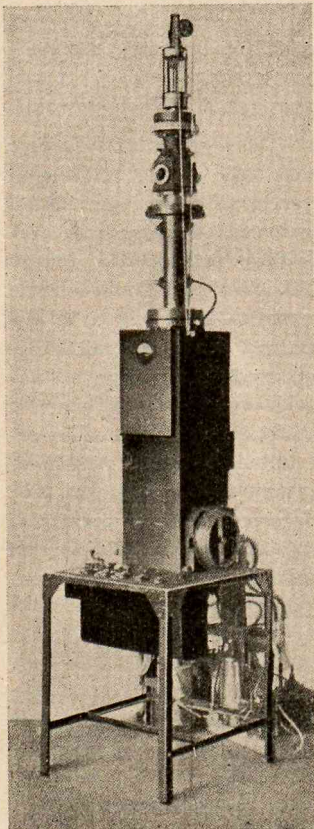
układ czasowy daje pełne przesunięcie czasowe i promień zostaje odcięty (rys. 12).

Ponieważ puszczenie w ruch całej powyższej serii zjawisk jest możliwe jedynie pod wpływem impulsu, danego przez sam badany przebieg i ponieważ z drugiej strony odstęp czasu pomiędzy momentem pierwszym a trzecim jest normalnie rzędu mikrosekundy, przeto zachodzi pytanie, w jaki sposób opóźnić początek rejestracji przebiegu właśnie o tę mikrosekundę.

Abymy to osiągnąć, włącza się pomiędzy badanym punktem danego obwodu elektrycznego a odchylowym układem pomiarowym sztuczną opóźniającą linię elektryczną o odpowiedniej długości. Układ czasowy i wyzwalający jest sprzężony z obwodem badanym przed linią opóźniającą i otrzymuje impuls do uruchomienia oscylografu natychmiast z wystąpieniem badanego zjawiska w danym punkcie. Badane zjawisko, aby się dostać do

odchylowego układu pomiarowego, musi natomiast przebiec po tej linii, przez ten czas oscylograf przygotowuje się do rozpoczęcia rejestracji. Ponieważ prędkość przenoszenia się zaburzeń elektrycznych po linii opóźniającej jest zwykle rzędu prędkości światła, przeto dla uzyskania odpowiedniego opóźnienia musi być ona rzędu setek metrów. Normalnie linia o długości 100 do 150 metrów wystarcza w zupełności.

W wykonaniu technicznym sprzęga się zazwyczaj obwód czasowo-wyzwalający pojemnościowo lub elektromagnetycznie z układem badanym. Impuls uruchamiający



Rys. 15.

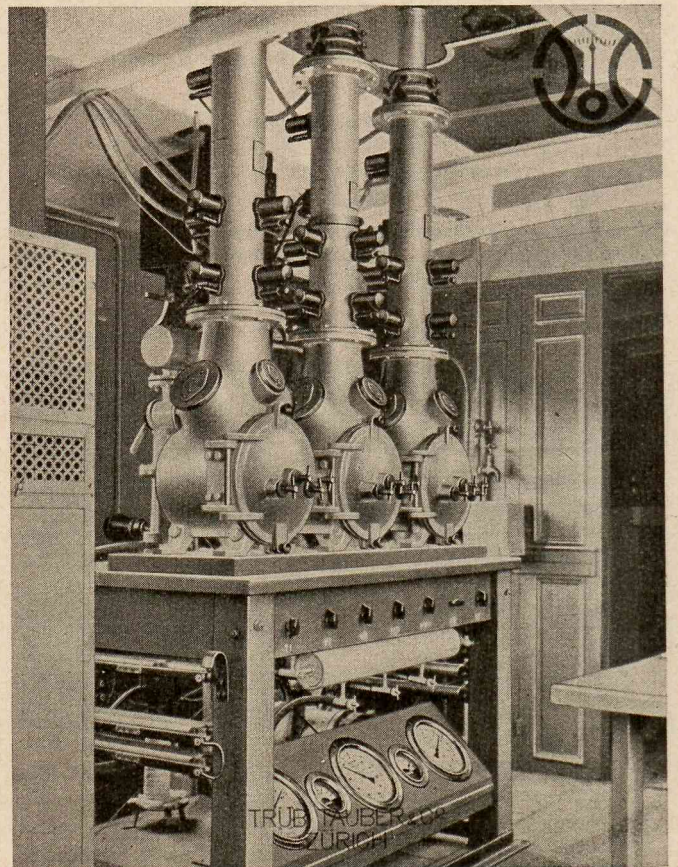
Ogólny widok potrójnego oscylografu Bergera

elementów oscylografu jest w tym przypadku następujące: 1) rozpoczyna działać układ czasowy, 2) następuje wyzwolenie promienia katodowego, 3) rozpoczyna się rejestracja przebiegu badanego, 4) kończy się rejestracja przebiegu, 5)

przez promień katodowy, jest tak dobrana, aby w czasie niezmiernie krótkiego jednorazowego przesunięcia się promienia po układzie odczytowym przebieg ten mógł być zarejestrowany, przeto promień, padający przed rozpoczęciem przebiegu na film fotograficzny w czasie nawet paru milisekund, zaczerpni początek oscylogramu w zupełności. Promień ten może być wyzwolony dopiero już przed rozpoczęciem się badanego przebiegu i natychmiast po jego ukończeniu musi być odcięty.

Co do układu czasowego, to w celu wyzyskania możliwie jaknajwiększej części oscylogramu dla rejestracji badanego przebiegu, należy rozpocząć przesunięcie czasowe również w ostatniej chwili przed rozpoczęciem zdjęcia.

Idealne skoordynowanie działania poszczególnych



Rys. 14.

Ogólny widok oscylografu Rogowskiego.

sprowadza się do nieznacznego przepięcia w tym obwodzie, co powoduje przeskok na iskierniku odpowiednio wyregulowanym i zapoczątkowuje całe zjawisko.

Istnieje nader wiele najrozmaitszych wykonania technicznych układów elektrycznych, koordynujących działanie poszczególnych elementów oscylografu katodowego w trakcie oscylografowania przebiegów udarowych. Na rysunku podano przykład najbardziej typowy (rys. 13).

Trudności, opisane powyżej, są w znacznym stopniu zmniejszone przy tak zwanej rejestracji ciągłej, gdzie, jak np. przy układzie oscylograficznym o sinusoidalnej linii zerowej, oscylograf jest w ciągu stosunkowo długiego czasu gotów do zarejestrowania każdego przebiegu, nadchodzącego do układu pomiarowego. System ten jednak jest bardzo kosztowny, gdyż w celu zaobserwowania zjawiska, trwającego np. parę mikrosekund, przepuszcza się wielką ilość filmu niekiedy nawet w ciągu kilkunastu minut. Tem niemniej, dzięki zastosowaniu rejestracji ciągłej, można badać zjawiska, zachodzące w układzie w ciągu długiego czasu, co niejednokrotnie (np. w wypadku badania przepięć atmosferycznych) ma bardzo doniosłe znaczenie.

W związku z rozpatrywaniem zagadnień, dotyczących oscylografów katodowych, pragnę zaznaczyć, że w Polsce nie stosowano dotychczas tych oscylografów dla przeprowadzania badań w zakresie techniki prądów silnych i wysokich napięć. Pierwszy oscylograf katodowy, dostosowany do tych studjów, sprowadza obecnie Zakład Miernictwa Elektrycznego i Wysokich Napięć Politechniki Warszawskiej. Oscylograf ten, typu Rogowskiego (rys. 14), umożliwi przeprowadzenie w Polsce szeregu badań, związanych ze zjawiskami udarowymi i przepięciami, co wiąże się bezpośrednio z programem najbliższych prac wyżej wzmiankowanego Zakładu.

WYKAZ LITERATURY.

U w a g a: Ze względu, że literatura, dotycząca oscylografów katodowych, jest nadwyras obfita i wykaz jej musiałby obejmować kilkadziesiąt pozycji, podaję poniżej jedynie dzieła podstawowe o charakterze ogólnym.

H a u s r a t h . — Apparate und Verfahren zur Aufnahme und Darstellung von Wechselstromkurven und elektrischen Schwingungen. Str. 81. Lipsk 1913.

M a c G r e g o r - M o r r i s a n d R. M i n e s . — Measurements in engineering by means of cathode rays. J. of I. E. E. Vol. 63 (1925) p. 1056.

G a b o r D . — Oszillographieren von Wanderwellen mit dem Kathoden-oszillographen e. c. t. Forsch.-Hefte Studienges. f. Höchstspannungsanlagen. 1927. Heft 1 S. 7, 47, 62.

D u f o u r A . — Oscillographe cathodique pour l'etude des basses, moyennes et hautes fréquences. Paris 1923. Chiron.

A l b e r t i E . — Braunsche Kathodenstrahlröhre und ihre Anwendung. Str. 214. Berlin, 1932.

A r d e n n e M . Die Kathodenstrahlröhre und ihre Anwendung in der Schwachstromtechnik. Str. 398. Berlin. 1933.

Arbeiten aus dem Elektrotechnischen Institut der Techn. Hochschule in Aachen. (Red. W. R o g o w s k i). Band I — VI. (bis 1933).

Wykaz pozostałej literatury periodycznej i innej do roku 1931, podany w:

A T M — Archiv für technisches Messen. Nr. 5. November 1931. (J. 834).

Publikacje polskie:

J a s k ó l s k i T . — Oscylografy katodowe. Przegląd Elektrotechniczny. 1929, str. 121.

J e l l o n e k A . — Uwidocznianie przebiegów periodycznych w oscylografie katodowym. Przegląd Radiotechniczny. 1933, str. 121.

POMIARY OPORNOŚCI MATERJAŁÓW IZOLACYJNYCH.

Inż. Aleksander Winogradow.

Streszczenie. Ścisłe określenie pojęcia oporności skrośnej, powierzchniowej i wewnątrzowej. Wybór i opracowanie metod pomiarów. Szczegółowe omówienie urządzeń i przyrządów oraz sposobu wykonywania pomiarów. Projekty przyrządów normalnych. Projekt przepisów pomiarów oporności materiałów izolacyjnych stałych dla P. N. E.

1. Wstęp.

Materiały izolacyjne stałe posiadają dla przemysłu elektrotechnicznego szczególnie ważne znaczenie ze względu na ich własności mechaniczne, pozwalające na szeroki zakres zastosowania. Inne dielektryki — lotne lub ciekłe — nie mogą być stosowane same, zawsze w mniejszym lub większym stopniu muszą być wspomagane przez izolatory stałe. Stąd od tych ostatnich wymagamy bardzo różnorodnych własności.

Konstruktor urządzeń elektrycznych, stosując izolatory, jako część składową wszystkich przyrządów elektrycznych, musi posiadać znajomość ich własności poszczególnych, aby stworzyć konstrukcję pewną w ruchu, a pod względem ekonomicznym najbardziej racjonalną. Wytwórca musi mieć możliwość porównywania wyrabianych przez siebie materiałów, aby dążyć do ich ulepszenia. Odbiorca wreszcie gotowych przyrządów względnie ich części lub surowców chce mieć możliwość kontroli ich dobroci.

Stąd jasne, jak ważną rzeczą dla elektrotechniki jest posiadanie odpowiednich metod badania różnorodnych własności dielektryków stałych. W całym świecie od szeregu lat trwają badania w kierunku znalezienia najodpowiedniejszych metod, ich opracowania i ulepszenia. W Polsce tą sprawą jeszcze się nie zajmowano. Dopiero niedawno Zakład Miernictwa Elektrycznego i Wysokich Napięć Politechniki Warszawskiej rozpoczął studia nad metodami badania materiałów izolacyjnych. Praca niniejsza stanowi fragment tych badań. Otrzymane wyniki będą złożone Komisji materiałów izolacyjnych SEP, z którą Zakład współpracuje.

Pracę niniejszą wykonano w Zakładzie Miern. Elektr. i Wys. Nap. pod kierunkiem Prof. Kazimierza Drewnowskiego w roku 1930.

2. Przewodność materiałów izolacyjnych.

Zjawisko przejścia prądu przez dielektryk jest bardzo złożone. Dotychczas nie udało się ustalić jednolitej teorii, rozwiązującej bez zastrzeżeń sprawę przewodzenia prądu przez dielektryki stałe. Nie wnikając bliżej w stronę fizyczną tłumaczenia zjawiska oporu elektrycznego materiałów izolacyjnych stałych, gdzie doświadczalnie stwierdzono wszystkie trzy rodzaje przewodzenia: metaliczne, elektrolityczne i gazowe, omówimy wpływy, jakim opór ten ulega.

Na pierwszym miejscu stoi temperatura, której wpływ jest tak duży, że można bez przesady powiedzieć, iż przy każdej jej zmianie mamy niejako inny dielektryk. Zmienia

się konsystencja ciał, wchodzących w jego skład, np. dla materiałów nasyconych zmienia się płynność i przyczepność składnika nasycającego. Sama obecność ciepłego ruchu molekuł bardzo zmienia stan fizyczny dielektryka. Ważny także jest rozkład pola ciepłego w ciele. Przebieg zależności oporu od temperatury można dla niektórych ciał ująć we wzory empiryczne (funkcja potęgowa). Dają one jednak tylko grube przybliżenie i nie mogą być zastosowane do wszystkich dielektryków. Liczbowo dla wielu dielektryków, stosowanych w praktyce, już przy zwiększeniu temperatury o 10^0 w pobliżu temperatur pokojowych mamy powiększenie przewodności 1,5 do 4-krotne.

Drugim z kolei czynnikiem jest wielkość napięcia, które powoduje przepływ prądu. Prawo Ohma, orzekające prostą proporcjonalność prądu i napięcia, nie jest tu słuszne. Oporność zależna jest tutaj od wielkości napięcia przyłożonego i maleje wraz z rosnącą różnicą potencjałów. Próby matematycznego ujęcia tej zależności nie doprowadziły do wzoru ogólnego. Ponadto należy liczyć się ze zjawiskiem jakby histerezy, mianowicie, po uprzednim przyłożeniu większej różnicy potencjałów oporność dielektryka na ogół pozostaje przez pewien czas mniejsza i dopiero po dłuższym „odpoczynku” powraca do wartości początkowej. Łączy się z tem bezpośrednio wpływ czasu od chwili przyłożenia napięcia: oporność z czasem się zmienia i to w sposób bardzo różny, zależny przedewszystkiem od rodzaju dielektryka. Bywa ona zarówno rosnąca, jak i malejąca. Na ogół oporność z czasem dąży asymptotycznie do pewnej stałej wartości. Przyczyna tkwi w polaryzacji dielektryka, w zjawiskach ciepłych pod wpływem prądu lub wreszcie w zmianach makroskopowych, jakim ulega masa ciała pod wpływem pola (przybieranie innych kształtów lub przemieszczanie się cząsteczek płynnych).

Bardzo duży a trudny do ujęcia jest wpływ wilgoci. Już stopień wilgotności otaczającego powietrza zmienia zasadniczo oporność wielu materiałów izolacyjnych. Woda zaś wpływa oczywiście jeszcze bardziej. Pozatem zawartość wilgoci w dielektryku potęguje wybitnie omówione zależności od czasu, napięcia i temperatury.

Nie można pominąć także wpływu jonizacji obcej oraz zjawiska starzenia się materiałów izolacyjnych. Kwestje te, jakkolwiek stwierdzone doświadczalnie, nie są zresztą bliżej opracowane. Zasadniczą rolę odgrywa także uprzednie przygotowanie dielektryka działaniem naprężeń mechanicznych bądź poddawanie wpływom ciepłym lub chemicznym.

Widzimy z tego, jak trudne jest jednoznaczne określenie oporności dielektryka i jak dokładnie należy oznaczać warunki próby.

Zależnie od drogi przechodzenia prądu przez dielektryk, t. j. przez jego masę i po jego powierzchni, rozróżniamy oporności następujące:

a) Oporność *skrośna* lub właściwa, t. j. oporność jednego cm^3 w kształcie sześcianu, mierzona prądem stałym przy napięciu określonej wartości po określonym czasie od chwili przyłożenia napięcia, dla znanych warunków temperatury i wilgotności. Pozatem należy podać przy próbie poprzednią historję dielektryka, t. j. ewentualne przygotowanie zapomocą naprężeń mechanicznych i ciepłych lub uprzednie poddawanie działaniu napięcia, czynników chemicznych, radioaktywnych i t. d.

b) Oporność *powierzchniowa* dielektryka, t. j. oporność warstwy jego, położonej przy powierzchni o wymiarach $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ przy równie ściśle określonych warunkach, jak i oporności skrośnej. Grubość warstwy powierzchniowej, której oporność mierzymy, nie jest oczywiście znana, dążymy jedynie, by była możliwie cienka, by oporność była rzeczywiście powierzchniowa.

c) Niejednokrotnie w praktyce spotyka się dielektryki o strukturze złożonej, których oporność nie jest taka sama we wszystkich kierunkach. Istnieją także materiały izolacyjne o większej przewodności wewnątrz, niż przy powierzchni (dzięki np. żyłkom przewodzącym i t. p.). W celu wykrycia tych zjawisk wprowadzamy pomiar t. zw. oporności *wnętrzowej*, mierzonej pomiędzy otworami określonych wymiarów, zrobionych w materiale w określonych odstępach w różnych kierunkach. Ścisłe określenie warunków próby należy tu również przeprowadzić.

Wielkości powyższe dają już wystarczające wskazówki co do zachowania się dielektryka w technice prądów niskiego napięcia (do 500 V i dla częstotliwości technicznych).

Najbardziej miarodajną dla danego materiału izolacyjnego byłaby wartość oporności, zmierzona napięciem, odpowiadającym warunkom normalnej pracy, lecz powstałaby trudność z porównawczą oceną dielektryków, a urządzenie i przeprowadzenie pomiarów przy wysokich napięciach byłyby kosztowne i kłopotliwe. Z drugiej strony napięcie nie powinno być zbyt niskie, bo wówczas zwiększają się trudności, związane z pomiarem prądów małych. Napięcie 1000 do 1200 V prądu stałego wydaje się najlepsze do tego celu i jest stosowane w przepisach różnych krajów.

Czas pomiaru należy ustalić dostatecznie długi, aby otrzymać wartość oporności, występującą w rzeczywistości przy pracy. Ponieważ pomiary pośrednie nie sprawiają żadnej trudności, należy je robić w ciągu pewnego czasu, wyznaczając zależność: $R = f(t)$. Przepisy niemieckie ograniczają się do pomiaru po 1 min. od chwili przyłożenia napięcia. Wyniki doświadczalne, otrzymane w naszym Laboratorium oraz podane w literaturze, świadczą, że czas ten w wielu przypadkach jest niewystarczający. Wzorem przepisów angielskich należałoby wyznaczać krzywą: $R = f(t)$ w czasie przynajmniej 10 min., robiąc odczyt co 1 min. W ten sposób otrzymywalibyśmy charakter zmiany oporności z czasem, co jest szczególnie ważne dla ciał, których oporność z czasem maleje. Pozatem krzywa taka ilustruje, czy mierzona po 10 min. oporność jest już niedaleka wartości końcowej, czy też ma dążność do dalszych zmian. W tym ostatnim przypadku należy pomiar przedłużyć. Czas 30 min. zawsze już wystarcza.

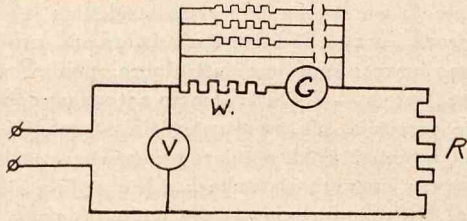
Poprzednia historja dielektryka oraz wpływ wilgoci i temperatury nie mogą być uogólnione na wszystkie dielektryki. Żądania w tej dziedzinie zależą od rodzaju materiału izolacyjnego, jego przeznaczenia i normalnych warunków pracy. W odpowiednich przepisach należy żądać tych lub innych warunków próby. Metoda pomiarów, jaka zostanie obrana, pozwoli bez trudności na ich zrealizowanie. Niektóre, jak poprzednie działanie napięcia, można odnieść do życzeń specjalnych. Wpływ temperatury możnaby każdorazowo przedstawić, zdejmując charakterystykę: $R = f(T^0)$, lecz to utrudniłoby znacznie pomiar, który na ogół jest bardzo prosty i niezawsze byłoby potrzebne, gdyż w wielu wypadkach materiał izolacyjny pracuje przy stosunkowo nieznacznych zmianach temperatury (bardzo często np. w temperaturze pokojowej). Dlatego też w ogólnej metodzie pomiaru nie podamy temperatury, przy której oporność ma być mierzona.

Przepisy szczegółowe dla każdego rodzaju materiałów izolacyjnych ustala też, którym próbom winny być one poddawane, określa ilość próbek i pomiarów.

3. Urządzenia pomiarowe.

Przy wyborze metody pomiaru należy zwrócić przede wszystkim uwagę na to, że nie można osiągnąć wielkiej dokładności ze względu na wpływ takich czynników, jak pomiar długości drogi prądu w dielektryku lub wykonanie

dobrego kontaktu: metal — dielektryk. Z drugiej strony nie chodzi też o pomiar zbyt dokładny, gdyż pomimo najdalej idących ostrożności usunięcie całkowite szkodliwych wpływów postronnych jest niemożliwe. Ze względu zaś na wielką zmienność oporności dielektryków wartość ścisła w chwilowych warunkach niezbyt jest potrzebna. Chodzi raczej o utrzymanie granic przybliżonych, w jakich oporność może się zmieniać.



Rys. 1.

Tym wymaganiom odpowiada w zupełności metoda techniczna (rys. 1). Jest ona niezmiernie prosta. Nie wymaga złożonych urządzeń dodatkowych ani oporników wzorcowych. Dokładność posiada zupełnie wystarczającą. Pozwala stosować szeroką skalę napięć i mierzyć oporności bardzo różne. Pozwala dokonywać pomiary w sposób ciągły i bardzo łatwy, śledzić wszystkie zmiany, jakim oporność badana ulega. Sam pomiar sprowadza się do odczytania woltomierza oraz galwanometru. Oporność mierzona otrzymamy z wzoru:

$$R = \frac{U}{k \cdot \alpha} - R_g,$$

gdzie: U — napięcie pomierzone, k — stała statyczna galwanometru, α — odchylenie galwanometru, R_g — oporność zastępcza galwanometru z bocznikiem i ewentualnym opornikiem ochronnym (W), która w większości przypadków praktycznych może być pominięta, jako bardzo mała w stosunku do R .

Inne metody pomiarów oporności, aczkolwiek dokładniejsze, nadają się raczej do badań naukowych, nie zaś do pomiarów technicznych. Należy również odrzucić metody jakościowe (lampa neonowa, ostrza); mogą one mieć jedynie znaczenie orientacyjne.

Do pomiarów należy użyć galwanometru o czułości nie mniejszej, niż 10^{-9} A/mm z bocznikiem, pozwalającym znacznie rozszerzyć zakres pomiarów. W pracy niniejszej posłużono się galwanometrem lusterkowym systemu Deprez D'Arsonval'a w wykonaniu Cambridge, czułość $25 \cdot 10^{-11}$ A 2 000 Ω .

Przy pomiarach technicznych, gdzie ostrożność laboratoryjna niezawsze jest zachowywana, wskazane jest stosowanie oporu ochronnego rzędu 10000 Ω . Może być on wbudowany bezpośrednio do galwanometru (rys. 1) lub przyłączony oddzielnie, w tym przypadku zwykle przed woltomierzem (rys. 2). Przy zastosowaniu takiego zabezpieczenia nawet w przypadku zwarcia w oporze badanym przy napięciu 1000 V popłynie prąd nie większy od 0,1 A i przyrząd będzie uchroniony przed uszkodzeniem. Wygodniejsze jest użycie schematu, podanego na rys. 2, ponieważ wówczas, jeszcze gdy galwanometr jest zwarty, spadek napięcia na woltomierzu ostrzeże o przepływie prądu dużego. Przy pomiarach laboratoryjnych można z tych środków ostrożności zrezygnować.

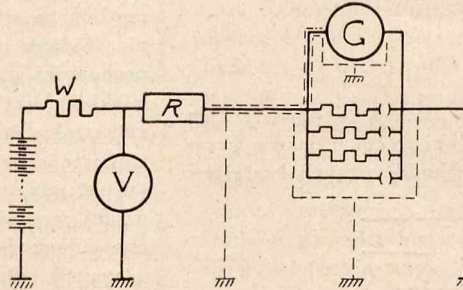
Zastosowanie galwanometru z wyżej wskazaną czułością przy użyciu bocznika pozwala mierzyć oporności w

granicach 10^6 do 10^{12} Ω , co wystarcza już w zupełności do badania nawet tak dobrych materiałów izolacyjnych, jak porcelana. Oporności poniżej 10^6 Ω możemy mierzyć, stosując zamiast galwanometru miliamperomierz lub inny przyrząd odpowiednio czuły.

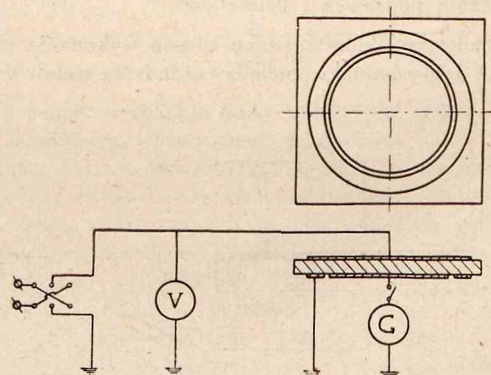
Przy pomiarach należy zwrócić uwagę na ustawienie na zero skali galwanometru, ponieważ nitka, służąca jako zawieszenie, ulega odształceniom i zero często się przesuwa. Natomiast stała statyczna nie wykazuje zwykle uchwytanych zmian. Galwanometr należy umieścić wysoko na ścianie dla wyeliminowania takich wpływów, jak: oddech odczytującego, poruszenia, uderzenia, wstrząsy i t. d.

Jako źródło prądu niewątpliwie najlepsza jest bateria akumulatorów: jest tania, utrzymuje doskonale napięcie. Ponieważ prądy pomiaru zwykle są minimalne, można zastosować ogniwa o najmniejszej pojemności. Baterię zaopatrzyć należy w przełącznik, umożliwiający łatwą regulację napięcia drogą włączania poszczególnych ogniw. Jeden biegun baterji zwykle się uziemia, co bardzo ułatwia kontrolę stanu urządzenia.

Ponieważ oporności badane są naogół bardzo duże, ogromną rolę odgrywa dobra izolacja całego urządzenia, aby prąd mierzony nie był zmieniony przez prądy upływowe. Należy bardzo starannie izolować wszystkie przyrządy, przewody, wyłączniki i t. d. W Laboratorium Mierń. Elektr. i Wys. Nap. przewody zostały umieszczone na wysokich wspornikach ebonitowych. Były próby zastosowania izolacji bakelitowej, lecz przewodność jej okazała się zbyt duża. Pomimo jednak najbardziej dokładnej izolacji prądy upływowe całkowicie wyeliminować się nie dadzą. W naszym urządzeniu oporność izolacji wynosiła około $1,2 \cdot 10^{12}$ Ω , co uwzględniano przy pomiarach oporności bardzo du-



Rys. 2.



Rys. 3.

zych, jako dodatkową oporność, włączoną równolegle do badanej. W większości przypadków jednak uchyb ten można było pominąć.

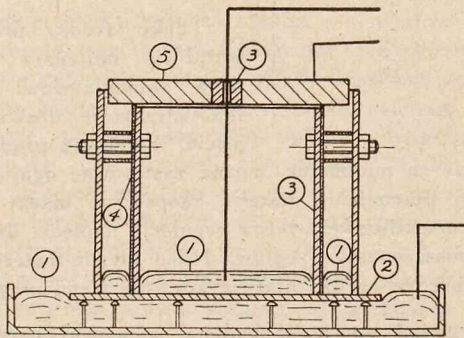
Bardzo wygodne jest stosowanie osłon wg. rys. 2. Wówczas prądy, omijające oporność badaną poprzez izolację urządzenia, są skierowane wprost do ziemi poza galwanometrem. Te prądy są stosunkowo duże, ponieważ powstają pod wpływem wysokiego napięcia. Izolacja natomiast w osłonach może być o wiele słabsza, ponieważ istnieje tu potencjał, nieprzekraczający przy pomiarach dużych oporności dielektryków części wolta względem ziemi.

4. Pomiar oporności skośnej.

Jako punkt wyjścia dla badań wybrano pomiary na próbkach w kształcie płyt okrągłych lub kwadratowych. Płyty zaopatrywano z obu stron w dwie współosiowe przewodzące okładziny. Okładzina z jednej strony jest mniejsza i zaopatrzona w pierścień ochronny. Urządzenie takie wraz z układem połączeń według wybranej metody technicznej przedstawia rys. 3. Oporność skośną oblicza się z wzoru:

$$\rho = \frac{R \cdot s}{a} \Omega \text{ cm},$$

gdzie: R — oporność mierzona w Ω , s — powierzchnia elektrody w cm^2 , a — grubość próbki w cm . Ponadto przeprowadzono szereg badań nad próbkami różnych kształtów



Rys. 4.

1—rtęć, 2—próbka, 3—dobry izolator, 4—cynfolija, część osłony elektrostatycznej, 5—ciężarek, część osłony elektrostatycznej.

specjalnych (rurki izolacyjne, wyroby ceramiczne). Wzór dla obliczenia oporności skośnej pozostaje w mocy, tylko jako s i a należy brać średnie wielkości powierzchni przejścia i długości drogi prądu w dielektryku. Brano pod uwagę przepisy państw obcych, w szczególności niemieckie i angielskie. Okazało się, że w wielu wypadkach przepisy te wymagają poprawek i uzupełnień.

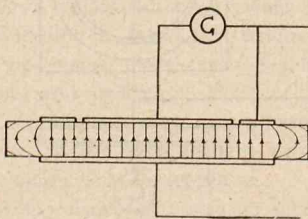
Przedewszystkiem zbadano sposób wykonania elektrod, ponieważ dobry kontakt pomiędzy okładziną metalową a die-

oraz od docisku, przyczem — stosując nawet bardzo duże dociski — nie dochodzimy do jakiegokolwiek wartości ustalonej. Rezultat znacznie się polepsza przy użyciu cynfolii w cienkich listkach jako podkładki pod płytki metalowe, jednak i tu oporność przejścia jest jeszcze znaczna a potrzebny duży docisk zniekształca próbkę.

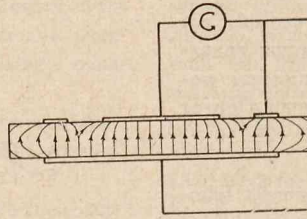
Natomiast dobrze się nadają elektrody z cynfolii, przyciskane za pośrednictwem gumy lub naklejone przy pomocy oleju parafinowego. Pierwsze są o tyle wygodniejsze, że pozwalają na wielokrotne ich użycie, zdejmowanie, przenoszenie. Jednak istnieje tu warstewka powietrza względnie jego pęcherzyki, zwłaszcza przy dielektrykach twardych, przy miękkich zaś samo przyciskanie nie jest dobre, ponieważ zniekształca próbkę. Uchyb — do 20%. Drugie natomiast dają mniejszą oporność przejścia, nie przesuwają się, wygodniejsze są, gdy trzeba wykonać kilka pomiarów porównawczych na tej samej próbce w różnych warunkach. Nie nadają się one jednak do ciał higroskopijnych, np. dla papierów nienasyconych. Dla wszelkiego rodzaju wyrobów bakelitowych, szkła i porcelany dały rezultaty zupełnie zadowalające. Olej nie przenikał do wnętrza tych materiałów. Świadczy o tym zgodność pomiarów, wykonanych od razu po naklejeniu i po kilku dniach. Po oderwaniu ich po kilku nawet tygodniach powierzchnia pod elektrodą zawsze była powleczone wilgotną warstewką oleju. Warstwa ta może być bardzo cienka. Pomiary próbki i cynfolii przed i po naklejeniu przy pomocy precyzyjnego mikrometru nie pozwoliły uchwycić przyrostu grubości. W każdym bądź razie warstewka ta dzięki lepkości zapewnia lepsze przyleganie cynfolii do materiału, a napewno nie stawia większego oporu, niż pęcherzyki powietrza przy użyciu elektrod suchych. Wpływu przyciskania na tak przygotowaną elektrodę niema wcale.

Elektrody metalizowane, t. j. wykonane przy pomocy zimnego natrysku metalu (metodą Schoop'a), pozwalają na całkowite wyeliminowanie pęcherzyków powietrza i zapewniają idealny kontakt elektroda—dielektryk. Wadą jest kosztowność urządzenia do tego celu. Ponadto nie pozwalają na dobre zbadanie wpływu wilgotności, co znacznie uszczupla zakres ich stosowalności.

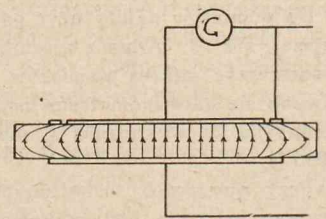
Elektrody rtęciowe lub wodne (dla materiałów niehigroskopijnych) są najlepsze. Urządzenie jest proste i tanie. Nie wymagają tej staranności i precyzji wykonania, co wszelkie inne. Oporność przejścia jest równa zero. Przytem



Rys. 5a.



Rys. 5b.



Rys. 5c.

lektrykiem decyduje o dokładności tych pomiarów. Dlatego też zbadano skrupulatnie różne rodzaje elektrod: płyty metalowe, dociśnięte do dielektryka, elektrody z cynfolii, dociśnięte płytkami metalowymi lub gumowymi, elektrody z cynfolii, naklejone zapomocą oleju parafinowego, elektrody metalizowane, wreszcie elektrody wodne i rtęciowe.

W wyniku badań okazało się, że elektrody metalowe zupełnie się nie nadają. Przy materiałach twardych nie można uniknąć pęcherzyków powietrza pomiędzy elektrodą a dielektrykiem. Wynik ma charakter zupełnie przypadkowy, zależny w wysokim stopniu od stanu powierzchni materiału

elektrody rtęciowe nadają się do wszystkich dielektryków i do wszystkich badań. Rys. 4 przedstawia projekt takich elektrod. Mogą one być stosowane także do pomiarów strat dielektrycznych i stałej dielektrycznej (przewidziana osłona elektrostatyczna). Bardzo pożądanym byłoby wprowadzenie takich elektrod jako normalnych.

Poniższa tabela ilustruje dobroć różnego rodzaju elektrod, podając wyniki dla porcelany, uzyskane przy ich pomocy, w stosunku do oporności, mierzonej elektrodami rtęciowymi, którą przyjęto za 100. Przy chropowatej powierzchni dielektryka różnice byłyby jeszcze bardziej rażące.

L.p.	Rodzaj elektrod, pow. ok. 50 cm ²	Oporność pomierzona w stos. do rzeczy wi- stej (e.l. rtęc.)
1	Metalowe, docisk 2 kg.	750 — 1 250
2	Metalowe z podłożoną cyn- folją docisk 2 kg.	135 — 250
3	Z cynfolji, docisk 1 kg guma	115 — 120
4	Z cynfolji, naklejane	100 — 105
5	Metalizowane	100
6	Wodne	100
7	Rtęciowe	100

Przepisy niemieckie dają co do elektrod tylko bardzo skąpe wskazówki, ograniczając się na żądaniu „dobrze przylegających okładzin”. Przepisy angielskie dopuszczają wyłącznie elektrody ciekłe. Wyniki badań przemawiają za ścisłym określeniem rodzaju elektrod, lecz jednocześnie za dopuszczeniem do pomiarów technicznych cynfolji, naklejanej a nawet dociskanej gumą, oraz elektrod metalizowanych z podaniem ścisłych wskazówek, dla jakich materiałów i badań dozwala się je stosować. Naogół jednak należy stworzyć i jak najszerszej stosować normalne elektrody rtęciowe.

Poza wyżej opisanymi istnieją jeszcze inne sposoby wykonania elektrod, lecz wszystkie one są kosztowne, wymagają specjalnych urządzeń i, co najważniejsze, nie dają gwarancji, że przy ich wykonywaniu własności izolacyjne materiału nie ulegną poważnym zmianom, szczególnie jeżeli chodzi o badanie takich zjawisk, jak wpływy wilgotności.

Następnym a też bardzo ważnym czynnikiem jest właściwe wykonanie pierścieni ochronnych. Zadaniem ich jest stworzenie jednostajnego pola prądowego w całym obszarze pomiarowym i odprowadzenie prądów powierzchniowych i brzegowych poza galwanometr. Idealny rozkład pola przy zastosowaniu pierścienia ochronnego przedstawia rys. 5a. Osiąga się to przez zastosowanie odpowiednio cienkiego paska izolacyjnego pomiędzy elektrodą a pierścieniem i odpowiedniej szerokości tego ostatniego.

Naogół prąd, idący przez galwanometr, rośnie wraz z szerokością paska izolacyjnego. Tłómaczy to rys. 5b, na którym przedstawiono rozkład pola przy zastosowaniu szerokiego paska. Celowe zatem jest zmniejszenie szerokości jego do minimum praktycznie wykonalnego, a więc zgodne z przepisami niemieckimi do 1 mm. Przy elektrodach rtęciowych nie da się to skutecznie, wówczas można osiągnąć 2—3 mm. W każdym bądź razie przepisy angielskie, ustalające szerokość na 10 mm, dopuszczają zbyt znaczny uchyb.

Duży wpływ ma też szerokość pierścienia ochronnego. Prąd, idący przez galwanometr, zwiększa się ze zmniejszeniem jej. Tłómaczy to rys. 5c, na którym uwidoczniono rozkład pola przy zastosowaniu pierścienia zbyt wąskiego. Wymaganiem przepisów niemieckich, aby pierścień ochronny miał szerokość przynajmniej dwukrotnie większą od grubości płytki, należałoby jeszcze obostrzyć, żądając szerokości trzykrotnie większej od grubości i minimum 5 mm. Dopiero przy zastosowaniu takich szerokości nie udało się doświadczalnie stwierdzić dalszego zmniejszania się prądu, płynącego przez galwanometr.

Wymagań co do szerokości pierścienia ochronnego i paska izolacyjnego można zbyt nie obostrzać przy próbach odbiorczych, ponieważ ewentualny uchyb pozornie mniejsza cporność badana, a więc próba odbędzie się w warunkach bardziej ostrych.

Wymiary próbek przy tych pomiarach roli wybitnej nie odgrywają. Próbka większa a cieńsza pozwala na otrzymanie większych prądów, a więc ułatwia pomiary i zwiększa dokładność. Przy próbce cieńszej łatwiej także otrzymać pole

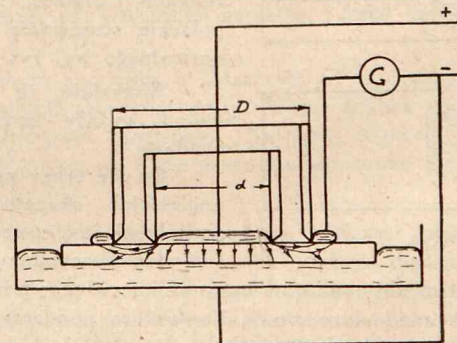
jednostajne. Natomiast wymiary próbki mają ogromne znaczenie przy pomiarach strat dielektrycznych i dla badań nad wytrzymałością elektryczną. Dlatego tu kwestję wymiarów próbek pozostawiamy otwartą, ponieważ jest rzeczą ze wszechmiar pożądaną, aby dla wszelkich prób materiałów izolacyjnych ustalić tę samą próbkę co do kształtu i wymiarów.

Przy zastosowaniu właściwych elektrod i pierścienia ochronnego metoda posiada dużą dokładność, mianowicie przy wykonaniu kilku pomiarów uchyb całkowity nie przekracza 4%, przy jednym pomiarze uchyb prawdopodobny nie będzie większy, niż 7 — 8%. Dokładność taka aż nadto wystarcza dla pomiarów technicznych, a nawet jest dopuszczalną przy pomiarach laboratoryjnych i porównawczych.

Po opracowaniu metody wykonano w Laboratorium Miern. Elektr. i Wys. Nap. szereg badań nad oporem dielektryków, zależnością jego od temperatury, czasu i napięcia. Badano zjawiska histerezy dielektrycznej. Otrzymane wyniki potwierdzają wyżej wypowiedziane uwagi o tych zjawiskach i zgodne są z badaniami laboratorjów zagranicznych.

5. Pomiar oporności powierzchniowej.

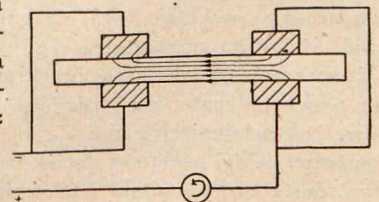
Obce przepisy, dotyczące badania oporności powierzchniowej, bardzo się od siebie różnią. Wynika to stąd, że pomiar samej tylko oporności powierzchniowej jest niemożliwy — zawsze w mniejszym lub większym stopniu prąd będzie przepływał przez masę dielektryka. Do możliwie najlepszego wyeliminowania względnie ustalania tego prądu, dążą przepisy różnymi drogami.



Rys. 6.

Przepisy angielskie każą wykonywać pomiar przy pomocy urządzenia, stosowanego do badania oporu skośnego, włączając jedynie galwanometr do innej gałęzi. Schemat pomiaru oraz rozkład pola jest uwidoczniony na rys. 6. Elektrode dolną można nazwać w tym wypadku ochroną, ona odprowadza prąd skośny i zmniejsza prądy przez masę dielektryka przy przejściu od elektrody środkowej do współśrodkowego pierścienia. Analogiczny pomiar jest przepisany dla rur. Wówczas elektrodę ochronną stanowi rtęć, wypełniająca wnętrze. Zewnętrzną okładzinę i pierścień wykonuje się z cynfolji. Dla materiałów bardzo twardych przewidziany jest pomiar na próbkach kształtu specjalnego. Wzór dla obliczenia oporności powierzchniowej dla płyt ma kształt:

$$\sigma = \frac{2\pi R}{\log_e \frac{D}{d}} \Omega$$

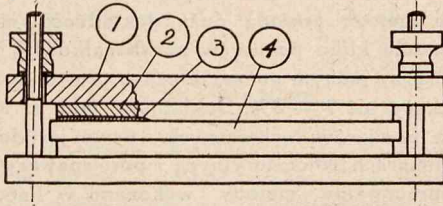


Rys. 7.

Przepisy francuskie wyszły z założenia zupełnie innego i przepisują pomiar łączny oporności powierzchniowej i przez masę w myśl schematu 7. Mamy tam i rozkład pola. Po wy-

konaniu pomiaru można ściśle obliczyć oporność powierzchniową, jeśli znamy oporność właściwą dielektryka. Są one połączone równolegle.

Przepisy niemieckie zajęły stanowisko ściśle praktyczne: oporność powierzchniowa sama przez się nigdzie nie występuje, zawsze częściowo łączy się z opornością wewnętrzną materiału. Niema zatem potrzeby tak bardzo starać się o



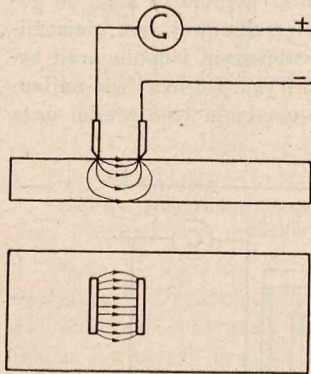
Rys. 8.
1—metal, 2—guma, 3—cynfolja, 4—próbka.

zupełne wyodrębnienie prądu powierzchniowego. Przeciwnie, zbliżymy się do warunków rzeczywistych, jeżeli nie będziemy rugować prądów wewnętrznych. Przewodność powierzchniowa przytem będzie niejako zwiększona, czyli próba odbędzie się w warunkach bardziej ostrych. Poleca się zatem

stosowanie elektrod nożowych wg. rys. 9. Chociaż nie chodzi tu o wielkość fizyczną, ważną jednak jest rzeczą, by pomiar odbywał się zawsze w tych samych warunkach, dlatego przepisy polecają stosowanie aparatu normalnego wg. rys. 10.

Wszystkie te rodzaje metod zostały szczegółowo zbadane.

Co się tyczy przepisów angielskich, okazało się, że aczkolwiek jest rzeczą bardzo wygodną stosowanie tych samych



Rys. 9.

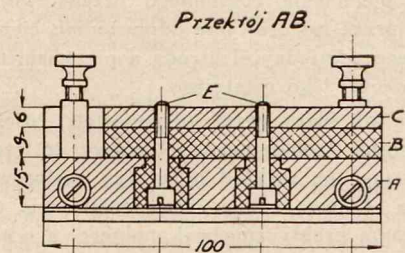
mych elektrod do pomiarów oporności skrośnej i powierzchniowej, jest to jednak ze szkodą dla ściśłości pomiarów pierwszej. Mianowicie odstęp 10 mm pomiędzy pierścieniem ochronnym i elektrodą środkową jest zbyt duży, uchyb przytem może już być poważny. Stosowanie zaś pomocniczej dolnej elektrody ochronnej dla dobrych izolatorów nie ma prawie wpływu, natomiast przy złych prąd przy jej zastosowaniu spada, przez to izolator wydaje się lepszym, niż jest w rzeczywistości.

Pomiar elektrodami francuskimi posiada zasadniczą wadę w przyciskaniu elektrod śrubami (rys. 8), a więc wprowadza czynnik indywidualny. Pojęcia: „mocno”, „słabo” dociśnięte elektrody są bardzo rozciągliwe, z dociskiem zaś wartość prądu ogromnie się zmienia. Wpływają tu trzy czynniki. Po pierwsze przez dociskanie polepsza się kontakt elektroda — materiał. Po drugie zmniejsza się odległość między elektrodami wskutek tego, że guma, dociskająca cynfolję, pod ciśnieniem zniekształca się i występuje z pod elektrod. Jednocześnie zwiększa się przekrój drogi dla przejścia prądu wewnątrz materiału i zmniejsza się jej długość. Niemożliwe jest ustalenie (na oko — bo tu tylko taką ocenę mieć możemy), jakiej wielkości docisk trzeba stosować, aby otrzymać dostateczny kontakt i nie zniekształcić przy tem elektrod. Przy materiałach miękkich obawiać się ponadto trzeba zniekształcenia samego dielektryka badanego.

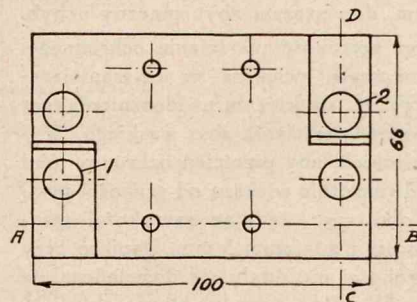
Opisany wpływ docisku ma duże znaczenie. Wahania prądu w zależności od docisku przy materiałach twardych dochodzą do 100%, a pomimo największego nawet możliwego

docisku śrubami nie dochodzimy do zupełnie dobrego kontaktu elektroda — materiał. Świadczą o tem pomiary porównawcze, wykonane na tej samej płytce elektrodami francuskimi, ustawionemi raz wprost na materiale, drugi zaś na naklejonych uprzednio listkach cynfolji, dokładnie odpowiadających wielkości elektrod. Pozbywamy się w drugim przypadku wpływu docisku i otrzymujemy wartości blisko o 30% większe. Niestety, środki lepsze trzeba wykluczyć z tego pomiaru, gdyż nakleić elektrody, nie zanieczyszczając powierzchni w mniejszym lub większym stopniu, bardzo trudno, przez co oporność powierzchniowa może bardzo się zmienić. Pozatem elektrody francuskie są o tyle niewygodne, że wymagają stosowania próbek ściśle określonych wymiarów, mianowicie takich, aby się zmieściły między śrubami, ściągającymi elektrody.

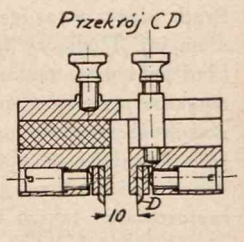
Najbardziej wygodne w zastosowaniu praktycznym są elektrody niemieckie. Ponieważ dużą rolę, jak widzieliśmy, odgrywa przy tym pomiarze docisk, a niewątpliwie także wymiary elektrod, został zbudowany aparat normalny, przedstawiony na rys. 10. Składa się on z dwóch elektrod nożowych (D), wykonanych z gumy, owiniętej w cieką cynfolję. Elektrody te są umocowane w płytach mosiężnych (A), te zaś z kolei związane są trwale z taką górną płytą (C) w ten sposób, aby odstęp elektrod nożowych wynosił 10 mm. Płyty A i C są oddzielone zapomocą wysokowartościowej izolacji ebonitowej (B). Płyty B i C mają wycięcia takie, aby można było się dołączyć do kontaktów 1 i 2 płyt A i doprowadzić w ten sposób napięcie do elektrod nożowych. Śruby E, służące do zmontowania całego aparatu, są dokładnie izolowane ebonitem od płyty A, a więc i od elektrod nożowych. Długość elektrod nożowych jest znormalizowana i wynosi 100 mm. Ważne to jest ze względu na prądy po brzegach (rys. 9), które przy znormalizowanej długości elektrod



Rys. 10a.



Rys. 10b.



Rys. 10c.

choć powiększą pozornie przewodność powierzchniową, lecz zawsze w tym samym stosunku. Docisk przez znormalizowanie wszystkich wymiarów przyrządu, a przez to i jego wagi, jest stały i dostatecznie duży, by stworzyć dobry kontakt. Dalsze przyciskanie wypacza już gumowe elektrody i zmienia szerokość powierzchni pomiarowej.

Wielkość próbki niema większego znaczenia, byleby tylko elektrody na niej się mieściły i odstępy po brzegach

nie były zbyt małe (prądy brzegowe). Pomiaru można będzie zatem wykonać na próbkach, przeznaczonych do innych pomiarów.

Zaletami elektrod nożowych są: 1) Łatwe ustawienie, sprowadzające się do umieszczenia przyrządu na próbce, a więc możliwość wykonania łatwego wielu pomiarów w różnych miejscach próbki, co jest bardzo ważne ze względu na duży uchyb przypadkowy, spowodowany wielką zmiennością przewodności powierzchniowej nawet na powierzchni tej samej próbki. 2) Jednoznaczność pomiarów, spowodowana tem, że aparat pomiarowy jest ściśle znormalizowany. Stąd możliwość porównywania poszczególnych dielektryków z dokładnością, zupełnie wystarczającą dla praktyki. Odstęp elektrod może być raz nazawsze ustalony w przyrządzie, ze znacznie większą ścisłością, niż to ma miejsce np. przy elektrodach francuskich, które przy każdym pomiarze ustawia się nowo. Powyższe względy dają tej metodzie wybitną przewagę nad innymi.

Ujemną jej stroną jest konieczność posiadania próbek płaskich i to możliwie gładkich ze względu na otrzymanie dobrego kontaktu. Dlatego dla próbek nierównych lub kształtowanych elektrody te nie nadają się.

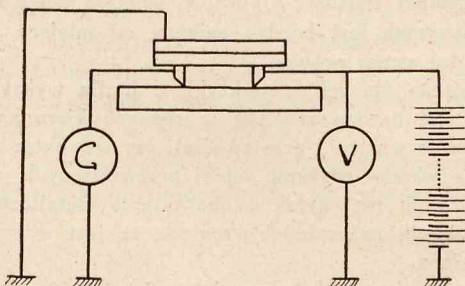
Oczywiście wartość zmierzona oporności powierzchniowej odbiegać będzie w pewnych granicach od rzeczywistości. Otrzymamy pewną umowną tylko wielkość, na którą złożą się: przewodność powierzchniowa, przewodność przez wnętrze i po brzegach. Mimo to będzie ona ważnym miernikiem własności badanego materiału i to właśnie tej, z jaką spotykamy się w praktyce przy przejściu prądu po „powierzchni” izolatora.

Układ pomiarowy najlepiej ustalić wg. rys. 11, czyli korzystać ze wszystkich urządzeń pomiarowych oporności skośnej. Materiał badany układa się na dobrym izolatorze, np. ebonicie. Na powierzchni jego ustawia się elektrody nożowe, których górna metalowa płyta (C) jest uziemiona. Czynimy tak, aby wyeliminować z pomiaru prąd, płynący od jednej elektrody nożowej do drugiej przez ebonit, który je łączy. Pomimo bowiem zastosowania tak dobrego izolatora jak ebonit, ten prąd jest dość duży (znaczące powierzchnie styku). Oczywiście wpływ ten będzie tem znaczniejszy, im oporność badana będzie większa. Przy bardzo dobrych izolatorach prąd ten może nawet przeważać.

Po odczytaniu prądu na galwanometrze wyznaczamy oporność właściwą powierzchniową z wzoru:

$$\sigma = \frac{U \cdot l}{I \cdot a} \Omega,$$

gdzie: σ — oporność właściwa, t. j. oporność powierzchni kwadratu o boku 1 cm, U — napięcie probiercze w woltach,



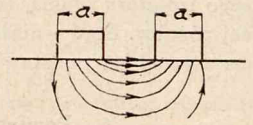
Rys. 11.

I — prąd w amperach, l — długość elektrod w cm, a — odstęp elektrod w cm. Ponieważ w przyrządzie normalnym: $l = 10$ cm, $a = 1$ cm, wzór się upraszcza:

$$\sigma = \frac{10 U}{I} \Omega,$$

Jak to już było zaznaczone, oporność zmienia się znacznie, zależnie od miejsca na powierzchni badanej. Należy przeto wyznaczać średnią oporność powierzchniową, wykonując kilka pomiarów w różnych miejscach próbki.

Oporność powierzchniowa zależy jeszcze bardziej od wpływów postronnych, niż skośna. Np. mniejsze lub większe naświetlenie powierzchni odgrywa już rolę. Wilgotność powietrza może zmienić oporność o kilka rzędów wielkości, ponieważ przewodność powierzchniowa w większej części polega właśnie na higroskopijności warstwy powierzchniowej. Dlatego też w technice przeważnie nie chodzi o wyznaczenie ścisłej wartości, lecz o rząd wielkości w danych warunkach lub o zmiany rzędu ze zmianą warunków. Metoda powyższa do tego celu wystarcza w zupełności. Niema też potrzeby wykonywania zbyt wielkiej liczby pomiarów, można ograniczyć się do 5.



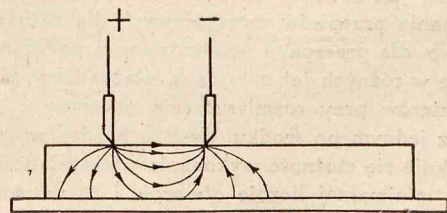
Rys. 12.

Wpływ czasu pomiaru jest bardzo różny. Dla niektórych ciał prąd ustala się niemal natychmiast, dla innych — po kilku a nawet kilkunastu minutach. Znaczną rolę odgrywa tu natężenie prądu: duże prądy mogą rozgrzać i osuszyć powierzchnię, co nie ma miejsca przy prądach małych. W każdym bądź razie wydaje się słuszne, aby prowadzić pomiar jak dla oporności skośnej w ciągu 10 względnie 30 minut. Gdy pomiar odbywa się po uprzednim przygotowaniu próbki przez moczenie, ważna jest wartość, otrzymana natychmiast po włączeniu napięcia. Mieć ją będziemy z krzywej $\sigma = f(t)$.

Zmiany oporności w zależności od napięcia probierczego mogą mieć charakter różny. Zawsze jednak oporność maleje z rosnącym napięciem. Najlepiej napięcie probiercze ustalić to samo, co i dla pomiarów oporności skośnej, t. j. 1 000 V.

Szczegółowo została zbadana zależność prądu od szerokości a elektrody (rys. 12). Jak już było zaznaczone, prąd przechodzi przy pomiarze nie tylko po powierzchni, ale także i przez wewnętrzne materiały. Ten ostatni zwiększa się z rosnącą szerokością elektrody, dążąc do pewnej wartości ustalonej. Badania doświadczalne w zupełności to potwierdzają. Na płytkach cienkich zależność ta nie występuje tak jaskrawo, jak na grubych, ponieważ wówczas prąd już przy bardzo małych wartościach a niejako wypełnia cały przekrój płytki. Im płytka jest cieńsza, tem wcześniej zjawia się ustalenie prądu, tem prędzej szerokość a przestaje odgrywać rolę. Przy tych badaniach jako elektrody płytkowe stosowano cynfolję naklejaną. Na tych dopiero listkach cynfolji ustawiano zwykle elektrody nożowe.

Powyższe świadczy, że elektrody nożowe o wymiarze



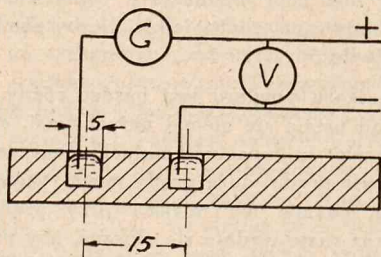
Rys. 13.

a , sprowadzonym do minimum wykonalnego, a zapewniającym jedynie dokładny kontakt z dielektrykiem na całej swej długości, dają wyniki najbardziej zbliżone do pomiaru samej tylko oporności powierzchniowej, ograniczając prąd przez masę do minimum.

Zbadano też wpływ podstawy pod próbkę. Porównano wartość prądu przy stosowaniu jako podstawy metali i izolatorów. Okazało się, że przy próbkach grubych wpływ jest nieznaczny, dla płyt cienkich różnice rosną. Tłomaczy to rys. 13, gdzie przedstawiony został rozkład pola przy zastosowaniu płyty metalowej jako podstawy. Rodzaj podkładowego izolatora (guma, izonit, ebonit) nie daje żadnej uchwytnej różnicy. Stąd wniosek, że przy pomiarach należy próbkę umieszczać na podstawie izolacyjnej.

6. Pomiar oporności wewnętrznej.

Oporność wewnętrzna jest wielkością ściśle umowną i charakteryzuje przepływ prądu we wnętrzu dielektryka. Aby więc otrzymane wielkości można było porównywać, trzeba ściśle określić wielkość i odstęp elektrod oraz ich kształt.



Rys. 14.

Poszczególne przepisy obce zgadzają się co do tego w zupełności.

Niemcy przyjęły dwie metody: wtyczkową i rtęciową. Według pierwszej osadza się w dwóch wywierconych w materiale otworach, ślepych i lekkostożkowych wtyczki metalowe, jakich używa się np. przy opornikach wtyczkowych, o średnicy 5 mm dla próbek w kształcie płyt i 2 mm dla prętów lub rur. Odstęp osi otworów wynosi 15 mm. Druga metoda różni się tylko tem, że zamiast stworzenia kontaktu przez dobrze dociśniętą wtyczkę otrzymujemy go przy pomocy rtęci, wypełniającej otwory. Odstęp środków otworów wynosi jak wyżej 15 mm, średnica 5 mm. Głębokość otworu wynosi około 2/3 grubości płytki, maksimum jednak 10 mm. Napięcia probiercze ustalono aż trzy: 110, 220 i 1 000 V prądu stałego. Czas pomiaru 20 lub 60 sek po przyłożeniu napięcia.

Anglicy stosują jedynie metodę rtęciową, zachowując te same wymiary elektrod. Nie ograniczają głębokości otworu, natomiast wymagają podania w protokole pomiaru grubości płytki. Napięcie probiercze wynosi 500 V. Oporność mierzy się w ciągu 10 minut. Wyznacza się krzywą zależności oporności od czasu.

Liczby pomiarów w przepisach ogólnych niemieckich nie podano, jak również kierunku osi otworów. Zostawiono to do uznania przepisów szczegółowych dla różnych dielektryków. Np. dla preszpanu przewidziano 5 pomiarów na jednej płycie w różnych jej miejscach, dla kamieni naturalnych — 6 pomiarów przy rozmieszczeniu otworów w sześciokąt foremny z jednym po środku. Jest to bardzo wygodny sposób: uzyskuje się możliwość wykonania większej liczby pomiarów przy minimalnej liczbie otworów i to w różnych kierunkach. Jedną elektrodę stanowi otwór po środku, drugą — po kolei każdy położony na obwodzie. Przepisy angielskie, nie podając liczby pomiarów, przewidują jedynie kierunek osi otworów, a więc równoległy do uwarstwienia materiału (oporność właściwa zwykle jest mierzona prostopadle do warstw).

Zbadano obie metody: wtyczkową i rtęciową. Sam pomiar uskuteczniano metodą techniczną (rys. 14), zapomocą

galwanometru. Napięcie probiercze przyjęto 1 000 V. Wymiary elektrod i ich ukształtowanie przyjęto bez zmian według przepisów niemieckich. W wyniku badań nasunęły się następujące uwagi.

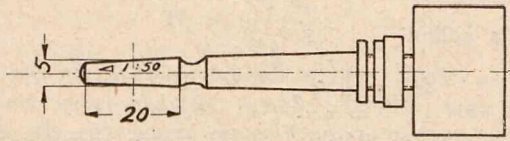
Elektrody rtęciowe niewątpliwie dają lepszy styk od wtyczkowych. Szczególnie wyraźnie da się to odczuć przy materiałach twardych. Np. pomiary, wykonane na izonicie (wyrób fabryki Szpotańskiego), dały wartości prądu dwukrotnie większe przy użyciu elektrod rtęciowych, niż dla elektrod wtyczkowych. Jednakże są przypadki, gdzie elektrody rtęciowe stosowane być nie mogą. Zachodzi to po pierwsze przy badaniu materiałów bardzo elastycznych, np. gumy. Wówczas nie da się otrzymać należyście wykonanego otworu dla napełnienia go rtęcią. Elastyczne brzegi rozprężają się, zakrywając otwór i zmieniając odległości. Po drugie — dla materiałów, wykonywanych jako cienkie płyty (np. preszpan), niema mowy o pomiarach rtęcią, jeżeli grubość płyty wynosi np. 1 mm. Natomiast elektrody wtyczkowe w pierwszym przypadku wypierają elastyczne brzegi z otworu i właśnie dzięki sprężystości materiału otrzymują dobry kontakt. W drugim przypadku można wywiercić w płycie otwory na wylot i w nich osadzić wtyczki. Elektrodom wtyczkowym w celu łatwiejszego osadzania nadaje się kształt stożkowy.

Z dokładnością pomiaru jest tu jeszcze gorzej, niż przy oporności powierzchniowej. Składają się na to: 1) Nieokreślona bliżej głębokość otworu, która w myśl przepisów obcych wynosi około 2/3 grubości płytki. Takie określenie jest dobre ze względu na to, że badany wówczas prąd rzeczywiście jest we „wnętrzu”, w samym środku próbki. Lecz to ujemnie wpływa na jednoznaczność pomiarów: prąd niewątpliwie zależy od powierzchni styku i od przekroju drogi jego w dielektryku, a te wraz z głębokością otworu rosną. 2) Przy elektrodach rtęciowych oporność mierzona zależy od wypełnienia otworu rtęcią; przy zmianach wysokości rtęci w otworach zmienia się prąd mierzony i to znacznie. Przyczyny są oczywiste, a doświadczenie całkowicie to potwierdza. Stanowi to również sprawdzian doświadczalny wpływu głębokości otworu. Zalecić tu można napełnianie otworów prawie do pełna, t. j. około 1 mm od górnego brzegu. 3) Przy elektrodach wtyczkowych duży uchyb powstaje skutkiem niezbyt dobrego kontaktu. Najlepszym dowodem jest fakt, że na tej samej parze otworów otrzymuje się różne wyniki po każdym pokręceniu wtyczki, po jej wyjęciu i ponownym osadzeniu. 4) Wywiercenie dokładne otworów w materiałach izolacyjnych jest naogół bardzo utrudnione, przy obróbce łatwo doznają one uszkodzeń, kruszą się. Dlatego też duży uchyb kryje się w niedokładnych wymiarach elektrod i ich odstępu. 5) Wreszcie i tu pomiar sprowadza się do wyznaczenia pewnej średniej wartości. Oporność wnętrza wielu materiałów izolacyjnych jest bardzo zależna od miejsca pomiaru nawet w tej samej próbce.

Jednakże dla celów praktyki, t. j. dla wykrycia, czy oporność jest bardzo zmienna w różnych kierunkach (np. równoległe do warstw i prostopadle), czy wewnątrz materiałów niema warstw znacznie lepiej przewodzących od powierzchniowych (np. żyłek o charakterze metalicznym wewnątrz kamieni naturalnych), metoda ta jest w zupełności wystarczająca.

Czas pomiaru należy przyjąć najwyżej 10 min, ponieważ oporność wewnętrzna nie powinna w swoim charakterze odbiegać od oporności skrośnej, a dla tej ostatniej stwierdziłmy znaczną zależność od czasu pomiaru. Z drugiej strony dokładności pomiaru jest niewielka — chodzi jedynie o rząd wielkości, wyznaczanie zatem krzywej $R = f(t)$ nie przedstawia wielkiej wartości. Stąd właściwy będzie pomiar po upływie 10, a nawet 5 minut.

Średnicę wtyczki dla rur i prętów należy brać mniejszą, gdyż trudniej tu jest wiercić szerokie otwory. W protokole należy podać wielkość wtyczki.



Rys. 15.

7. Wnioski przepisowe.

W wyniku badań można zaproponować następujące przepisy pomiarów oporności materiałów izolacyjnych stałych.

„1. Dla pomiarów oporności właściwej materiałów izolacyjnych stałych należy używać próbek i elektrod o wymiarach takich samych, jak do pomiarów strat dielektrycznych. Próbie tej mogą być poddawane także wyroby gotowe (rury, pręty i t. d.).

Elektrody muszą posiadać dokładny kontakt z badanym dielektrykiem całą swoją powierzchnią. Dopuszcza się elektrody z cynfolji, naklejane przy pomocy oleju parafinowego lub przyciskane za pośrednictwem warstwy gumowej, elektrody metalizowane, wodne i rtęciowe. Zaleca się stosowanie normalnych elektrod rtęciowych według rysunku.

Pomiary wykonywa się metodą techniczną przy napięciu probierczym 1 000 V prądu stałego o uziemionym od strony galwanometru biegunie w ciągu 10 min. od chwili włączenia napięcia co 1 min. Podać należy krzywą zależności: $R = f(t)$. Wrazie gdyby w tym czasie wartość prądu nie ustaliła się praktycznie, należy pomiar przedłużyć do 30 min. Prąd należy mierzyć galwanometrem przy uziemionym pierścieniu ochronnym. Szerokość paska izolacyjnego winna wynosić 1 mm, dla wyrobów zaś ceramicznych i elektrod ciekłych ma być tak mała, jak na to pozwala wykonanie, nie większa jednak od 5 mm. Szerokość pierścienia ochronnych winna wynosić trzykrotną grubość płytki, nie mniej jednak, niż 5 mm.

Należy dbać o właściwą izolację urządzenia pomiarowego, względnie umieścić przewód od próbki do galwanometru w wężu uziemionym. Galwanometr, dobrze izolowany, należy umieścić na podstawie uziemionej.

Z oporności zmierzonej oblicza się oporność właściwą ze wzoru:

$$\rho = \frac{R \cdot s}{a} \Omega \text{ cm};$$

gdzie: R — oporność pomierzona w Ω , s — powierzchnia elektrody w cm^2 (przy próbce o kształcie specjalnym — średnia powierzchnia przejścia prądu), a — grubość płytki w cm (przy próbce o kształcie specjalnym — średnia długość drogi prądu w dielektryku).

2. Oporność powierzchniową mierzy się zapomocą elektrod nożowych, ukształtowanych jako przyrząd normalny

(rysunek). W szczególności odstęp między elektrodami wynosi 1 cm, długość ich jest równa 10 cm.

Pomiar odbywa się metodą techniczną przy pomocy czułego galwanometru. Napięcie probiercze — 1 000 V prądu stałego. Biegun od strony galwanometru jest uziemiony. Górna płyta przyrządu również musi być uziemiona.

Próbki muszą posiadać kształt płyt o gładkiej powierzchni. Wymiary — te same, co i dla pomiarów strat dielektrycznych. Ustawia się je na podstawie izolacyjnej.

Pomiar należy wykonywać w ciągu 10 min., mierząc prąd co 1 min. i wyznaczając krzywą zależności: $\sigma = f(t)$ z wzoru:

$$\sigma = \frac{10 U}{I} \Omega,$$

gdzie: U — napięcie w voltach, I — prąd w amperach. Wrazie nieustalenia się prądu pomiar należy przedłużyć do 30 min.

3. Oporność wewnętrzną należy mierzyć pomiędzy 2 elektrodami metodą techniczną. Napięcie probiercze wynosi 1 000 V prądu stałego. Czas pomiaru — 10 min. od chwili włączenia napięcia. Próbki — dowolnego kształtu. Elektrody stosuje się dwojakiego rodzaju:

a) Elektrody wtyczkowe. Nadają się do materiałów miękkich, elastycznych, dla płyt cienkich. Osadza się dwie wtyczki lekkostożkowe, ukształtowane według rysunku (rys. 15) w odpowiednich otworach, wywierconych w badanym materiale przy odstępnie osi, równym 15 mm. Średnica wtyczki dla płyt wynosi 5 mm, dla rur i prętów — 2 mm.

b) Elektrody rtęciowe. Nadają się szczególnie dla materiałów twardych. Wierci się w materiale przy odstępnie osi równym 15 mm dwa otwory o średnicy 5 mm. Głębokość otworów powinna wynosić około $\frac{2}{3}$ grubości płytki, nie więcej jednak, niż 10 mm. Otwory wypełnia się rtęcią w ten sposób, by nie sięgała brzożo o 1 mm.

W protokole należy podać rodzaj zastosowanych elektrod.

Wszelkie kwestje, nieomówione w powyższym projekcie przepisów pomiaru oporności, należy ująć w przepisach szczegółowych dla każdego rodzaju materiału izolacyjnego, w szczególności: jakim próbom ma być poddany, ilość próbek i pomiarów, przygotowanie próbki, temperatura badania i t. d.

Wykaz literatury.

1. Electrical Insulating Materials. Monkhouse. London — 1926.
2. Measurement of Insulating Materials. Bureau of Standards. Washington — 1923.
3. VDE — Vorschriftenbuch. 1933.
4. Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. H. Schering. Berlin — 1927.
5. Ueber Elektroden für die Zwecke der Prüfung fester Isolierstoffe. G. Pfestorf. ETZ — 1930. S. 275.
6. Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik. W. Demuth. Berlin 1928.

BADANIE IZOLATORÓW LINJOWYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Inż. J. I. Skowroński.

Streszczenie. Autor omawia krytycznie niektóre wymagania przepisów na izolatory niskiego napięcia prądu silnego i słabego, opierając się na badaniach własnych, przeprowadzonych w Lab. Wysokich Napięć Pol. Warsz., oraz na rozważeniu czynników, jakim podlega izolator przy wyrobie i w czasie pracy.

WYMAGANIA ELEKTRYCZNE.

1. Uwagi wstępne.

Wymagania elektryczne w stosunku do izolatorów niskiego napięcia prądu silnego nie są wygórowane: wytrzymałość elektryczna jest z dużym zapasem pokryta przez wymagania mechaniczne, a upływność izolatorów praktycznie nie gra roli nawet w rozległych sieciach, zwłaszcza jeżeli izolatory nie pokrywają się trwale osadami przewodzącymi. Dlatego też dobrą pracę izolatorów tych zapewnia pewna minimalna droga upływu, osłonięta od opadów atmosferycznych, i kształt, zapewniający łatwe samoczyszczenie się pod wpływem deszczu i wiatru. Próby elektryczne pospółowe, jakim zaleca się poddawać pewien procent tych izolatorów (PNE-32), mają na celu wykrycie ewentualnych grubszych usterek wewnątrz masy, których nie można wykryć przez oględziny.

Inaczej się rzecz ma z izolatorami teletechnicznymi. Tutaj, wobec niewielkiej energii przesyłanej, znaczenie upływności linii jest ogromne. Toteż na izolacyjność tych izolatorów musi być zwrócona wielka uwaga zarówno przy projektowaniu, jak próbie typu, czy próbie wyrobu izolatorów.

O jakości izolatora teletechnicznego decyduje znacznie więcej jakość materiału izolacyjnego, niż kształt samego izolatora, na co, niestety, zwraca się dotychczas zbyt małą uwagę we wszelkich przepisach. Prosty rachunek wykazuje, że np. przez powiększenie wszystkich wymiarów izolatora nie zyskuje się na własnościach elektrycznych, nawet przeciwnie, traci się nieco, podczas gdy przewodności różnych mas szklanych — w granicach praktycznych — mogą się różnić kilkasetkrotnie. Jako przykład, rozpatrzmy izolator teletechniczny uproszczony schematycznie. Prze-

oraz dla półkuli

$$R_k = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho}{2\pi r_x l} dr_x = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}$$

Dla płaskiej główki i wnęki można rozpatrywać odpowiednią część izolatora jako stożek ścięty (rys. 2); oporność tej części izolacji wyniesie

$$R_{st} = \frac{2\rho}{\pi} \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{a}$$

Jeżeli założymy, że ρ pozostaje stałe, to przez powiększenie k-krotne izolatora (z zachowaniem stosunku jego wymiarów) oporność skrośna we wszystkich trzech wypadkach, jak się łatwo przekonać, zmaleje k-krotnie, t. j.

$$R_w' = R_w \cdot \frac{1}{k}, \text{ i t. d.}$$

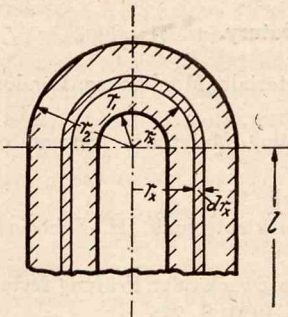
Możnaby dowiedzieć, że dla każdego kształtu obrotowego zachodzi ten sam stosunek.

Z przewodnością powierzchniową rzecz się ma cokolwiek odmiennie. Dla przykładu weźmiemy powierzchnię izolatora teletechnicznego. Można ją z dużym przybliżeniem rozpatrywać jako cztery powierzchnie walcowe o średnicach d_1, d_2, d_3, d_4 i o długościach l_1, l_2, l_3, l_4 . Obrzeża kloszy i dno wnęki dla uproszczenia pomijamy, rozumowanie zresztą dla nich byłoby takie samo. Oporność powierzchniowa izolatora wyrazi się wtedy wzorem

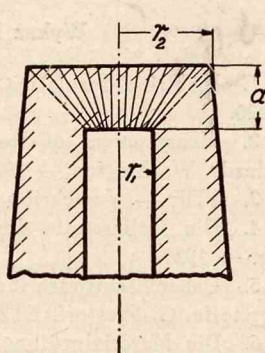
$$R_p = \sum \zeta \frac{l_n}{\pi d_n} \dots \dots \dots (4)$$

gdzie ζ jest opornością powierzchniową jednostkową $\Omega \text{ cm/cm}$

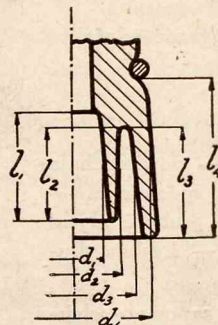
Jeżeli założymy, że ζ pozostaje stałe niezależnie od wymiarów i natężenia pola, co jest słuszne w pewnych granicach, to widzimy tu, że z powiększeniem k-krotnym wszystkich wymiarów izolatora oporność powierzchniowa pozostanie bez zmiany. Zjawisko to zachodzi bez względu na kształt izolatora, o ile bowiem wzrasta długość drogi upływu, o tyleż rośnie jej szerokość — stosunek zaś pozostaje bez zmiany. Zmiana oporności całkowitej izolatora przy k-krotnym wzroście jego wymiarów zależy od stosunku obu oporności częściowych, naogół jednak maleje



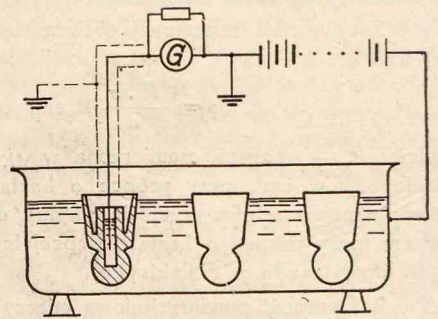
Rys. 1. Schemat izolatora z główką okrągłą.



Rys. 2. Schemat izolatora z główką płaską.



Rys. 3. Przekrój kloszy izolatora teletechnicznego.



Rys. 4. Pomiar izolacyjności według PNT-400 i 404.

wodzenie skrośne zachodzi od walcowego trzona przez główkę do obrzeża przewodzącej (np. mokrej) powierzchni; wnęka ma zakończenie kuliste.

Oporność skrośna dla walca wyniesie:

$$R_w = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho}{2\pi r_x l} dr_x = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{1}{l} \dots \dots (1)$$

(dla $k > 1$). Np. dla $R_p = R_s$, t. j. kiedy oporności powierzchniowa i skrośna małego izolatora są równe sobie, oporność całkowita izolatora k razy większego, jak się łatwo przekonać, będzie mniejsza $\frac{1+k}{2}$ razy i t. d.

Wnioski te naogół potwierdza pomiar. Oczywiście, oporność powierzchniowa „czysta” R_p nie daje się zmierzyć,

natomiast zmierzyć możemy oporność całkowitą R_c i oporność skrośną R_s (metodą niżej wskazaną); oporność powierzchniowa obliczyć się da wtedy jako

$$R_p = \frac{R_c R_s}{R_s - R_c} \dots \dots \dots (5)$$

I tak np. poniższa tabelka zawiera wyniki pomiarów dla dwóch izolatorów tego samego kształtu i tego samego wyrobu, ale różniących się wymiarami.

I z o l a t o r	Średnica wneki		Średnica szyjki	Wyso-kość	Długość wneki	Grubość główki	R_s Oporność skrośna 16° C 10 ⁹ Ω	R_c Oporność całkow. 16° C wilg. 57% 10 ⁹ Ω	R_p Oporność powierz. oblicz. wg. (5) 10 ⁹ Ω
	mm	mm							
	minim.	maks.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
N. I. T. — I. S.	23,5	22	62	136	45	19	426	318	1250
N. I. T. — III. S.	15	14	39	85	31	11	595	406	1280
Stosunek I do III	1,57	1,57	1,58	1,6	1,45	1,72	1 : 1,4	—	0,98 ∞ 1

Tak dalece idącą zgodność z teorią można uzyskać tylko dla izolatorów wykonanych z identycznie tej samej masy, a więc np. przy izolatorach szklanych — dla sztuk, wykonanych nie tylko ze szkła tego samego składu, ale i w tym samym czasie, gdyż nieznaczne zmiany domieszek (np. skutkiem rozpuszczania ścianek pieca lub wanny przez masę szklaną) już dają wyraźne zmiany własności elektrycznych. Dla izolatorów porcelanowych zgodność ta jest trudniejsza do uzyskania, gdyż wchodzi tu w grę kwestja różnic wypalenia mniejszych i większych sztuk izolatorów.

Jak widzimy, bardzo celowe jest poszukiwanie metody, pozwalającej ocenić jakość masy izolatorowej pod względem elektrycznym. Dochodzi tu jeszcze inny wzgląd: odporność na starzenie się wzgl. trwałość izolatorów. Sprawa tą zajmiemy się na innym miejscu.

Pomiar przewodności izolatorów przepisują normy M. P. i T. (PNT-400 i PNT-404, 1931). Według wskazówek tam podanych izolatory wstawia się główką na dół do wody zakwaszonej tak, aby obrzeża wystawały z niej na 2 cm. Obrzeża smaruje się wazeliną na wysokość 1 cm. Oporność mierzy się prądem stałym ok. 200 V met. odchylową pomiędzy wodą nazewnątrz izolatorów, a wodą nalaną do wneki.

Należy stwierdzić, że metoda powyższa nie przedstawia wartości, gdyż nie daje wyników pewnych, odtwarzalnych, ze względu na szereg czynników, zniekształcających pomiar i trudnych do uwzględnienia przy wskazanym wyżej sposobie postępowania. Nie mając zamiaru poddawania krytyce na tem miejscu ujęcia samej metody w przepisach powyższych, zajmiemy się tylko przydatnością wogóle pomiarów tą metodą wykonywanych.

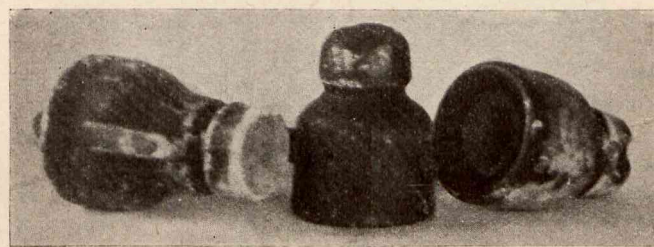
Jak widać (rys. 4) pomiar ma dawać oporność całkowitą izolatora (skrośną i powierzchniową). Skrośna, pominiawszy wielką zmienność z temperaturą — nie zależy od przypadkowych czynników, natomiast powierzchniowa nie posiada praktycznie stałej określonej wartości, aczkolwiek jest ściśle zależna od materiału.

Przewodzenie powierzchniowe odbywa się przez zanieczyszczenia, głównie wilgoć na powierzchni dielektryku, teoretycznie więc nie powinny zależeć od materiału, a tylko od wilgotności otaczającego powietrza. Jednak nie wszystkie materiały posiadają jednakową zdolność przyciągania i zagęszczania (adsorbcji) cząstek pary wodnej na swej powierzchni, toteż warstewka wilgoci różni się bar-

dzo, zależnie od materiału. Dla materiałów tłustych, jak parafina, cerezyna, wosk, kałafonja, lak — adsorbcja jest praktycznie równa zeru, przewodność powierzchniowa zależy tu raczej od powierzchni zanieczyszczeń, które ze swej strony wilgoć mogą pochłaniać. Dla ciał „chudych“ adsorbcja jest przy wilgotności 90% niejednakowa, kwarc lany np. tworzy na swej powierzchni warstewkę wilgoci 3. ÷ 6. 10⁻⁶ mm, przy zanieczyszczonej powierzchni warstewka ta wzrasta znacznie. Na szkłe i porcelanie adsorbcja

jest znacznie większa, rzędu 100. 10⁻⁶ mm, przyczem oczyszczanie niewiele pomaga. Co więcej, przewodność właściwa tej warstewki jest znacznie (ok. 2000 razy) większa niż w przypadku kwarcu. Dzieje się to skutkiem częściowego rozpuszczania się alkalicznych składników szkła w chemicznie czystej wodzie i tworzenia dobrze przewodzącego elektrolitu, co nie zachodzi na kwarcu (1) — (6).

Wilgoć w ten sposób przyciągnięta i niejako unieruchomiona w roztworze na powierzchni szkła (lub szklawa na powierzchni porcelany) bardzo mocno się jej trzyma — trudno wysycha, tworząc powierzchnię przewodzącą. Prócz tego powoduje ona przy swem powstawaniu i znikaniu osiadanie i przystawanie do powierzchni izolatora nalotów kurzu, dymu i t. d., które z biegiem czasu tworzą na starych



Rys. 5.
Izolatory porcelanowe z osadami, bardzo stare; lewy z telegrafu indoeuropejskiego (uzyskane z Dyr. Warsz. P. i T.).

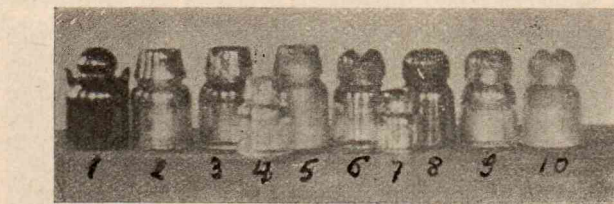
izolatorach „patynę“, zmniejszającą również oporność powierzchniową (rys. 5). Przy zjawisku adsorbcji i rozpuszczania się częściowego szkła w wodzie zachodzi proces wietrzenia powierzchni. Rozpuszczaniu podlegają składniki alkaliczne, które albo spływają z deszczem, albo z dwutlenkiem węgla z atmosfery dają węglany również w rezultacie zmywane przez deszcz. W miarę wietrzenia powierzchnia staje się iryzowaną (opalizuje), a nawet może zupełnie zmatowieć. Samo zmatowienie nie jest szkodliwe elektrycznie, przeciwnie, oporność powierzchniowa wzrasta dzięki wyługowaniu części łatwiej rozpuszczalnych, zmniejszeniu adsorbcji i przez to polepszeniu powierzchni. Jednak matowa powierzchnia ułatwia trzymanie się na niej zanieczyszczeń, utrudnia samoczyszczenie się, czyszczenie sztuczne i schnięcie izolatorów.

Adsorbpcja występuje tem silniej, im bardziej szkło jest rozpuszczalne, a rozpuszczalność, ogólnie biorąc, jest tem większa, im więcej szkło zawiera alkaliów w stosunku do krzemionki (SiO_2) — nie jest więc jednakowa dla wszystkich rodzajów szkła. Ponieważ cecha ta decydującą rolę gra w zachowaniu się izolatorów (przewodność powierzchniowa i starzenie się), powinna być wzięta za podstawę przy ocenie szkieł izolatorowych, czego dotychczas niema w żadnych przepisach. Sprawy tej dla braku miejsca nie możemy tu szerzej omówić.

Warstwa wilgoci, powstająca na powierzchni dielektryku, nie jest zależna tylko od składu ciała i wilgotności otaczającego powietrza wzgl. ciśnienia pary wodnej, lecz prócz tego zależy od zmian, jakie zachodzą w temperaturze i wilgotności powietrza, i od różnicy temperatur pomiędzy dielektrykiem i powietrzem. Zachodzi tu znane zjawisko fizyczne, że ciało, znajdujące się w powietrzu o innej od niego temperaturze, wytwarza przy swej powierzchni stan wilgotności powietrza, odpowiadający temperaturze swej powierzchni. A więc ciała zimniejsze od powietrza — zwiększają wilgotność przy swej powierzchni, cieplejsze — zmniejszają.

Im większa pojemność i przewodność cieplna ciała, tem silniej to zjawisko występuje.

Przykład podany jest na rys. 6, gdzie uwidocznione są typowe zjawiska, jakie mogą zachodzić przy podobnych pomiarach w zimie i w lecie. W pierwszym przypadku A, kiedy np. zimny izolator wniesiony będzie do pracowni,

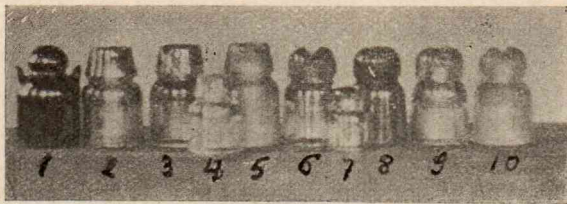


Rys. 6.

Zawartość pary wodnej w powietrzu w funkcji temperatury przy stałym ciśnieniu.

Im większa pojemność i przewodność cieplna ciała, tem silniej to zjawisko występuje.

Przykład podany jest na rys. 6, gdzie uwidocznione są typowe zjawiska, jakie mogą zachodzić przy podobnych pomiarach w zimie i w lecie. W pierwszym przypadku A, kiedy np. zimny izolator wniesiony będzie do pracowni,



Rys. 7.

Wzory badanych izolatorów:

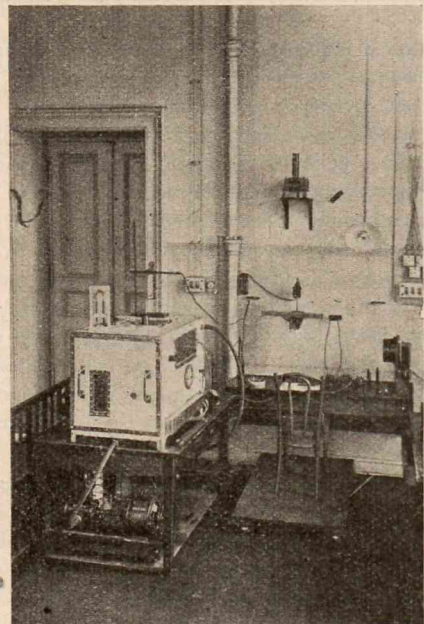
1. Francuski P. T. T.
2. i 4. Stary typ teletechniczny Nr. 1 i Nr. 3, szkło białe,
3. jak 2, szkło półbiałe,
5. jak 3 lecz matowany.
6. i 7. Nowy typ N. I. T. 1 i 3, szkło półbiałe,
8. jak 6, szkło brudne,
9. jak 6, szkło alkaliczne,
10. jak 9, lecz matowy.

w której panuje temperatura ok. 15 C i wilgotność 40%. W drugim przypadku na izolator w pracowni (20° C) powiewa np. przez otwarte okno ciepłe, ale wilgotne powietrze. Ponieważ ilość pary wodnej w powietrzu pozostaje w danym momencie bez zmiany, przy powierzchni izolatora zmieni się nasycenie, to jest wilgotność względna powietrza, która — zależnie od warunków początkowych — może przekroczyć 100%, to jest wilgoć skropi się na powierzchni. W rzeczywistości skroplenie nastąpi nawet wcześniej, ze względu na to, że ciśnienie pary wodnej nasyczonej nad roztworami soli jest mniejsze, a wilgoć, osiadająca na powierzchni izolatora, wytwarza właściwe roztwory. Widzimy, że w naszym przykładzie łatwiejsze jest po-

wstanie rosy w lecie, niż w zimie, kiedy powietrze jest naogół suchsze, zwłaszcza w pokoju.

2. Pomiary metodą M. P. i T.

Wstępne pomiary przewodności izolatorów zostały przeprowadzone metodą M. P. T. W celu uniknięcia wpływów postronnych izolatory wraz z wanną wstawiono do termo-higrostatu. Wilgotność była mierzona higrografem i higrometrem włosowym. Do pomiaru wzięto 16 szt. izolatorów teletechnicznych wielkości Nr. 1, ale różnego pochodzenia i jakości — od wzorowych, do zupełnie złych, specjalnie w tym celu wykonanych przez hutę J. Stolle „Niemen” ze szkła niewygotowanego lub o specjalnym składzie (alkaliczne). Dwa izolatory były uprzednio całkowicie zmatowane na kąpeli fluorowodowej w celu otrzymania izolatorów pseudo-zestarzonych. Część izolatorów miała obrzeża pokryte wazeliną (w myśl przepisów). Kilka sztuk przed wstawieniem do termostatu przebywało na mrozie. Pierwszy pomiar, przeprowadzony po upływie ok. 2-ch godzin od wstawienia izolatorów do wody, przy temperaturze



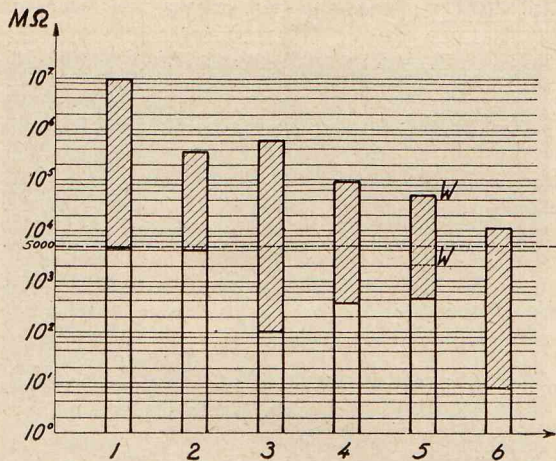
Rys. 8.

Urządzenia pomiarowe.

14° C i wilg. wzgl. 35%, dają wielkie różnice—stosunku 1:1000 dla różnych izolatorów. Najniższe wartości dają oczywiście izolatory ze złego szkła, wstawione z mrozu do termostatu: $1,6 \cdot 10^3 \text{ M}\Omega$. Wazelinowanie obrzeży niezawsze podwyższa wartość oporności: przy niektórych sztukach prawdopodobnie wilgoć na szkło zostaje pokryta wazeliną i nie może wyparować. Izolatory matowane wykazały nieco większą oporność, niż gładkie, czego można było spodziewać się zgodnie z wywodami poprzednimi. Po upływie doby, przyczem w czasie nocy temperatura obniżyła się do 9° C, a wilgotność wzrosła do ok. 45%, rozpiętość pomiędzy wartościami oporności wzrosła. Dla najwyższego gatunku szkła (francuskiego) otrzymano $10^{12} \Omega$ (dokładny pomiar tą metodą niemożliwy), dla szkieł izolatorowych przeciętnych — 200 do 500 tysięcy megonów, dla złych zupełnie 2 do 12 tys. meg. Pozostałe—w granicach 15 do 100 tys. megonów. Matowy z dobrego szkła — utrzymuje swoją nad gładkimi wyższość, natomiast taki sam ze szkła alkalicznego — obniża swą oporność do 1300 $\text{M}\Omega$. Wazelinowanie naogół podwyższa oporność złych izolatorów, a obniża oporność

dobrych, zaciera więc różnice między lepszymi i gorszymi. Poza to, jeżeli woda dotykała przypadkowo części wazelinowanej, galwanometr zachowywał się przy pomiarze niespokojnie, nie ustalając się na jednym wskazaniu.

W przeciągu szeregu dni, nie wyjmując izolatorów z wody, dokonywano pomiarów przy zmianach wilgotności w termostacie od ok. 30 do 100%, przy stałej temperaturze i przy niedużych zmianach temperatury (od 8 do 30° C), przy nieruchomym powietrzu wewnątrz termostatu i przy mieszanem za pomocą wbudowanego w jego ścianę wentylatora, — wreszcie przy przedmuchiwaniu otwartego termostatu wentylatorem, umieszczonym nawewnątrz.



Rys. 9.

Granice oporności całkowitej (zakreskowane) różnych izolatorów szklanych przy temperaturze 16° do 17° C i przy zmianach wilgotności od 33 do 100%.

1. Francuski P. T. T.
2. Teletechniczny, szkło półbiałe (zwykle izolatorowe),
3. j. w. lecz matowany,
4. N. I. T-1, szkło brudne (niewygotowane),
5. N. I. T-1, szkło alkaliczne (W-W—wazelinowany),
6. j. w., lecz matowany.

Wyniki tych pomiarów są w zupełnej zgodzie z rozważaniami podanymi wyżej. A więc: oporność powierzchniowa (gdyż ona tu przeważa) zależy od większej lub mniejszej tendencji pary wodnej do zagęszczania się na powierzchni izolatora, zależy więc nietylko od wilgotności powietrza (wzgl. ciśnienia pary wodnej), ile od stanu samej powierzchni i od kierunku zmian wilgotności i temperatury otoczenia. Izolatory o powierzchni gładkiej, z masy twardej, trudnorozpuszczalnej, ze wzrostem wilgotności wykazują zawsze wartości wyższe od izolatorów matowych, chropowatych oraz wykonanych ze szkła miękkiego, łatwiej rozpuszczalnego; a przytem szybciej od tych ostatnich powracają do pierwotnych wyższych wartości oporności przy spadku wilgotności lub przy przewiewie powietrza.

Jednak rozpiętość wartości uzyskanych w różnych warunkach wilgotności (przy tej samej temperaturze) jest olbrzymia: rzędu 1 : 3000 (p. rys. 9).

Obecność wody wewnątrz i wokół izolatorów zupełnie uniemożliwia dokładny pomiar i określenie jego warunków, gdyż zachodzą lokalne zmiany wilgotności wskutek parowania i przez bezpośrednią adhezję wody wzdłuż powierzchni izolatorów dzięki zjawisku włoskowatości (menisk wklęsły). Zjawisko ostatnie — zwilżanie powierzchni przez wodę z wnętrza i naczyń — odwraca stosunek rzeczywistej oporności powierzchniowej izolatorów małych i dużych. Szybkość zwilżania i wysokość wznoszenia się wody wzdłuż powierzchni nie zależy od wielkości izolatora, a więc dla

izolatorów mniejszych, mających krótszą drogę upływu, wilgoć pełzająca łatwiej i prędzej dokonywa połączenia obu biegunów. Zjawisku temu zawdzięczać należy, że według przepisów PNT-400 i 404 izolatory mniejsze mają mieć mniejszą oporność. W rzeczywistości przy pracy izolatory nie stykają się nigdy z powierzchnią wody, a tylko z kropelkami wody deszczowej, zwilżającymi całą zewnętrzną powierzchnię — jednakowo dla dużych i małych izolatorów.

Nalanie na powierzchnię wody płynu izolującego, np. oleju transformatorowego, pomaga znacznie, ale olej sam zwilża powierzchnię izolatora i przez to oczywiście zniekształca zjawisko przewodzenia powierzchniowego.

Pomiary więc tą metodą — w celach odbiorczych zwłaszcza — dawać muszą wyniki zawodne: izolatory najlepsze mogą się okazać poniżej normy wymaganej, gdy znowu najgorsze w warunkach przeciętnych znacznie ją przewyższają (p. rys. 9). Należy też zauważyć, że metoda ta, aczkolwiek spotyka się jeszcze w niektórych przepisach lub podręcznikach (3), lecz naogół jest zarzucana (6).

3. Pomiary nową metodą.

Z poprzedniego widzimy, że metodą poprzednią nie można uzyskać wyników nawet w przybliżeniu wiarygodnych. W celu umożliwienia dokładnych pomiarów opracowano poniższą metodę (rys. 10). Elektrody stanowi rtęć, dzięki czemu unika się największego źródła błędów metody poprzedniej. Poza to układ podany umożliwia pomiar samej oporności skrośnej izolatorów, a po usunięciu połączenia *a* z ziemią, które odprowadza poza galwanometr prądy upływu powierzchniowego, można dokonać pomiaru oporności całkowitej, skąd ze wzoru (5) da się obliczyć oporność powierzchniową. W ten sposób da się zbadać jakość materiału i jakość typu izolatora.

Zbadano przedewszystkiem szereg czynników, mających wpływ przy pomiarze.

1) *Izolacja galwanometru i przyrządów pomocniczych* (bocznika, wyłączników) oraz dobre osłony od prądów błądzących, mają pierwszorzędne znaczenie zwłaszcza wobec stosowania napięcia wysokiego (1100 V). Wobec pomiarów jednocześnie tylko na jednym izolatorze, a więc niewielkich rozmiarach urządzenia, i nieobecności wody, izolację daje się bez większych trudności uzyskać.

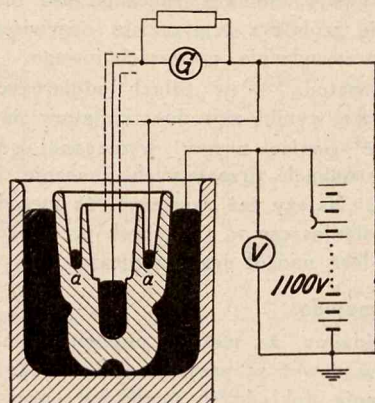
2) *Wpływ czasu*. Ustalanie się prądu skrośnego zależne jest od rzędu oporności właściwej materiału. Dla oporności właściwych większych od 10¹⁶ Ω (kwarc lany, najwyższe gatunki ebonitu) może dochodzić do kilku, nawet do kilkunastu godzin (7). Wobec stosunkowo znacznie mniejszych oporności właściwych czas ten wynosił dla najwyższych oporności do 3, a nawet 5 minut (powyżej 5 minut zmiany były minimalne), dla najgorszych izolatorów (10⁹ Ω) nie przekraczał pół minuty. Przeciętnie wynosił 1,5 ÷ 2 minuty.

3) *Wpływ napięcia*. Najlepsze warunki pomiaru zachodzą przy największych wychyleniach wskaźnika, a więc przy możliwie wysokim napięciu. Wpływ napięcia na wartość uzyskaną sprawdzony był na izolatorach o największej przewodności (rys. 11). Widzimy, że dla danych warunków oporności skrośna i powierzchniowa prawie nie zależą od wysokości napięcia, lekkie pochylenie należy raczej przypisać uchybom pomiaru, bowiem wpływu napięcia na wielkość oporności możnaby się spodziewać dopiero przy znacznie większych naprężeniach.

4) *Osłona od prądów powierzchniowych* w postaci pierścienka rtęci *a* (rys. 10) przy pomiarach oporności całkowitej nie była usuwana; powodowało to pewne zmniejszenie drogi upływu, a więc i oporności powierzchniowej.

Dla oporności całkowitej zmniejszenie to wynosiło parę procent, co mogło być pominięte wobec stosunkowo dużego uchybu granicznego.

5) *Wpływ przypadkowych zmian wilgotności w czasie pomiaru oporności powierzchniowej jest znacznie mniejszy niż przy poprzedniej metodzie, jednak jest bardzo wyraźny, np. oddech obserwatora już w odległości ok. pół metra daje znaczne zmiany; również prądy powietrzne w pokoju powodują uzyskiwanie różnych wy-*



Rys. 10.
Schemat pomiaru
oporności skrośnej izolatora.

ników przy pozornie tej samej wilgotności. Dlatego pomiary przewodności powierzchniowej należy uskutecznić w zamkniętym higroscacie. Daje się zauważyć, że izolatory mniejsze są wrażliwsze na takie wpływy, jak np. na chuchnięcie; podobnie zachowują się izolatory ze szkła gorszego. Na oporność skrośną czynniki te oczywiście wpływu nie mają.

6) *Wpływ temperatury jest ogromny na oba rodzaje oporności. Zależy on również w pewnym stopniu od materiału, dlatego też rozpatrzenie bliższe tej zależności wykracza poza granice artykułu niniejszego. Dla orientacji w charakterze zmienności podajemy przebieg oporności właściwej szkła (złego gatunku) w funkcji temperatury (rys. 12). Widzimy, że w granicach od 15° do 40° C oporność ta zmienia się dziesięciokrotnie, a więc najmniejsze zmiany temperatury odbijają się na wynikach.*

Z powyższego względu *uchyb graniczny* metody jest duży i dochodzić może, zależnie od warunków pomiaru, do $\pm 10\%$.

Wnioski, jakie uzyskano z pomiarów powyższą metodą, można streścić jak następuje:

Daje się zauważyć związek pomiędzy opornością skrośną i powierzchniową: izolatory, mające większą oporność skrośną, mają też naogół większą oporność powierzchniową. Pozwala to ograniczyć się *tylko do badania jednej oporności skrośnej*.

Metoda pomiaru oporności skrośnej uniezależnia badanie od czynników przypadkowych, daje w wyniku jakość użytego materiału, może więc być wykonywana na niewielu sztukach z dużej partji.

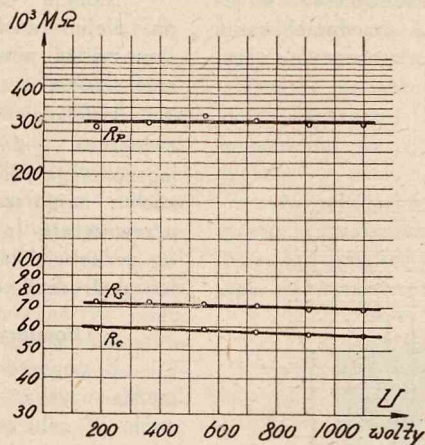
Pozwala ona na większe zwrócenie uwagi na jakość masy izolatorowej, zwłaszcza szklanej, co dotychczas nie było robione, a dzięki czemu izolatory nasze jeszcze pozostawiają dużo do życzenia w porównaniu z obcymi (np. francuskimi).

Należy jednak dodać, że do pomiarów dokładniejszych metoda ta nie może mieć zastosowania. Należy wte-

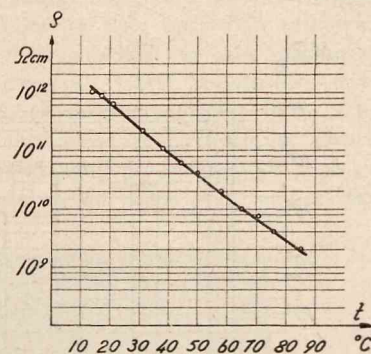
dy uciec się do pomiarów na próbkach masy izolatorowej, specjalnie wykonywanych. Do celów technicznych, np. odbiorczych, jest to jednak zbyt cenne.

PRÓBY MECHANICZNE.

Izolator linjowy stojący pracuje na słupie przelotowym praktycznie tylko pod obciążeniem siłą pionową wagi przewodu, ewent. sadzi. Siły te są stosunkowo niewiel-



Rys. 11.
Oporność izolatora w funkcji napięcia.



Rys. 12.
Wpływ temperatury na oporność
szkła (szkło ostatniej jakości).

kie przy izolatorach niskiego napięcia. Większe i niekorzystniejsze obciążenia występują na słupach odporowych lub narożnych, gdzie istnieje naciąg o przeważającej składowej poziomej. Stąd nasuwa się wniosek, aby izolatory linjowe próbować mechanicznie przy tym właśnie rodzaju obciążenia. I rzeczywiście, przy *próbie typu* izolatorów stojących wysokiego napięcia dokonywa się takiej próby, ale na izolatorach kompletnie zmontowanych na trzonach, jak do pracy na linii. Przy izolatorach niskiego napięcia taka próba — w zasadzie również możliwa i słuszna — nie daje się łatwo przeprowadzić z następujących powodów. Przedewszystkiem, izolatory n. n. są dostarczane i odbierane zwykle bez trzonów, powtórne trzony do tych izolatorów mają wytrzymałość na zginanie znacznie mniejszą niż wytrzymałość izolatora (nawet słabszego), wreszcie, przy próbach na trzonach wzmocnionych decydującą rolę w próbie gra sposób osadzenia izolatora na trzonie. Niewielkie bowiem przekrzywienie się trzona we wnęce lub dotknięcie trzona do wnęki i nacisk bezpośredni na jej powierzchnię powoduje przedwczesne pęknięcie (rozsadzenie izolatora od środka). Próbuje temu zaradzić metoda, zalecona przez przepisy M. P. i T. (PNT-400 i 404 — 1931), według której izolator zamocowuje się w odpowiedniej ramie, np. przy pomocy jakiejś twardej zalewy, i obciąża się siłą, prostopadłą do osi izolatora, zapomocą linki, założonej na szyjkę (rys. 13).

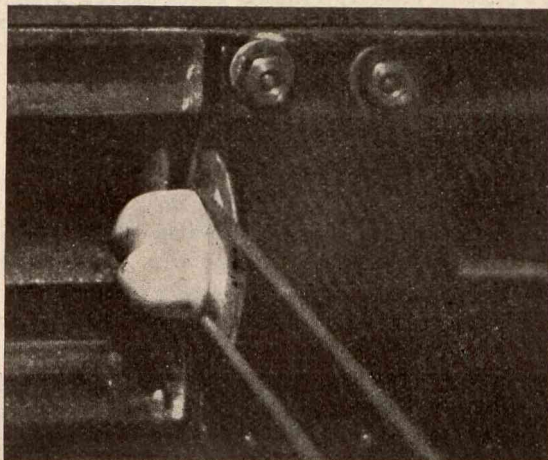
Dla największego izolatora siła wynosić ma 1200 kg, czas trwania 5 min. Wobec znormalizowania wymiarów, metoda ta ma dać niejako wytrzymałość materiału izolatora na ścinanie. Wydaje się więc słuszna w zasadzie, budzi jednak szereg zastrzeżeń co do swej celowości. Przedewszystkiem, co do zaleconego sposobu przeprowadzenia próby. Okazuje się, że wynik próby zależy od średnicy użytej linki. Próby przeprowadzone były na izolatorach porcelanowych typu NIT-I-P jednej firmy w liczbie 45 sztuk, przy użyciu linek średnicy 8, 7 i 6 mm (przepisy dopuszczają maks. 9 mm). Wyniki podaje rys. 14. Jako

sprawdzenie przeprowadzono dodatkowe porównania na poszczególnych izolatorach. Oto wyniki prób.

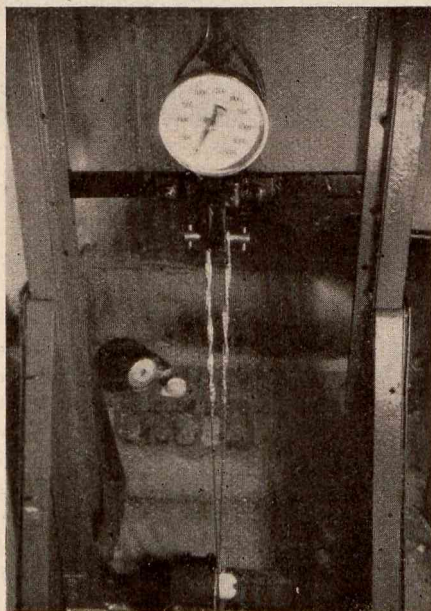
Izolator	Przy średn. linki	Po założeniu linki średnicy	
	6 mm	7 mm	8 mm
	wytrzymał kg	pękł przy kg	
1	2700	2450	—
2	2700	2000	—
3	2600	—	1650

i t. d.

Przyczyną tego jest odkształcanie się przekroju linki na eliptyczny pod wpływem zagięcia naokoło szyjki i obciążenia, dzięki czemu linka działa jak klin i przekrój szyjki naprężony jest bardzo niejednostajnie, z przewagą na-



Rys. 13a.

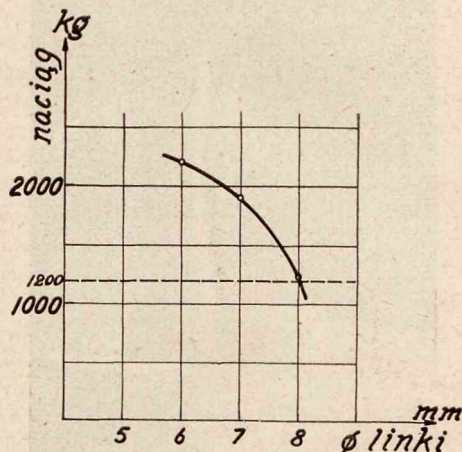


Rys. 13b.

Próba mechaniczna w/g PNT-440 i 404.

prężn rozciągających (rys. 15), na które materiały ceramiczne są mniej wytrzymałe. Stosowanie podkładek ołowianych nie pomaga. Można by, oczywiście, opracować taką próbę, aby usunąć czynniki zniekształcające, ale zachodzi pytanie, czy próba ta w zastosowaniu do izolatorów niskiego napięcia jest wogóle wskazana, jako próba odbiorcza.

Dla porcelany w razie istnienia większych szkod w masie albo w razie złego wypalenia, próba mechaniczna dobrze przeprowadzona da wynik ujemny. Skład masy i inne czynniki, jak np. temperatura wypalenia, grająca dużą rolę w wytrzymałości porcelany, dla typów niskiego napięcia mają mniejsze znaczenie. Owszem, potwierdza się tu zjawisko, stwierdzone przez autora na innym miejscu (8), że silniejsza wityfikacja (zeszklenie) masy pociąga za sobą obniżenie wytrzymałości mechanicznej, ale z jednej strony wytrzymałość mechaniczna nie gra tu ta-



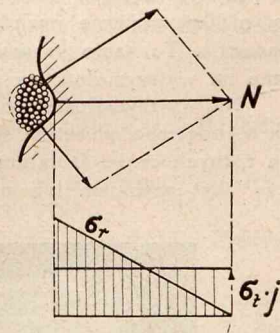
Rys. 14.

Wpływ średnicy linki na naciąg niszczący izolatora N. I. T.-1 P.

Średn. 8 mm 1230 kg — średnia z 20 pomiarów,
Średn. 7 mm 1900 kg — średnia z 14 pomiarów,
Średn. 6 mm 2200 kg — średnia z 11 pomiarów.

kiej roli, jak przy zupełnie odmiennej budowie izolatorów wysokiego napięcia, a z drugiej strony niedopalenie lub przepalenie masy lub istnienie dziur wewnątrz stwierdzić można innymi łatwiejszymi drogami. Należy bowiem podkreślić, że próba mechaniczna jest próbą długą i kosztowną, zwłaszcza przy niewielkiej cenie izolatorów niskiego napięcia.

Tak więc stopień wityfikacji można oszacować przy pomocy próby fuksyną (obserwacja złomu), a niedopalenie — tą samą metodą lub próbą nasiąkalności, lub też — dla całych izolatorów — próbując izolatory napięciem 20÷30 kV, jak przy próbie pospołowej w. n. Próba ostatnia pozwala wykryć usterki wyrobu w główce (większe pęcherze, szczeliny) nawet zakryte polewą. Dlatego też została ona wprowadzona w normach na izolatory nisk. n. PNE-32, jako próba odbiorcza dla izolatorów porcelanowych, z pominięciem próby mechanicznej.



Rys. 15.

Działanie linki odkształcającej pod wpływem naciągu.

Szkló izolatorowe, które wchodzi w grę w naszych warunkach — więc sodowo-wapniowe, — zmienia bardzo niewiele swe własności ze zmianą zawartości składników (K_r zmienia się najwyżej o 20% ze zmianą ilości CaO , Na_2O w szkłe). Wpływ domieszek innych tlenków, jakie w grę mogą wchodzić (głównie Al_2O_3 i Fe_2O_3), jest znikomy (9). Próby autora wykazały również, że izolatory, wykonane ze szkła brudnego, niewygotowanego oraz złe pod

względem elektrycznym, dawały przy próbie wg. PNT-400 te same wyniki, co izolatory dobre.

Usterki wewnątrz izolatora szklanego, mogące osłabić jego wytrzymałość (bąble, pęknięcia), są widoczne gołym okiem, a więc próba jest zbyteczna. Żeby nie było przesady przy ocenie szkodliwości pęcherzyków w szkle, wykonane zostały pomiary wytrzymałości na rozerwanie na próbkach szkła izolatorowego (półbiałego) oraz na próbkach z tego samego szkła, ale ze znaczną ilością porów (rys. 17), prak-

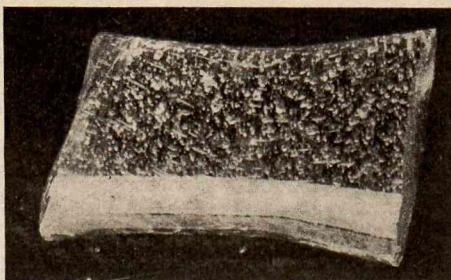


Rys. 16.

Próbka do badania wytrzymałości mechanicznej.
 $K_r = 300 \text{ kg/cm}^2$.

tycznie nie spotykana. Okazuje się, że zmniejszenie wytrzymałości wynosi zaledwie ok. 23%, i to prawdopodobnie wcześniejsze zrywanie się próbek było spowodowane istnieniem szkodliwych — otwartych porów, które stają się ogniskiem pęknięcia całego przekroju. Nasuwa się wobec tego spostrzeżenie, że szczególną uwagę trzeba zwracać na stan powierzchni izolatorów szklanych, traktując przy oględzinach szkazy zewnętrzne z większą surowością, niż wewnętrzne pęcherzyki, które przeważnie są bez znaczenia. To samo prawie znaczenie mają szkazy zewnętrzne na wytrzymałość na zmiany temperatury.

Na wytrzymałość mechaniczną mają wpływ naprężenia wewnętrzne, powstałe skutkiem nierównego przechodzenia różnych części izolatora ze stanu plastycznego w stały, przy zbyt szybkim lub niejednostajnym stygnięciu. Cho-



Rys. 17.

Ułamek próbki ze szkła porowatego $K_r = 230 \text{ kg/cm}^2$ (wielkość naturalna).

cięż szkło „zahartowane”, posiadające duże naprężenia wewnętrzne, posiada też dużą wytrzymałość mechaniczną, jednak spodziewać się można, że izolator z dużymi naprężeniami wewnętrznymi łatwiej ulegnie zniszczeniu pod obciążeniem, niż izolator dobrze „odhartowany”, nie mówiąc już

o uderzeniach, — na które takie izolatory naprężone są bardzo wrażliwe. Ale do wykrycia tych naprężeń metody mechaniczne nie nadają się (p. n.).

Należałoby jednak zadać przedewszystkiem pytanie, czy warunki pracy izolatora rzeczywiście wymagają takiej próby mechanicznej. Trzony izolatorów n. n. nie wytrzymują takich obciążeń, a więc nigdy na linii wystąpić nie mogą naciągów tak dużych, jak wynika z wymiarów izo-

+ TŁUCZENIE IZOLATORÓW TELEFONICZNYCH NA SZOSACH.

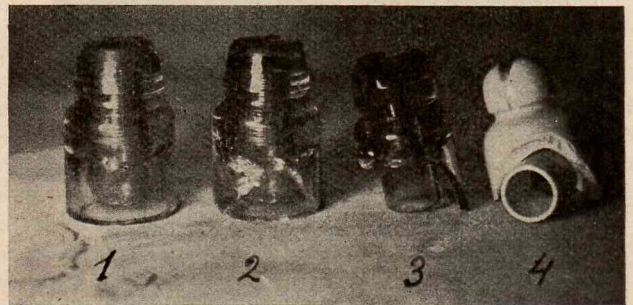
Dyrekcja poczt i telegrafów stwierdziła, że corocznie skarbu państwa ponosi znaczne straty przez rozmyślne tłuczenie szklanych i porcelanowych izolatorów na słupach telefonicznych. Szkody te wyrządzane są przeważnie przez dzieci i młodzież szkolną.

Władze pocztowe zwróciły się do władz szkolnych z prośbą o pouczenie młodzieży o stratach skarbu państwa, wynikających z tłuczenia izolatorów. Władze szkolne zarządziły w szkołach pogadanki, wyjaśniające młodzieży skutki wybryków.

Rys. 18.

Z pracy codziennej.

latora; zresztą najlepiej zwrócić się do praktyki i zapytać, czy zdarzają się wypadki urwania główki izolatora skutkiem większego naciągu, sadzi i t. p. Inne w rzeczywistości są powody uszkodzeń izolatorów na linii, — które, naszym zdaniem, należy nawet uwzględnić przy projek-



Rys. 19.

Izolatory postrzelane:

1. Stary typ Teletechniczny, jeden pocisk,
2. Stary typ Teletechniczny, dwa pociski
3. i 4. Nowy typ Teletechniczny, po jednym pocisku.

towaniu samego kształtu izolatorów (p. rys. 18). Możliwość tłuczenia izolatorów kamieniami lub nawet strzelania do nich przez bezmyślne lub złe jednostki wymaga zastanowienia przy opracowywaniu norm na izolatory. Kwestja ta była wzięta pod uwagę przy opracowywaniu typu izolatora n. n. prądu silnego (PNE-32) i kształt tych izolatorów, w zasadzie swej zbliżony do typu niemieckiego „N”, posiada budowę specjalnie wzmocnioną, zastosowaną przytem do charakteru materiału (szkło czy porcelana). Już w czasie montażu izolatory szklane tego typu zdały wykazać znaczną odporność na uderzenia, większą niż inne. Nie można powiedzieć tego o nowym typie izolatora szklanego teletechnicznego.

Próby przeprowadzono przy pomocy czynnika, na którego działanie, niestety, izolatory linjowe, jak wspomnieliśmy, bywają narażone — a mianowicie broni palnej. Rzucanie izolatorów lub rzucanie w nie kamieniami nie może być porównywalne. Strzelano z odległości ok. 5 m z pistoletu automatycznego kal. 6,3. Do izolatorów silnoprądowych strzelano w kierunku pod klosz, pod kątem $30^\circ \div 60^\circ$ do osi. Do izolatorów teletechnicznych — prawie poziomo

(surowsze warunki). Stwierdzono, że izolatory teletechniczne szklane starego typu są wytrzymalsze od nowych wedł. PNT-400 (rys. 19). Stwierdzono dalej celowość kształtu (po przeróbce) izolatora n. n. według PNE-32, w którym chociaż górny klosz daje się odstrzelić przy trafieniu w samą wnękę, ale izolator cały nie pęka, dolnego zaś klosza nie udało się odstrzelić. Ponadto próba wykazała równą odporność izolatorów porcelanowych i szklanych, a nawet pewną wyższość ostatnich, dzięki gładziej powierzchni i łatwiejszemu rekoszetowi pociśku.

Próby tego rodzaju nie dają coprawda liczbowego wyniku, ani oczywiście nie nadają się, naprzykład, do prób odbiorczych, ale przy badaniach nad celowością budowy izolatora dają bardzo cenne i warte zastanowienia rezultaty.

ODPORNOŚĆ CIEPLNA.

Znanym zjawiskiem jest wrażliwość materiałów ceramicznych wogóle, a szkła w szczególności, na gwałtowne zmiany temperatury. Odporność na te zmiany zależy przede wszystkim od własności samego materiału, od wymiarów i kształtu ciała, od różnicy temperatur i przewodności cieplnej ośrodka, w jakim się ciało znajduje, a wreszcie nawet ma. znaczenie kierunek wymiany ciepła, i t. d.

Zależność od własności ciała da się ująć wzorem *Winkelmanna* i *Schotta* jako współczynnik odporności cieplnej:

$$= \frac{K}{E\alpha} \sqrt{\frac{\lambda}{c\gamma}}$$

Gdzie K jest wytrzymałością na rozzerwanie,

E — współczynnikiem sprężystości,

α — współczynnikiem rozszerzalności,

λ — przewodnością cieplną,

c — ciepłem właściwym,

γ — ciężarem właściwym.

Największe znaczenie posiadają K i α . Ponieważ porcelana w porównaniu ze szkłem ma bardzo mały współczynnik rozszerzalności i K dosyć duże (przeciętnie 25—30% większe, niż dla szkła), to i odporność cieplną ma większą niż szkło. Jeżeli jeszcze uwzględnimy, że przedmioty małe są bardziej odporne na skoki temperatury, to możemy twierdzić, że próba cieplna jest zbyteczna dla izolatorów porcelanowych niskiego napięcia. Potwierdza to zresztą w zupełności doświadczenie.

W przypadku szkła czynniki K i α mało zmieniają się ze składem masy w granicach praktycznych. Natomiast trzeci — współczynnik sprężystości E — zmienia się znacznie ze zmianą składników zasadniczych (9, str. 184 i n.), ale niestety w kierunku niepożądanym, a mianowicie maleje ze wzrostem zawartości tlenków sodu i obniżeniem tlenków wapnia, — co, jak wiemy skądinąd, jest dla własności elektrycznych niepożądane. Widzimy więc, że właściwie zmiana składu masy nie może być pomocna przy uzyskaniu dobrej odporności cieplnej. Większe wymiary powodują mniejszą odporność przedmiotu przede wszystkim ze względu na powolniejszą wymianę ciepła z otoczeniem i powstawanie dzięki temu większych spadków temperatury wewnątrz szkła oraz ze względu na łatwiejsze powstawanie naprężeń wewnętrznych przy krzepnięciu szkła. Kształt izolatora ma bardzo duże znaczenie. Wszelkie nagłe zmiany przekroju, ostre krzywizny i wręby, nierównomierne rozmieszczenie masy — powodują z jednej strony łatwiejsze powstawanie naprężeń wewnętrznych, a z drugiej zwiększają nierównomierność rozkładu temperatury, a więc w rezultacie dają większe naprężenia i łatwiejsze pękanie izolatorów. Zostało to stwierdzone przy projektowaniu izolatora niskiego napięcia, gdzie trochę za cienka szyjka w stosunku do korpusu powodowała odpadanie główek przy pró-

bie cieplnej. Po usunięciu tej usterki izolatory próbę tę wytrzymywały. Próba cieplna jest więc bardzo dobrą *próbą typu*. Jako próba wyrobu może ma nawet mniejsze znaczenie, gdyż — przy tym samym kształcie i tym samym charakterze masy szklanej — pękanie izolatorów powodowane jest istnieniem stałych naprężeń wewnętrznych, a te mogą być wykryte w inny łatwiejszy i pewniejszy sposób, mianowicie na drodze optycznej, przez obserwację w świetle spolaryzowanym (10). Szkło ma bowiem właściwość, że w razie istnienia w niem naprężeń, skręca płaszczyznę polaryzacji światła. Przepuszczając wszystkie izolatory przez bardzo prosto skonstruowany polaryskop, można wyeliminować wszystkie sztuki wadliwe.

Pozostaje kwestja ustalenia wysokości różnicy temperatur przy próbie. Tu nie można wymagać, aby różnica temperatur kąpieli była równa różnicy temperatur, jaka wogóle zachodzić może na linii, gdyż w rzeczywistości nigdy takie różnice nagle nie występują, dzięki zaś dużej przewodności cieplnej szkła izolator szybko wyrównywa temperaturę z powietrzem. Ponadto próba jest dokonywana przez zanurzenie w wodzie, a więc w ośrodku o dużej przewodności cieplnej i dużem ciepłem właściwym, co znacznie zaostrza warunki. Tak np. użycie jako kąpieli oleju znacznie podwyższa wytrzymywane granice temperatur. Pozostaje w rzeczywistości droga empiryczna: dobranie takiej granicy temperatur, jaką wytrzymują izolatory, które okazały się dobre. Tej zasady trzymano się np. przy opracowywaniu norm PNE-32. Doświadczenie wykazuje, że pękanie izolatorów szklanych na linii skutkiem czynników atmosferycznych nie daje się zauważyć, a więc nie należy przesadnych wymagań stawiać przy tych próbach.

Zakończenie.

Pomiary i badania laboratoryjne do referatu powyższego wykonane były w Zakładzie Miernictwa Elektrotechnicznego i Wysokich Napięć Politechniki Warszawskiej w latach 1931—33. Czuję się w miłym obowiązku złożyć na tem miejscu Kierownikowi tego Zakładu, p. prof. K. Drewnowskiemu, serdeczne podziękowanie za cenne rady i wskazówki w czasie całej pracy.

Firmie Huty Szklane J. Stolle „Niemen“ należy się podziękowanie za bezinteresowne wykonywanie specjalnych zestawów szkła, próbek i izolatorów do badań powyższych.

Literatura.

- 1) H. Schering. Die Isolierstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1924.
- 2) L. T. Wilson. A study of telephone line insulators, A. I. E. E. Trans. Nr. 128, 1930.
- 3) Lunge-Berl. Chemisch-Technische Untersuchungsmethoden (1922), t. II.
- 4) L. Curtis. Sc. Pap. of the Bureau of Stand. Nr. 234, 8.VI. 1914, cyt. wg. Rev. Gen. E. t. X. Nr. 5, 1921.
- 5) M. M. Sawostjuk. Izsledowanie powierzchniowej elektroprowodności izolatorów słabowo toka, Moskwa 1925.
- 6) W. Weicker. Abnahme-Prüfungen an Porzellan-Isolatoren, Arch. für Technisches Messen. T. 165, XII, 1933.
- 7) H. H. Race. Electric conduction in hard rubber, pyrex glass, fused and crystalline quartz. A. I. E. E. Trans. Nr. 66, 1928.
- 8) J. I. Skowroński. Influence de la porosité sur quelques propriétés de la porcelaine électrotechnique. Conf. I. Gr. R. E., 1931.
- 9) H. Thiene. Glas. Jena. 1931.
- 10) C. D. Spencer. Design and construction of polariscopes for use in glass factories. Journ. of the Am. Cer. Soc. 1931, Nr. 7.

W SPRAWIE PRÓBY WYTRZYMAŁOŚCI ELEKTRYCZNEJ W PROJEKCIE PRZEPISÓW NA OLEJE IZOLACYJNE S. E. P.

Inż. J. I. Skowroński.

Streszczenie. Przy opracowywaniu przepisów olejowych w łonie komisji V S.E.P. zaznaczyła się rozbieżność co do sposobu ujęcia wymagań elektrycznych. Dotyczy to nie tyle samego wymagania t. j. wytrzymałości elektrycznej (kV/cm), ile metody przeprowadzenia próby. W przepisach obcych — na których opierano się w braku dostatecznych doświadczeń własnych — istnieją zasadniczo dwa sposoby badania wytrzymałości elektrycznej: jeden, polegający na pomiarze napięcia przebicia określonej warstwy oleju (np. przepisy niemieckie) i drugi, polegający na stwierdzeniu, czy podobna warstwa oleju wytrzyma przez czas określony przepisane napięcie (przepisy szwajcarskie). W pierwotnym projekcie przepisana była metoda szwajcarska, jednak na terenie Komisji Olejowej wysunięto również propozycję odrzucenia tej metody jako rzekomo nieodtworzalnej i zastąpienia jej metodą niemiecką. Poniższe uwagi mają na celu próbę wyjaśnienia, czy rzeczywiście metoda niemiecka jest odtwarzalna, a szwajcarska nie i która z nich bardziej nadaje się na próbę odbiorczą w przepisach polskich na oleje izolacyjne.

Określenie wytrzymałości elektrycznej, właściwej dla danego materiału, jest jednym z trudniejszych zagadnień przy badaniu materiałów izolacyjnych, ze względu na szereg nieuniknionych czynników, zniekształcających czystość teoretyczną zjawiska. Jak wiadomo, nawet dla materiałów gazowych, dla których pomiar wytrzymałości nie nastęrcza teoretycznych trudności, nie można mówić o wytrzymałości elektrycznej jako o wielkości stałej, charakteryzującej ten materiał, gdyż wytrzymałość nawet w określonych i niezmiennych warunkach fizycznych (ciśnienie, temperatura) zależy przedewszystkiem od charakteru pola elektrycznego, które działa na dielektryk badany. Przy materiałach płynnych sprawa ta komplikuje się o tyle, że nie tylko czynniki zewnętrzne wymagają uwzględnienia, ale i sam badany materiał w czasie przeprowadzania próby może ulegać wpływom i zmianom, trudnym do stwierdzenia lub usunięcia, a wprowadzającym dodatkowe błędy w pomiarze.

Wspomniane czynniki mogą być w zasadzie dwojakie: zależne od materiału lub jego stanu, oraz od niego niezależne, zewnętrzne. I jedne i drugie mogą mieć wpływ zarówno na wartość bezwzględna mierzonej wytrzymałości, jak i na rozсіew, czyli wielkość odchylenia w górę i w dół poszczególne sprostżeń od wartości przeciętnej (uchyb sprostżenia). Nie sprawiałoby to większych trudności, gdyby wpływ wszystkich czynników zewnętrznych i wewnętrznych był dostatecznie znany (jak jest np. dla powietrza), tak, aby przepisawszy ściśle warunki można było przewidzieć *uchyb graniczny pomiaru*. Jest to *warunek konieczny* odtwarzalności i możliwości porównania pomiarów, wykonanych przez różnych obserwatorów lub w różnych pracowniach. Niestety, należy stwierdzić, że według dzisiejszego stanu badań w tej dziedzinie ani przyczyny otrzymywania rozbieżnych wyników lub dużego rozсіewu sprostżeń nie są dostatecznie wyjaśnione, ani niema zupełnej zgodności wśród rozmaitych badaczy co do wpływu nawet czynników najważniejszych. Wyniki bywają podobne co do charakteru lub przebiegu zjawiska, ale wartości liczbowe naogół znacznie się różnią.

Poniżej omówimy pokrótce wyniki kilku ważniejszych badań co do wpływu czynników na pomiar wytrzymałości oleju izolacyjnego.

Należy tu wymienić czynniki najważniejsze:

1. czystość oleju: obecność zawiesin, wilgoci i gazów rozpuszczonych w oleju,
2. związane z poprzednim: przechowywanie oleju przed próbą i obchodzenie się z nim w czasie próby,
3. czystość elektrod i naczyń,
4. temperatura i ciśnienie,
5. ilość oleju przy próbie i związana z nią,
6. liczba przebiegów,
7. kształt pola: odstęp, kształt i umieszczenie elektrod,
8. materiał elektrod,
9. szybkość podnoszenia napięcia,
10. odstęp czasu pomiędzy przebiciami,
11. kształt krzywej napięcia,
12. moc zwarcia układu probierczego.

Czystości przypisuje się zgodnie największe znaczenie dla wytrzymałości oleju. Aczkolwiek teoria przebicia oleju nie jest jeszcze ostatecznie ustalona (9), (11), wpływ zawiesin i wilgoci jest wyjaśniony, jeżeli chodzi o wpływ jakościowy (12), (18). Natomiast jeżeli przejść do wartości liczbowych czy do wytrzymałości (naprężenia krytycznego) czy rozсіewu, wyniki nie są zgodne. Dla olejów najczystszych i zupełnie suchych Friese znajduje wytrzymałość 240 kV/cm (wart. skutk.), Zimmermann, Schröter, Engelhardt—ok. 330 kV/cm, Draeger—410 kV/cm. Do celów przepisowo - technicznych rozbieżność ta nie posiada większego znaczenia, gdyż dotyczy przedewszystkiem olejów suszonych w sposób laboratoryjny, a z drugiej strony interesują nas tu raczej wartości przeciętne dobre i najniższe dopuszczalne. Natomiast znacznie ważniejsza jest kwestja rozсіewu sprostżeń, gdyż decyduje o odtwarzalności pomiarów, oraz wpływ ilościowy zanieczyszczeń, gdyż dopiero przy takim ujęciu możnaby z pomiaru wytrzymałości wnioskować o czystości oleju. I tu znów napotykamy się na rozbieżność. Tak np. według Friese'ego już obecność 0,05% wody w oleju zmniejsza wytrzymałość z 240 kV/cm na 22 kV/cm (a więc czyni go niezdatnym do pracy), podczas gdy Spath w warunkach podobnych, dla *tej samej* zawartości wody (0,05%), znajduje wytrzymałości 140 kV/cm — jak dla bardzo dobrego oleju. Pomimo wytknięcia tej rozbieżności przez Zimmermanna w 1925 r. (16) kwestja ta pozostała niewyjaśniona. Być może rozbieżność ta spowodowana była — jak zresztą przypuszcza Zimmermann — obecnością innych zanieczyszczeń, np. bardzo drobnych włókienek. Wpływy wilgoci i innych zanieczyszczeń są bowiem związane ze sobą. Np. badania w laboratorium A. S. E. w Zurychu miały wykazać, że wpływ wody w oleju jest minimalny przy zupełnej nieobecności zawiesin — przedewszystkiem włókienek.

Wpływ *zanieczyszczeń stałych* był badany zwykle razem z wpływem innych czynników. Wöhr (22), badając wytrzymałość oleju przy pomocy elektrod kulkowych, płytkowych i elektrod z krawędziami ostremi, stwierdził, że dla olejów brudnych wytrzymałość jest względnie wyższa przy ostatnich elektrodach, niż przy płaskich i kulkowych; w miarę zaś oczyszczania oleju wytrzymałość rośnie szybciej przy

kulkowych elektrodach, wolniej — przy płaskich, jeszcze wolniej — przy kańciastych, tak, że przy olejach czystych zachodzi zjawisko odwrotne i najwyższą wytrzymałość dają elektrody kulkowe, najniższą — z ostremi krawędziami Spath (14), badając wpływ odstepu, znalazł istnienie wyraźnego minimum wytrzymałości dla olejów brudnych przy niewielkich odstepach, wzrost dla bardzo małych i większych odstepów, a dla czystych — ciągły spadek z rosnącym odstepem, bez minimum. Draeger (12) przy analogicznych badaniach zupełnie nie znajduje tego minimum, a krzywe dla olejów czystych są tylko w ogólnych zarysach zgodne z krzywami Spatha. To samo można powiedzieć i o innych badaniach wpływu odstepu i czystości na wytrzymałość (Wellauer (19), Miner (23), Rebhan (27) i inni).

To samo też mniej więcej dotyczy wszelkich funkcjonalnych zależności: przebiegi są zgodne tylko w ogólnych zarysach; np. maksimum wytrzymałości w zależności od temperatury Friese znajduje przy 65° C, Spath — 60° C, Toriyama — 70° C, Draeger — 90° C, przyczem i odchylenie od maksimum do minimum (leżącego poniżej 0° C) jest znacznie większe u Friese'go, niż np. u Toriyamy. Podobnie wpływ odstepu na wytrzymałość (kV/cm) inny jest według Spatha (powyżej 0,6 cm wytrzymałość jest stała), inny np. według Wellauera (bez zmiany już powyżej 0,2 cm) lub Mathisa (32) i t. d.

Cytujemy te rozbieżności — zresztą nie wszystkie — dla wykazania podstawowego zjawiska przy badaniu wytrzymałości olejów, a mianowicie trudnej odtwarzalności pomiarów. Na zjawisko to zwracano z wielu stron uwagę. Między innymi Steinmetz stwierdza, że próbki poszczególne z tej samej partii nie dają zgodnych wyników (28); Rebhan znajduje nawet różne wyniki, zależnie od dni, w których wykonywał pomiary (26). Przykłady podobne może zresztą dać każdy, kto wykonywał badania wytrzymałości olejów.

Wpływ *zanieczyszczeń na rozsiew* nie jest jednakowy według różnych badaczy. I tak Ritz (25) znajduje, że rozsiew mniejszy jest dla brudnego oleju i wzrasta z oczyszczaniem (a więc i ze wzrostem wytrzymałości). Odwrotnie Rebhan (26) znajduje, że rozsiew dla olejów brudnych wynosi średnio około 33%, a w miarę wzrostu czystości (i wytrzymałości) spada, i dla bardzo czystych wynosi około $\pm 20\%$. Schröter (13) dla olejów brudnych znalazł rozsiew około $\pm 50\%$, dla czystych — mniej, ale nie stwierdził zależności pomiędzy rozsiewem i wytrzymałością przeciętną. Steinmetz (28) zauważył również, że suchość i czystość oleju przy technicznym czyszczeniu mają mały wpływ na rozsiew.

Wpływ rozpuszczonego w oleju powietrza i gazów, wogóle wyraźnie zmniejszających wytrzymałość (8), (24), ma znaczenie nie tyle ze względu na wytrzymałość, ile ze względu na wpływ na *rozsiew*. Do kwestji tej powrócimy jeszcze niżej. Znaczny wpływ na wzrost rozsiewu i zmniejszenie wytrzymałości ma niedokładne wysuszenie elektrod (15).

Sposób czyszczenia oleju również wpływa nietylko na wytrzymałość, ale i na rozsiew, na co zwrócił uwagę Schröter (13). Stosując rozmaite sposoby czyszczenia i suszenia oleju, otrzymał on nietylko rozmaity wzrost wartości przeciętnej, ale i rozmaity rozsiew, przytem nie zawsze wzrost wytrzymałości związany był ze zmniejszeniem rozsiewu.

Ważnym, a zwykle nie branym pod uwagę, źródłem błędów jest *kształt krzywej napięcia*. Przy prądzie zmiennym przebiecie oleju zależy od wartości maksymalnej (amplitudy) napięcia przyłożonego, a nie zależy od wartości skutecznej (12). Wpływ wartości skutecznej zaznacza się dopiero w pobliżu punktu krzepnięcia, gdzie zaczyna przeważać przebiecie cieplne (29). Tymczasem zwykle mierzymy wartość *skuteczną* napięcia (np. woltomierzem) po stronie pierwotnej

transformatora; również wszystkie wartości liczbowe, podawane w wartościach skutecznych, ważne są dla napięcia ściśle sinusoidalnego, o współczynniku amplitudy $\sqrt{2}$. W rzeczywistości zaś prawie zawsze mamy krzywą odkształconą, i to nieraz znacznie, co się szczególnie zaznacza przy transformatorach o silnym nasyceniu żelaza, przy regulacji dławikiem, w pewnych przypadkach przy regulacji oporem. Współczynnik amplitudy może wynosić 1,6, a w niekorzystnych przypadkach i więcej. Błąd, popełniany wtedy przy mierzeniu wartości skutecznej zamiast maksymalnej, może wynosić do 14% i więcej, pomijając błędy skutkiem zmienności przekładni i inne.

Szybkość podnoszenia napięcia wywiera ogromny wpływ na wartość uzyskaną. Jest to zrozumiałe, skoro się zważy rolę, jaką odgrywają zanieczyszczenia w przebieciu, tworząc mostki przewodzące pomiędzy elektrodami, — oraz opór, jaki olej stawia przy ruchu tych zanieczyszczeń w postaci zawiesin naogół bardzo drobnych. Toriyama (18) stwierdził wzrost wytrzymałości powyżej 40% przy zwiększeniu szybkości podnoszenia napięcia od 1 kV/min do 1 kV/sek; przy większych szybkościach wzrost znalazł niewielki. Z pomiarów tych wnosić można przedewszystkiem, że wartości, otrzymane metodą niemiecką, muszą być wyższe co najmniej o 40 — 50% od wymaganych przez przepisy szwajcarskie dla takiej samej czystości oleju. Zmiany wytrzymałości oleju skutkiem wpływu zetknięcia jego z powietrzem przez wymianę wilgoci (30), pochłanianie powietrza (10), (17), (26), możemy tu pominąć, ponieważ w zasadzie przy próbach można tego unikać.

Również możemy tu pominąć wpływ czynników takich, jak: wyładowania świetlące, częstotliwość, stratność, temperatura, ciśnienie, naświetlanie, metal elektrod, ich układ (pionowy czy poziomy) oraz kształt (kulowy, płaski czy inny) — chociaż bowiem wpływ czynników tych na wartości otrzymane i rozsiew może być mniej lub więcej znaczny, przy wyborze metody nie mają one znaczenia. Tylko co do promienia elektrod i wielkości przerwy iskrowej można zauważyć, że wytrzymałości olejów przy obu układach są prawie jednakowe (14), (19). Interesują nas tu więcej zmiany, jakim olej podlega w czasie próby, w miarę przebiec. I tu nie ma zupełnej zgodności. Friese znajduje, że olej czysty w miarę następujących po sobie przebiec pogarsza się, a olej brudny lub zawilgocony polepsza się, zaczynając już od pierwszego przebiecia; podobnie — Engelhardt. Inni stwierdzają pewien wzrost wytrzymałości w miarę przebiec, ale przy większej liczbie (Zimmermann, Wellauer i inni), nie jednakowej dla wszystkich. W każdym razie stwierdzić można, że właściwie już po pierwszym przebieciu próbka oleju zmienia swe własności (26), (17), (15). Następuje tu z jednej strony usuwanie wilgoci a częściowo i stałych zawiesin, z drugiej zaś — rozkład oleju na składniki gazowe i płynne, a częściowo nawet na stałe. Wpływ ten częściowo usuwają jedni przez mieszanie oleju bez wyjmowania elektrod (Wellauer), inni otrzymują lepsze wyniki przez wyjmowanie i czyszczenie elektrod po każdym przeskoku (Engelhardt).

Szybkość zmian oleju zależy nie tyle nawet od wielkości próbki, ile od *mocy obwodu*, na co naogół nie zwracają uwagi. Ilość rozłożonego oleju jest proporcjonalna do energii łuku przy przeskoku. Nie jest ona zależna tylko od oporności, włączonej w obwód iskiernika, ale od mocy zwarcia transformatora, sposobu regulacji, „sztywności” sieci i t. d. Naprzykład dla źródła napięcia o dużej mocy włączenie w obwód 60 000 omów, jak zalecają, w razie przebiecia przy 30 000 V daje moc rozwinietą w obwodzie około 15 kW, a moc ta jest „wyłączana” przez łuk, zanim nie zostanie przerwany obwód, np. przez przepalenie bezpiecznika.

Tym też zjawiskom, towarzyszącym przeskokowi łuku w oleju, należy, zdaniem naszym, przypisać największą rolę w istnieniu znacznego rozsiewu przy pomiarach wytrzymałości olejów mineralnych. Następuje tam ścieranie się kilku czynników: pole elektryczne skupia zanieczyszczenia, przebiecie je częściowo usuwa — wyparowując wodę i wyrzucając mechanicznie dzięki wydmuchującemu działaniu łuku, — częściowo zaś wytwarza nowe zanieczyszczenia, niekoniecznie nawet w postaci spalin, również w postaci gazów lub węglowodorów płynnych o innej stałej dielektrycznej, niż reszta oleju, co już może obniżyć następne przebiecie. Wynik zależy wtedy od przypadku, który z czynników przeważa w najbliższym otoczeniu elektrod, i otrzymuje się większą lub mniejszą wartość przeskoku. Oczywiście „przypadki” można traktować statystycznie i obliczać wynik prawdopodobny, tylko liczba tych „rzutów kostką” czy — jak kto chce — pomiarów musi być duża, aby wzory z teorii prawdopodobieństwa mogły mieć zastosowanie. Należy dla ścisłości dodać że Hayden i Eddy, Wellauer oraz częściowo Rehban przypisują istnienie rozsiewu właściwości samego oleju mineralnego.

Jakakolwiek byłaby przyczyna rozsiewu, sam fakt otrzymywania w najstaranniej przeprowadzonych badaniach wyników, różniących się od wartości przeciętnej od 20 do 30% (21), (26), to jest o 50 do 90% wartości skrajnych między sobą, czyni samą metodę praktycznie nieodtwarzalną, szczególnie przy wykonywaniu badań w różnym czasie lub w różnych pracowniach probierczych. Wydawałoby się, że można uwzględnić w przepisach wszystkie z wymienionych wyżej czynników, znormalizować naczynie, iskiernik, moc zwarcia transformatora, wielkość oporników regulacyjnych i ograniczających, szybkość podnoszenia napięcia, kształt krzywej napięcia, temperaturę i t. d., przepisać pozatem do najdrobniejszych szczegółów metodę postępowania i uzyskać przez to możliwość porównywania wyników różnych probierni. Otóż wydaje się nam, że tak nie jest. Pomijając bowiem trudności realizacji urządzeń identycznych w różnych warunkach miejscowych, pozostaną dwa czynniki: jeden subiektywny — eksperymentator, drugi obiektywny — właściwości oleju mineralnego. Czynnika ludzkiego przy tych badaniach lekceważyć nie można, jemu bowiem również przypisują częściowo rozbieżności rozmaitych obserwatorów (14), a przy badaniach przemysłowych, szczególnie u odbiorców, od umiejętności pracownika najwięcej zależy wynik.

Drugi czynnik zasadniczy, stanowiący trudność nie do omińnięcia, to dawanie przez olej wartości przebiecia wręcz przypadkowych — gdyż za takie musimy przyjmować odchylenia około $\pm 30\%$ od średniej — szczególnie przy wykonywaniu tylko pięciu pomiarów. Przy pomiarach badawczych z wielokrotnym przebiciem oleju po kilkaset do tysiąca kilkuset razy (16, 19, 21, 26), można stwierdzić serje — po kilka z rzędu — przebiec niskich lub wysokich, dopiero średnia z bardzo wielu utrzymuje mniej więcej pewien poziom; a tymczasem już po pierwszym przebieciu olej może się zmieniać zależnie od warunków — pogarszać lub polepszać. Pomiar taki nie może być miarodajny, a obliczanie, jak proponuje Rehban, wartości średniej i uchybu średniego wedle wzoru Gaussa z teorii błędów (wyprowadzonego w założeniu wielkiej liczby mało różniących się spostrzeżeń) oczywiście mija się z celem, nadając metodzie pozory dokładności, której ona mieć nie może.

Tytułem próby kontroli „czynnika ludzkiego” przeprowadzono w Lab. Wysokich Napięć Polit. Warsz. w r. 1933 szereg pomiarów na tych samych olejach (za każdym razem ze świeżą próbką) — przez 22 grupy słuchaczy, odrabiających ćwiczenia w pow. laboratorium (sem. VII), pod dozorem asystenta. Wykonywano przytem m. in. próbę wg. przepisów

niemieckich, według przepisów szwajcarskich oraz charakterystykę iskiernika o kulach 12,5 mm (napięcie przebiecia w funkcji odstepu). Stwierdzono różnice do 30% pomiędzy pomiarami poszczególnych obserwatorów dla tego samego oleju, chociaż poszczególne spostrzeżenia tych samych obserwatorów mniej się różniły od wartości przeciętnej. Charakterystyki iskiernika również znacznie się różniły między sobą, podczas gdy np. podobne charakterystyki iskierników w powietrzu są prawie identyczne. Próba metodą szwajcarską dawała zgodne wyniki, t. j. olej naogół próbę wytrzymał, a próbki z pewną zawartością wilgoci dawały mniejszą lub większą liczbę przeskoków iskrowych.

Trudności uzyskania dokładnych porównywalnych i powtarzalnych wyników przy pomiarze wytrzymałości elektrycznej, aczkolwiek w zastosowaniu do materiałów stałych istnieją w znacznie mniejszej mierze, były już rozważane przy opracowywaniu norm PNE. I wszędzie konsekwentnie przy próbach odbiorczych przeprowadzono zasadę niedoprowadzenia do przebiecia zupełnego próbki, a tylko wymagania *wytrzymania* przez tę próbkę określonego napięcia przez czas określony (kable PNE-5, przewody izolowane PNE-5, izolatory PNE-8, izolatory niskiego napięcia PNE-32, masy kablów PNE-16); ostatnie, t. j. masy, są najbardziej zbliżone w charakterze badania do olejów, gdyż tu również bada się próbkę materiału nie przedmiot gotowy do pracy. Ale i w innych przypadkach bynajmniej nie było to spowodowane chęcią zaoszczędzenia obiektu badanego, gdyż i tak np. odcinek kabla badany (pięciokrotnym napięciem, męczony mechanicznie) już się najzupełniej do pracy nie nadaje. Zato we wszystkich cytowanych wypadkach pozostawia się *wytwórca* badanie napięcia przebiecia dla swego wyrobu (np. określenie krzywej życia dla kabli, przebiecie w oleju izolatorów), gdyż to daje mu możliwość ciągłej kontroli jakości wyrobu. Wprowadzenie więc do przepisów odbiorczych przebijania oleju

1. nie miałyby uzasadnienia przy stanie dzisiejszej wiedzy,
2. miałyby się z celem — jako mogące prowadzić do błędnych lub rozbieżnych wyników,
3. nie szłoby po linii dotychczasowych przepisów S. E. P.

Natomiast istnieją przypadki, gdzie wykonywanie próby przebiecia oleju może być wskazane. Stałe pomiary wytrzymałości elektrycznej, jako sprawdzianu czystości, mogą i powinny być wykonywane przez wytwórców lub przez spożywców (np. w trakcie czyszczenia oleju) z zastrzeżeniem, że badania te będą wykonywane bardzo starannie, zawsze w tych samych warunkach, przy pomocy tych samych przyrządów i — najlepiej — przez ten sam personel fachowy. Wtedy — uwzględniwszy uchyby spostrzeżeń — będą mogły pomiary te być wskazówką dla porównania czystości oleju, ale miara ta będzie zawsze miarą względną, porównanie z innymi badaniami będzie zawodne.

Czy metoda szwajcarska nie posiada usterek i czy jest zupełnie odtwarzalna? Oczywiście, że usterek są — np. trudność mycia naczyń z elektrodami, możliwość przenikania zanieczyszczeń z uszczelnienia elektrod w ściankach; te same jednak są w przyrządach nowego typu według norm V. D. E.

Co do odtwarzalności, to również może się zdarzyć, że jedna próbka wytrzyma próbę, inna nie. Jest to nieuniknione dla oleju *niezbyt czystego* i związane z charakterem oleju — jako mieszaniny, która w różnych częściach może zawierać zanieczyszczenia lub składniki w rozmaity sposób rozmieszczone. Dla olejów czystych wynik ujemny może być spowodowany niedbałym postępowaniem przy

próbie, złem przechowywaniem lub pobieraniem próbki, co musimy wykluczyć z rozważań. Niezupełnie staranne oczyszczenie i wysuszenie elektrod, np. wytarcie szmatką, daje przy próbie, zdaniem Engelhardta (15), wyładowania niezupełne (trzaski), które są przez przepisy tolerowane.

Natomiast zalety metody szwajcarskiej — pominąwszy omówioną już słuszną zasadę niedoprowadzania do przebicia — wynikają przede wszystkim z *długiego czasu próby*, dzięki czemu zanieczyszczenia, o ile istnieją, mają czas z odleglejszych części próbki przywędrować do miejsc o największym natężeniu pola i spowodować przebicie. Sprzyja temu również większy odstęp elektrod i mały ich promień krzywizny ($a = 5$ mm, $r = 6,25$ mm), ułatwiające wędrowkę i skupianie się zanieczyszczeń w pobliżu przerwy iskrowej dzięki dużej niejednorodności pola. Wędrowkę taką, nawet dosyć szybko, można zaobserwować już przy względnie niewysokich napięciach na cząsteczkach, dostrzegalnych gołym okiem; dla cząstek drobniejszych, dzięki mniejszym siłom w stosunku do oporów, musi być dany czas i natężenie pola dostateczne. Mały promień krzywizny elektrod umożliwia przy względnie *mniejszym* napięciu uzyskanie większego natężenia pomimo większego odstępu. Wreszcie duży odstęp pozwala na dokładniejsze nastawienie, a więc zmniejsza jedno ze źródeł uchybu pomiarów. Wytrzymałość (kV/cm) jest przytem prawie bez zmiany (dla 5 mm tyle, co i dla 3 mm). Dla dobrze oczyszczonych olejów o wysokiej wytrzymałości i dla niezdatnych do pracy bez oczyszczenia metoda szwajcarska jest więc *miarodajna i odtwarzalna*. Nie stwarza przytem pozorów dokładności, jak metoda niemiecka. Cechuje ją prostota i łatwość wykonania, jest ona prawie zupełnie niezależna (prócz zachowania czystości) od czynnika ludzkiego i od warunków próby (moc układu, sposób regulacji). Dlatego też przy nowelizacji przepisów szwajcarskich na oleje (31) nic w niej nie zmieniono. Przeciwnie, jak poinformował autora (w lutym b. r.) p. S. Tobler, kierownik laboratoriów A. S. E., próbę tę uważają tam za najzupełniej odpowiadającą potrzebom, dającą gwarancję koniecznej czystości, a nie stwarzającą fikcyjnej różnicy pomiędzy jakością olejów o różnych wytrzymałościach, co mogłoby np. być nadużywane do celów reklamowych.

Reasumując powyższe, należałoby zdaniem naszym próbę sprawdzenia wytrzymałości (czyli met. szwajcarską) wprowadzić do przepisów jako próbę odbiorczą, natomiast pomiar wytrzymałości elektrycznej oleju — pozostawić jako porównawczą próbę kontrolną czystości oleju dla własnej informacji wytwórcy lub konsumenta.

Literatura.

Podręczniki.

1. K. Drewnowski. Podstawy techniki Wysokich Napięć, I (Warszawa 1933), str. 101—114.

2. A. Monkhouse. Electrical insulating materials, str. 150—153 (London 1926).

3. F. W. Peek. Electrical Phenomena in high-voltage engineering, str. 215—228 (New-York 1929).

4. H. Warren. Electrical insulating materials, str. 442 i n. (London 1931).

5. Whitehead. Dielectric Phenomena, II Electrical discharges in liquids (London 1928).

6. A. Roth. Hochspannungstechnik, str. 132—140 (Berlin 1927).

7. U. Retzov. Die Eigenschaften elektrotechnischer Isoliermaterialen in graphischen Darstellung str. 67—74 (Berlin 1927).

8. H. Stäger. Elektrotechnische Isoliermaterialen (1931).

Artykuły źródłowe:

9) H. Edler. Arch. f. Elektrotechnik, t. XXIV, str. 37.

10) H. Edler. Arch. f. Elektrotechnik, t. XXV (1931), str. 447.

11) H. Edler. E. T. Z. 1931, str. 654.

12) K. Draeger. A. f. E. t. XIII (1924), Nr. 5, str. 366.

13) Schröter. A. f. E. t. XII (1925), str. 67.

14) W. Spath. A. f. E. t. XII (1923).

15) Engelhardt. A. f. E. t. XII (1924).

16) Wl Zimmermann. A. f. E. t. XV (1925).

17) R. M. Friese. Wiss. Veröffentl. aus d. Siemens-Konz., t. I. (1921), str. 41.

18) I. Toriyama. Arbeiten aus d. El. Institut d. Techn. Hochsch. Aachen t. II (1926/27).

19) B. Wellauer. Bull. A. S. E. t. 16 (1925), str. 170.

20) W. R. Chadburn. Bull. A. S. E., t. 16 (1925), s. 56.

21) Hayden i Eddy. Journ. A. I. E. E., 1922. s. 138, 495.

22) Wöhr. A. f. E., t. XX (1928), str. 444.

23) Miner. Journ. A. I. E. E., t. 46 (1927), str. 336.

24) O. Ingei A. Walther. A. f. E., t. XXIII (1930), s. 279.

25) H. Ritz. E. T. Z., 1932, Nr. 2.

26) J. Rebhan, E. T. Z., 1932, s. 556.

27) J. Rebhan, E. T. Z., 1933, s. 5.

28) Steinmetz. Journ. A. I. E. E., 1927, s. 495 (dyskusja).

29) F. Kopelman, A. f. E., t. XXV, str. 781, E. T. Z., 1930, str. 1447.

30) H. Stäger, o. c., str. 43.

31) Bull. A. S. E., 1930, str. 443.

32) A. R. Mathis. R. G. El., 1932, s. 457.

WYŁADOWANIA RELAKSACYJNE W UKŁADACH Z ELEMENTAMI ŚWIETLĄCEMI.

TEORETYCZNE PODSTAWY ZASTOSOWANIA W MIERNICTWIE.

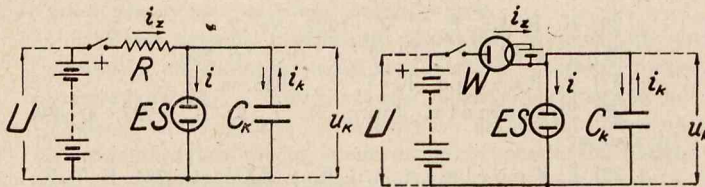
Inż. J. L. Jakubowski.

Streszczenie. W referacie omówiono krytycznie poglądy: Geffckena, Friedländera, Dällenbacha, Vallego, Clarksona, Rothego i in. na sprawę przebiegu charakterystyki dynamicznej i granic wyładowań relaksacyjnych 1-go rodzaju. Ponadto, na podstawie własnych badań doświadczalnych, autor referatu opowiedział się przeciw głoszonej przez Vallego nieciągłości charakterystyki statycznej i wskazał na możliwość istnienia szerokich zakresów wyładowań relaksacyjnych 3-go rodzaju, łatwych do pomieszenia z wyładowaniami 1-go rodzaju. Wnioski odnoszą się do własności wyładowań, znajdujących zastosowanie: przy pomiarze pojemności i oporności, pomiarach fotoelektrycznych, wytwarzaniu błysków świetlnych i prądów zmiennych.

Znaczenie układów relaksacyjnych w różnych dziedzinach elektrotechniki jest coraz większe [25]. W literaturze fizycznej i technicznej nawet z ostatnich lat (1926 — 1933) istnieją duże sprzeczności i brak opracowania różnych zjawisk z jednego punktu widzenia. Nie usuwa go rozdział w podręczniku S. Francka [23] nienależycie uporządkowany pod względem dydaktycznym, nie nadający się więc, jako wprowadzenie w daną dziedzinę. Referat niniejszy ma za zadanie usunąć omawiany brak, przy czym uwzględnione będą zwłaszcza własności wyładowań ważne dla miernictwa. Materiał ujęty jest zasadniczo w sposób monograficzny, autor zamieścił jednak i nieco szerzej potraktował niepublikowane dotychczas badania własne.

1. Definicje i własności ogólne wyładowań relaksacyjnych.

1. Układem relaksacyjnym z elementem świetlącym nazywamy układ z rys. 1 i 2.



Rys. 1.
Układ relaksacyjny 1.

Rys. 2.
Układ relaksacyjny 2.

Oznaczenia do rys. 1 i 2:

U , U — źródło napięcia stałego; napięcie tego źródła.
 R , R — opornik bezindukcyjny; oporność tego opornika.

W — wentyl pracujący w zakresie prądów nasycenia.

ES — element świetlący (lampa świetląca).

C_k , C_k — kondensator; pojemność kondensatora.

i_z — prąd zasilający (= prądowi nasycenia i_s dla układu 2).

i — prąd płynący przez ES .

i_k — prąd ładowania C_k .

u_k — napięcie na C_k (oznaczone przez v w czasie przepuszczania prądu przez ES).

Oznaczenia ogólne:

WR — wyładowania relaksacyjne.

WC — wyładowania ciągłe.

UWR — układ relaksacyjny (układ wyładowań relaksacyjnych).

f — częstotliwość.

φ — oznaczenie zależności funkcjonalnej (np.

$f = \varphi(C_k)$).

W układach 1 i 2 (rys. 1 i 2) można zamienić miejsca ES i R (wzgl. W), przyczem różnica działania układów będzie nieistotna [23]. Dalsze rozważania stosują się jednak do układów niezmienionych.

2. Po zniknięciu przebiegów włączeniowych mogą powstać w UWR 3 rodzaje stanów elektrycznych:

1. stan bezprądowy,

2. przepływ prądu stałego przez ES ,

3. przepływu prądu tętniącego przez ES (wyładowania relaksacyjne).

Stany 1 i 2 będą nazywane ustalonymi, stan 3 niestabilnym.

3. Występowanie stanów 1, 2, 3 zależy od wielkości parametrów charakteryzujących UWR [U , R (W), C_k] i własności ES .

4. Gdy U jest mniejsze od napięcia zapłonu ES (oznaczenie V_z), to po włączeniu UWR (t. zn. zamknięciu wyłącznika, patrz rys. 1 i 2) następuje przepływ prądu ładowania, poczem prąd przestanie płynąć i ustala się stan 1.

5. Gdy U jest większe od V_z , po włączeniu UWR następuje najpierw okres ładowania C_k , a gdy napięcie na C_k i ES osiągnie wartość V_z , zapalenie się ES (początek samodzielnego przepływu prądu). Zjawia się stan 1 lub 2. Warunki, od których zależy występowanie jednego, lub drugiego stanu, będą omówione później.

6. Jeśli po zapłonie nastąpi przepływ prądu stałego (stan 2), prąd zasilający będzie równy prądowi ES ($i_z = i$).

7. Jeśli napięcie na ES spadnie po zapłonie do wartości, przy której wyładowanie świetlące jest niemożliwe (napięcie zgaszenia V_o), ES zgaśnie. Z tą chwilą następuje nowy okres ładowania C_k aż do V_z , nowe wyładowanie cząstkowe i t. d. W ciągu każdego wyładowania cząstkowego napięcie na ES maleje, co jest połączone ze zwolnieniem części ładunku C_k i przepływem jej przez ES . Stąd nazwa: wyładowania relaksacyjne. Istotną rolę grają w nich przebiegi jonizacyjne w ES , w przeciwieństwie do wyładowań oscylacyjnych, polegających na przebiegach elektromagnetycznych. Wzór Thomsona, $T = 2\pi \sqrt{LC}$, stosuje się tylko do wyładowań oscylacyjnych.

8. Przy WR 1. rodzaju¹⁾ (terminologia Vallego [14]) istnieją zakresy czasu, w których $i = 0$; przy WR 2, 3 i t. d. rodzaju prąd nigdy nie osiąga wartości 0 (rys. 7). W dalszym ciągu przez skrót WR będą rozumiane WR 1. rodzaju. Przy omawianiu WR 2. rodzaju określenia „2. rodzaju” będą wyraźnie zaznaczone. Skróty: WR 1, WR 2, WR 3...

¹⁾ Odkryte przez J. P. Gassiota w r. 1860. Rys historyczny — patrz Valle [14], str. 475.

2. Wzory zasadnicze.

Układ 1.

Prąd w okresie ładowania:

$$i_k = \frac{U - u_k}{R} = C_k \frac{d u_k}{d t}$$

Długość okresu ładowania:

$$t_1 = \int_0^{t_1} d t = \int_{V_0}^{V_z} \frac{C_k R}{U - u_k} d u_k = C_k R \ln \frac{U - V_0}{U - V_z}$$

Napięcie w czasie ładowania:

$$u_k = U - (U - V_0) e^{-\frac{1}{C_k R} t}$$

Prąd ES w okresie wyładowania cząstkowego:

$$i = \frac{U - v}{R} - C_k \frac{d v}{d t}$$

Układ 2.

$$i_k = i_s = C_k \frac{d u_k}{d t}$$

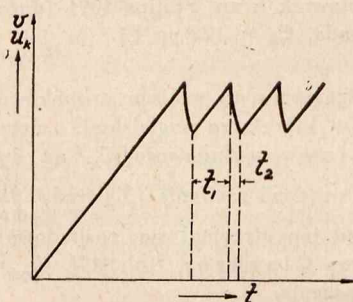
(i_s — prąd nasycenia W).

$$t_1 = \int_0^{t_1} d t = \frac{C_k}{i_s} \int_{V_0}^{V_z} d u_k = \frac{C_k}{i_s} (V_z - V_0)$$

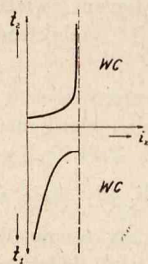
$$u_k = V_0 + \frac{i_s}{C_k} t \text{ (zależność liniowa, por. rys. 3)}$$

$$i = i_s - C_k \frac{d v}{d t}$$

Ścisłych wzorów na długość okresu wyładowania nie można ułożyć, wobec naogół nieznanymi własności ilościowych charakterystyk dynamicznych ES. Wzory przybliżone



Rys. 3. Schematyczny przebieg napięcia w układzie 2 (t_1 — okres ładowania, t_2 — okres wyładowania).



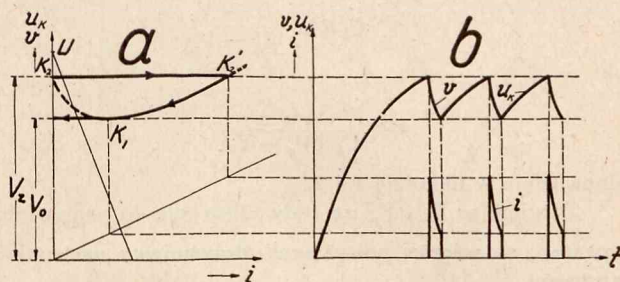
Rys. 4. Schematyczny przebieg krzywych: $t_1, t_2 = \varphi(i_z)$ ($U, V_z, V_0, C_k, \frac{i}{v}$ — stałe) Valle ([14], rys. 2).

na t_2 ([14], [23]) mają małą wartość praktyczną i teoretyczną, dlatego nie będą podane. Zaznaczę jednak, że Valle mu ([14], str. 478) udało się przy ich pomocy wytłumaczyć jedną z osobliwości WR. Valle przyjął mianowicie V_z, V_0 , przewodność ES (t. zn. $\frac{i}{v}$) za stałe i wyznaczył zależność długości okresu ($t_1 + t_2$) od prądu zasilającego²⁾. Z rys. 4, do którego doprowadziło powyższe obliczenie, wynika, że częstotliwość WR rośnie przy wzroście prądu zasilającego prawie do samej granicy między WR i WC. Bezpośrednio przed tą granicą f zaczyna jednak maleć skutek wydłużania się t_2 . Według Valle go (l. c. str. 480) to malenie jest dlatego zwykle przeoczone, że zakres i_z , w którym występuje, jest b. wąski (węższy, niż na rys. 4) i że przypadkowe niestałości własności ES lub R (W) powodują odrazu przeskok z WR do WC. Poza tym zakresem obowiązuje przybliżone prawo $f = \text{const. } i_z$ (patrz dalej; przybliżone wzory).

²⁾ Prąd ten przyjęto za stały, stosownie do założenia, że U jest dużo większe od v (założenie nie zawsze dopuszczalne).

3. Charakterystyka dynamiczna ES w dawnym ujęciu.

Do wzorów na t_1 wchodzi wielkości V_z i V_0 . W pierwszym przybliżeniu wielkości te można przyjąć za stałe co wynika z dawniej przypuszczanych (np. przez Geffckena a [6]) przebiegów w czasie wyładowania cząstkowego. Przebiegi te są przedstawione na rys. 5³⁾. Po włączeniu UWR



Rys. 5.

a) przebieg charakterystyki dynamicznej (linje grube) i statycznej ES (linje grube przerywane), b) przebiegi napięć i prądów w UWR w funkcji czasu. (Friedländer [12]).

następuje okres ładowania C_k aż do napięcia zapłonu V_z następnie skok prądu, przebieg wzdłuż charakterystyki statycznej, nowy skok prądu i okres ładowania. W tym ujęciu wielkości V_z i V_0 można wprost określić z charakterystyki statycznej.

Nie wnikając w dawniejsze uzasadnienia przebiegów z rys. 5, zatrzymamy się dłużej na ostatniem tłumaczeniu, podanem przez Friedländera [12]. Opiera się ono na następujących założeniach:

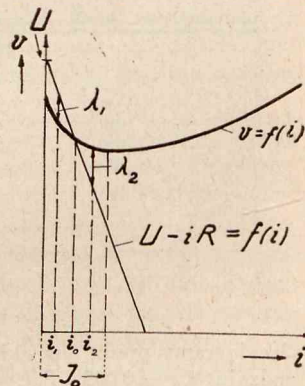
a) Prąd i_1 (rys. 6) jest możliwy tylko w warunkach dynamicznych, przyczem napięcie λ_1 musi być pokryte przez spadek napięcia na R, wywołany prądem ładowania C_k do wyższego napięcia (λ dodatnie). Zatem napięcie v , odpowiadające i_1 , rośnie, a i_1 maleje.

b) To samo dotyczy prądu i_2 z tą różnicą, że λ jest wywołane przez prąd rozładowujący C_k , oraz że i_2 rośnie.

c) Wobec powyższego równowaga prądu i_0 jest chwiejna: przy dowolnie małej zmianie tego prądu następuje automatycznie dalsza zmiana w tym samym kierunku. Wobec niemożności uzyskania w warunkach rzeczywistych idealnej stałości prądu, istnienie statyczne prądu i_0 jest niemożliwe.

d) Przeprowadzając analogiczne rozważania, dojdziemy do wniosku, że równowagę stałą prądu i_0 można uzyskać, o ile $i_0 > I_0$.

Jeśli $i_0 < I_0$ to po włączeniu UWR następuje wzrost napięcia na ES aż do V_z . W chwili zapłonu (K_2 , rys. 5) λ jest dodatnie, ponieważ jednak charakterystyka $v = \varphi(i)$ nie pozwala na wzrost v , musi nastąpić skok do stanu określonego punktem K'_2 . Ale w K'_2 λ jest ujemne, wobec czego v spada aż do K_1 . W K_1 następuje nowy skok prądu z przyczyn podobnych, jak skok w K_2 .



Rys. 6.

Przebieg charakterystyki statycznej ES (krzywa $v = f(i)$) i przebieg napięcia na elektrodach ES w funkcji prądu w założeniu, że oporność między elektrodami może być dowolna (prosta $U - iR = f(i)$). (Friedländer, [12]).

³⁾ Za Haudec'iem wykres analogiczny do rys. 5 podaje także inż. A. Jellonek (Przeł. Radj., 1933, z. 24).

4. Przybliżone wzory, określające częstotliwość.

Na rys. 3 uwidoczniła jest jedna ze stwierdzonych doświadczalnie charakterystycznych cech WR: krótkość okresu wyładowania w porównaniu z okresem ładowania. Z tego względu w przybliżeniu można założyć, że

$$f \approx \frac{1}{C_k R \ln \frac{U - V_0}{U - V_z}}$$

lub

$$f \approx \frac{i_s}{C_k (V_z - V_0)}$$

odpowiednio w układzie 1 i 2.

Przyjmując V_0 i V_z za stałe, stosownie do poprzednich rozważań, ze wzorów powyższych otrzymujemy następujące zależności

dla układu 1:

a) $f = \frac{\text{const.}_1}{C_k}$, gdy U i R stałe.

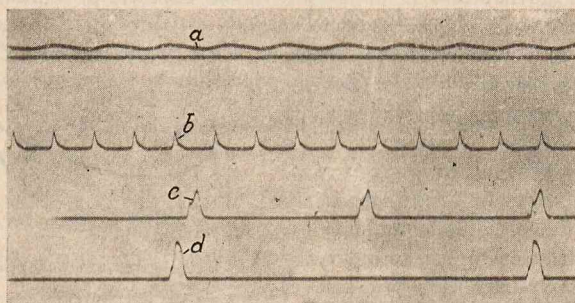
b) $f = \frac{\text{const.}_2}{R}$, gdy U i C_k stałe.

dla układu 2:

c) $f = \frac{\text{const.}_3}{C_k}$, gdy i_s stałe.

d) $f = \text{const.}_4 \cdot i_s$, gdy C_k stałe.

Zależności powyższe są rzeczywiście w przybliżeniu słuszne (por. rys. 7), chociaż próby obliczenia stałych $\text{const.}_1, \text{const.}_2, \dots$ prowadzą zwykle do fałszywych wyników. Penning ([10], str. 188) stwierdził np. różnice między częstotliwością zmierzoną i obliczoną, dochodzące do 50%, Haak ([15], str. 121) — nawet kilkakrotnie!



Rys. 7.

Oscylogramy prądu i w ukł. 2, zdjęte przez autora. a) WR2. rodzaju: $C_k = 0,005 \mu\text{F}$, $i_s = 13,3 \mu\text{A}$. b, c, d) WR2. rodzaju: $i_s = 10,7 \mu\text{A}$, C_k kolejno 0,001; 0,005; 0,010 μF . Rys. ilustruje przybliżoną słuszność wzoru $f = \frac{\text{const.}_3}{C_k}$. Przebiegi chwilowe prądu nie są zupełnie ścisłym obrazem rzeczywistości, wskutek odkształceń wprowadzonych przez oscylograf pętlący.

5. Przyczyny nieściśłości wzorów przybliżonych.

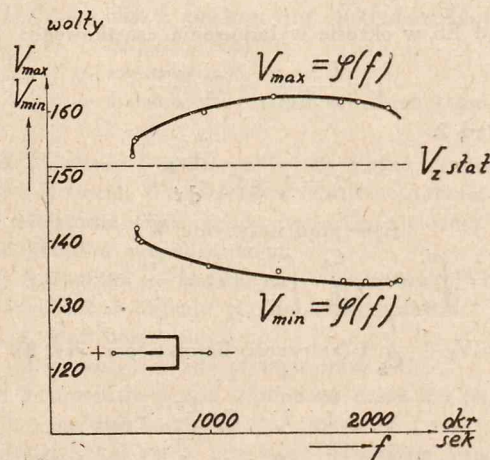
A. Pominięcie okresu t_2 przy obliczaniu f niezawsze jest dopuszczalne. Przyczyna ta łączy się ze ścisłym wyznaczeniem granicy między okresem ładowania i wyładowania (porównaj niżej; omówienie chwili występowania V_{\min}).

B. Niedopuszczalność określenia V_0 i V_z z charakterystyki statycznej.

1. Penning [10], Haak [15], J. L. Jakubowski i in. mierzyli największe i najmniejsze chwilowe napięcia (V_{\max} i V_{\min}), występujące na ES podczas WR. Zgodnie

z rys. 5 wielkości te powinny być równe V_z i V_0 ; tymczasem nie było to spełnione (rys. 8). Penning wstawiał zmierzone V_{\max} i V_{\min} do wzorów przybliżonych i uzyskiwał zgodność dużo lepszą (11 ÷ 21%, zamiast ok. 50%), niż przy stosowaniu V_z i V_0 z charakterystyki statycznej. Nie znaczy to jednak, aby V_{\max} i V_{\min} można było a priori utożsamiać z V_z i V_0 występującymi rzeczywiście w warunkach dynamicznych, t. zn. podczas WR. Przeciwnie, w stosunku do V_{\min} taki pogląd jest napewno niesłuszny.

Zmniejszenie się V_{\min} poniżej wartości statycznej Penning tłumaczy tem, że zgaszenie ES następuje przy prą-



Rys. 8.

a) Przebieg V_{\max} i V_{\min} w funkcji f według pomiarów autora. Element świetlący: prostownik firmy Philips 1091 (duża elektroda — katoda, $C_k = 122 \mu\text{F}$).

dzie nierównym 0 i że po zgaszeniu ma miejsce stosunkowo powolne zanikanie prądu (w literaturze angielskiej: „clear up”). Prąd po zgaszeniu wyładowuje C_k aż do chwili, gdy staje się równy prądowi zasilania i_z (wtedy $\frac{dv}{dt}$ staje się równe 0⁴⁾). Pogląd ten utrzymał się; rozbudował go i ujął ilościowo zwłaszcza Clarkson [16], [17]. V_{\min} nie jest więc napięciem zgaszenia.

2. Przyczyny nierówności: $V_{\max} \neq$ statyczne V_z mogą być według Penninga [10] następujące:

a) Quasistatyczne ustalenie warunków (np. temperatury) w ES.

b) Obecność lub nieobecność koniecznej ilości elektronów w odpowiednich miejscach gazu (opóźnienie zapłonu przy traktowaniu zapłonu jako zjawiska statystycznego).

c) Pozostała po poprzednim wyładowaniu koncentracja pola elektrycznego w pobliżu katody.

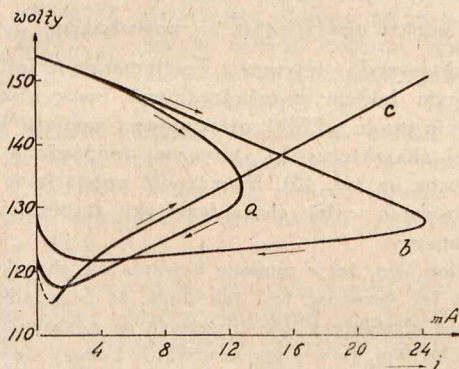
d) Stopniowe rozwijanie się procesu zapłonu (prądu) ES (v rośnie aż do chwili spełnienia równości $i = i_z$).

W razie występowania tylko przyczyn a), b), c), napięcie V_{\max} byłoby równe rzeczywistemu (dynamicznemu) napięciu zapłonu. Przyczyna d) powodowałaby nierównowagę wzmiankowanych napięć.

Autorzy prac [5], [6], [8], [10], [14], [15] starali się wytłumaczyć zależność V_{\max} od częstotliwości, biorąc pod uwagę jedną lub kilka z powyższych przyczyn. Wszyscy oni uważali powoli znikające ładunki przestrzenne poprzedniego wyładowania cząstkowego za źródło jonów, mających wpływ na wielkość V_{\max} .

⁴⁾ Stosownie do definicji oznaczenie v jest stosowane dotąd, dopóki ES przepuszcza prąd.

Najbardziej prawdopodobna jest hipoteza R o t h e g o [22]⁵⁾ sprawdzona częściowo doświadczalnie, która tem się różni od założeń poprzednich autorów, że — biorąc za podstawę przyczynę b) — przyjmuje inne, niż ładunek przestrzenny, źródło wolnych jonów w gazie. Hipoteza ta całkowicie tłumaczy przebieg $V_{max} = \varphi(t)$. R o t h e zakłada, że przez ułożenie się atomów obcych przy powierzchni katody powstają podwójne warstwy elektryczne (influencyjne działanie ładunku elektrody na warstwę, osiadanie nośników elektryczności). Część ich tworzy się podczas każdego wyładowania cząstkowego i rozpada po jego zgaszeniu; są to elementy krótkotrwałe warstw. Elementy te wysyłają przy rozpadzie jony i elektrony, które — według R o t h e g o⁶⁾ — wywołują właśnie prąd pozgaszeniowy. Obecność w gazie tych nośników elektryczności przyczynia się do zniżenia V_{max} , istnienie zaś samych warstw (elementów długotrwałych) ma działanie podwyższające V_{max} . Przy krótkich okresach nieczynności ES (duże f) przeważa wpływ pierwszego czynnika, przy długich — drugiego, przy b. długich, gdy ulegną rozkładowi nawet elementy długotrwałe warstw, znika wpływ obu czynników.



Rys. 9.

Charakterystyka statyczna ES i dynamiczna (WR1) zdyktowana oscylografem katodowym przez Leyshona ([21], rys. 5). a) ch. dynamiczna przy małym C_k (0,003 μ F, 604 okr./sek), b) ch. dynamiczna przy dużym C_k (0,05 μ F, 72 okr./sek), c) ch. statyczna. Układ 1: $R = 100$ k Ω , ES — lampa spiralkowa.

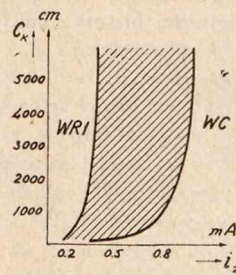
6. Charakterystyka dynamiczna WR w nowym ujęciu.

Rozważania poprzedniego rozdziału stwierdzają, że skok prądu nie występuje w chwili zgaszenia (por. rys. 5). Nasuwa się pytanie, czy wogóle przebiegane są stany między

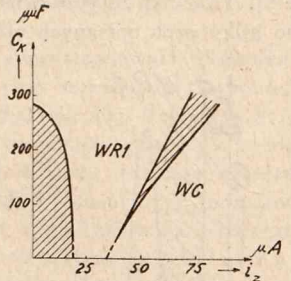
⁵⁾ Do założeń tej hipotezy (r. 1930) bardzo zbliżone są rozważania Clarksona (r. 1927, [16], str. 125 i n.). Już ten badacz zwrócił uwagę na możliwość trwałej lub czasowej modyfikacji powierzchni katody przez gaz (warstwy polaryzacyjne), która albo utrudnia przepływ elektronów, albo nie dopuszcza do intensywnego ich wytwarzania. Autor ten przyjął jednak — po szczegółowej dyskusji — za przyczynę nierówności $V_{max} \neq f(V_z)$ powolny wzrost prądu po zapłonie (zjawisko „build up”), co niezupełnie daje się pogodzić z nowszymi badaniami. Czas „build up” według obliczeń Clarksona jest rzędu 0,001 — 0,01 sek, a czas powstawania wyładowania świetlającego według pomiarów Steenbecka (Zeitschr. f. techn. Phys. 10/1929, str. 480) — rzędu 10^{-6} sek.

⁶⁾ Według Penninga prąd ten jest wynikiem znikania ładunków przestrzennych; stosownie do obliczeń R o t h e g o ładunki te muszą zniknąć już w czasie rzędu 10^{-10} sek, a długość okresów ładowania jest zwykle rzędu 10^{-2} — 10^{-3} sek. Zresztą, jak słusznie zauważył R o t h e, jest nieprawdopodobne, aby ładunki przestrzenne mogły dostarczyć ilość nośników elektryczności, potrzebną np. do wyładowania pojemności 1 000 μ F o 40 ÷ 60 V.

punktami K'_2 i K'_1 (rys. 5) charakterystyki statycznej. Badania H a a k a dają odpowiedź przeczącą. Autor ten stwierdził, że maksymalny prąd wyładowania cząstkowego (i_{max}), zupełnie nie odpowiada charakterystyce statycznej, a zmienia się tak, jak wielkość V_{max} . H a a k stąd wnioskuję, że



Rys. 10.
Granice WR1. rodzaju dla ES, badanego przez Geffckena [6].



Rys. 11.
Granice WR1. rodzaju dla ES, badanego przez Penninga ([10], rys. 8).

prąd i_{max} jest funkcją całkowitego ładunku, jaki przepływa przez ES w ciągu wyładowania cząstkowego [t. zn. $C_k (V_{max} - V_{min})$] i jest tem większy, im ten ładunek jest większy. Wynika stąd, że prąd musi być największy przy końcu wyładowania cząstkowego („...die Glimmlampe zu Beginn der Entladung nicht wissen kann, welche Elektrizitätsmenge sie zu bewältigen haben wird...” [15], str. 132). Ten pogląd potwierdzają oscylogramy zdjęte przez L e y s h o n a [21] zapomocą oscylografu katodowego. Otrzymane z nich wykresy (rys. 9) wskazują wyraźnie, że przebiegi charakterystyki statycznej i dynamicznej WR różnią się zasadniczo⁷⁾.

Na podstawie powyższego schemat wyładowania cząstkowego będzie następujący:

1. Zapłon. Wielkość napięcia zapłonu V_z zależy od stanu warstw podwójnych na katodzie.

2. Po zapłonie napięcie maleje, prąd rośnie, co jest przyczyną osiągnięcia przez napięcie v wartości, poniżej której wyładowanie samodzielne (świetlące) jest niemożliwe. Wtedy następuje zgaszenie⁸⁾.

3. Prąd pozgaszeniowy połączony z dalszym spadkiem napięcia v poniżej napięcia zgaszenia, wskutek wyładowania C_k przez ten prąd.

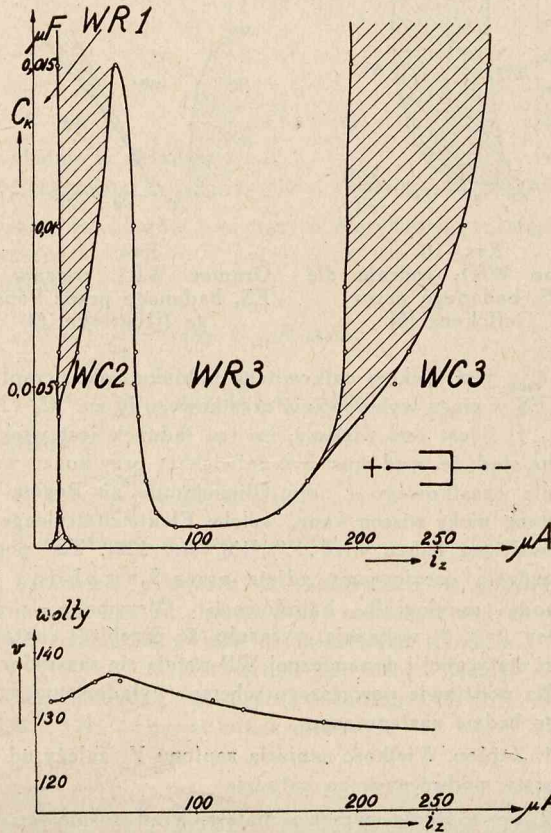
7. Granice zakresu WR 1. rodzaju.

Wyznaczenie granic prądu zasilającego, w których zjawiają się WR 1. rodzaju, jest równie ważne dla celów pomiarowych, jak określenie zależności częstotliwości od parametrów elektrycznych UWR. Rys. 10—13, odnoszące się do układu 2, podają wybór z materiału doświadczalnego dotychczasowych badań. Oczywiście wykresy należy rozumieć wyłącznie jakościowo, gdyż ES używane przez poszczególnych autorów miały różne własności.

⁷⁾ Wykres L e y s h o n a nie zgadza się z przebiegiem przyjętym w teorii Vallego, naogół b. dużo tłumaczącej ([14], str. 485). Prąd i_{max} z wykresu L e y s h o n a nie leży na linii zgaszeń V a l l e g o ($A_0 M_0$, por. rys. 3, l. c.), ani nie odpowiada charakterystyce $S'' M'' V'' A''$ (rys. 3, l. c.), która może być przebiegana tylko w przypadku istnienia obwodu oscylacyjnego (R, L, C). Wobec doświadczalnego charakteru wykresu L e y s h o n a i teoretycznego — schematu Vallego, ostatni musi ulec modyfikacji.

⁸⁾ Rys. 6 w pracy H a a k a [15] oraz rys. 123 w pracy F r a n c k a [23] zaciemniają istotę rzeczy. Wszak gałąź odnosząca się do charakterystyki dynamicznej nie ma żadnego znaczenia fizycznego. To samo dotyczy tłumaczenia H a a k a przebiegu charakterystyki dynamicznej na wykresie charakterystyki statycznej ([15], str. 129), chyba że H a a k chce w ten sposób wskazać tylko na analogię przebiegu obu charakterystyk.

W zakresach zakreskowanych na rys. 10—13 powstają bądź wyładowania ciągłe (WC) bądź relaksacyjne (WR) w zależności od tego, czy przy osiągnięciu danego stanu⁹⁾ przechodzono z zakresu wyładowań ciągłych, czy relaksacyjnych. Wystarczające wytłumaczenie tego zjawiska nie istnieje¹⁰⁾. To samo dotyczy właściwie w ogóle granic WR, pomimo kilku prób opisanych niżej w kolejności historycznej.



Rys. 12.

Granice WR1. i 3. rodzaju dla ES, badanego przez autora referatu (prostownik firmy Philips 1091, duża elektroda — katoda). Duże C_k . Krzywa dolna — charakterystyka statyczna. WR1 występują na pierwszej opadającej gałęzi charakterystyki, leżącej na lewo od pierwszego zaznaczonego punktu, WR3 — na drugiej skolei gałęzi opadającej.

1. Zastosowanie warunków K a u f m a n n a (patrz np. [20]) na wystąpienie wyładowania ciągłego ($R > -\frac{dv}{di}$, $\frac{1}{RC_k} + \frac{1}{L} \frac{dv}{di} \geq 0$), uproszczonych przez założenie w nich $L = 0$ ¹¹⁾. Warunki te, przy powyższym założeniu, sprowadzają się do jednego: $R > -\frac{dv}{di}$ ([14], str. 481). Jaskrawym przykładem niezgodności tego „uproszczonego” warunku ze zjawiskami w UWR jest występowanie WR w układzie 2 (prąd zasilający nie zależy od v , co odpowiada $R = \infty$). Przyczyna niezgodności, jak zauważył Seeliger ([19], str. 97), leży głównie w niedopuszczalności wstawiania $L = 0$ do wzorów ogólnych. $L = 0$ należy uwzględnić już w równaniach różniczkowych.

2. Uwzględnienie indukcyjności własnej ES. Herweg [3] założył, że ES przedstawia indukcyjność, wywołaną

⁹⁾ Przez zmianę prądu zasilającego.

¹⁰⁾ Tłumaczenie Geffckena jest zawarte w punkcie 3 (patrz dalej). Valle ([14], str. 490) uważa za przyczynę t. zw. powolną histerezę.

¹¹⁾ L — indukcyjność szeregową z ES.

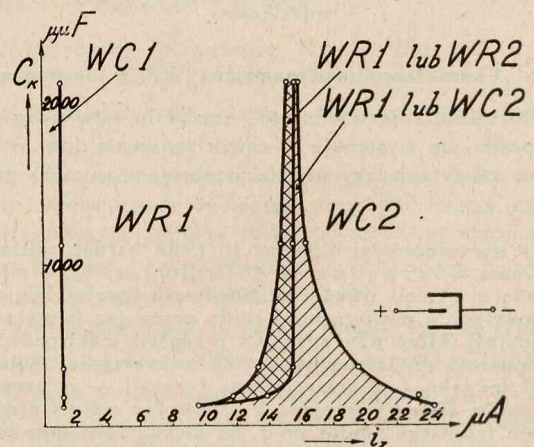
histerezą wyładowania (analogja do teorii łuku Simona). Stosując pełny warunek K a u f m a n n a do stanów granicznych między WR i WC, Herweg określił ową indukcyjność hysteretyczną (dziesiątki ÷ tysiące henrów). Znaczenie fizyczne otrzymanej wielkości jest b. małe, jak słusznie zauważył Penning ([10], str. 194), gdyż nie jest ona stała dla danego ES i danego prądu. Nieściśłość popełniona przez Herwega polega, według Penninga (l. c.), na określeniu $\frac{dv}{di}$ z charakterystyki statycznej, podczas gdy zmiany dynamiczne v , i nie muszą koniecznie odpowiadać tej charakterystyce.

3. Inna interpretacja warunku K a u f m a n n a. Geffcken [6] potrafił pogodzić warunek „uproszczony” z występowaniem WR nawet w razie zasilania UWR przez wentyl nasycony. Zgodnie z dawnym poglądem na charakterystykę dynamiczną (patrz rys. 5) WR powstaną zawsze — jak zauważył Geffcken — gdy prąd $i_0 < I_0$, nawet gdy linia $U - iR$ jest b. stroma, lub pionowa. Konieczne jest tylko, aby prąd zasilający był zwiększany począwszy od 0. Przeciwnie, jeśli prąd zaczniemy zmniejszać od wartości, przy której już było wyładowanie ciągłe, powinno się uzyskiwać wszystkie punkty opadającej (t. zn. posiadającej $\frac{dv}{di} < 0$) gałęzi charakterystyki statycznej. To tłumaczenie jest poparte następującym faktem doświadczalnym: rzeczywiście, przy zmniejszaniu prądu od WC, otrzymujemy zamiast WR część opadającej charakterystyki statycznej (odpowiada jej pole zakreskowane na rys. 10). Niemożność przejścia w omawianych warunkach całej charakterystyki statycznej Geffcken tłumaczy:

a) albo tem, że w punkcie urwania się charakterystyki statycznej jej stromość jest tak duża, że przypadkowe odchylenia od charakterystyki prowadzą do zgaszenia ES;
b) albo tem, że w punkcie urwania kończy się charakterystyka statyczna.

Geffcken [6] i Penning ([10], str. 194) przychylają się do tłumaczenia a). Tłumaczenie b) zbliża się do zapatrywania Vallego (patrz punkt 4).

Jak wynika z powyższego, granicą naturalną WR — według Geffckena (i Haaka [15]) — przy zwiększaniu



Rys. 13.

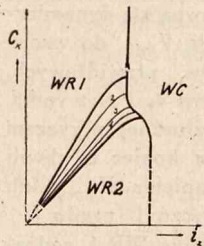
Jak rys. 12. Małe C_k .

prądu zasilającego (i_s , układ 2), jest prąd odpowiadający zagięciu charakterystyki statycznej między jej gałęzią opadającą i wznoszącą się¹²⁾. Niezjawianie się WR, mające

¹²⁾ Stosownie do zdania wymienionych autorów zagięcie to odpowiada przejściu od spadku katodowego normalnego do anormalnego; z poglądem tym nie zgadza się Valle ([14], str. 482).

często miejsce dla prądów mniejszych, autorzy ci tłumaczą wolnym znikaniem jonów po zgaszeniu, które może doprowadzić — dla bardzo dużych częstotliwości (a więc dużego prądu zasilającego) — do zrównania napięcia zapłonu i napięcia zgaszenia. Wyładowanie przybiera wtedy postać ciągłego mimo, że granica naturalna i_s nie została osiągnięta.

4. Zaprzeczenie istnienia opadającej gałęzi ($\frac{dv}{di} < 0$) charakterystyki statycznej. Zaprzeczenie to Valle ([14], str. 481) opiera na teoretycznej — według jego za-



Rys. 14. Teoretyczny schemat rozkładu obszarów różnych rodzajów WR według Vallego ([14], rys. 5).

patrywania — niemożności wzrostu napięcia przy quasistatycznym zmniejszaniu prądu wyładowania świetlącego bez zorzy dodatniej, o ile były już utworzone ładunki przestrzenne tego gatunku wyładowania¹³⁾. Granica WR jest więc równoznaczna, według Vallego, z początkiem charakterystyki statycznej. Innymi słowy: nie dlatego występują WR, że charakterystyka statyczna jest opadająca lecz dlatego, że jej wcale nie ma w danym zakresie. Znajdowane doświadczalnie części opadające tej charakterystyki są w tym ujęciu wynikiem błędów pomiaru, mianowicie wzięcia WR 2. rodzaju za WC. Między innymi rys. 10 jest według Vallego nieścisły, a przebieg rzeczywisty ma odpowiadać schematycznemu rys. 14 (dla małych i_z i C_k WR 2. rodzaju, a nie WC!).

Pomiary Penninga, Haaka i autora referatu stwierdziły ponad wszelką wątpliwość możliwość istnienia przy małych C_k charakterystyki statycznej opadającej (pomiar v metodą kompensacyjną, ([24], str. 96). Autor niniejszej pracy stwierdził nawet w jednym z przypadków współistnienie (oczywiście niejednoczesne) charakterystyki statycznej opadającej i WR 1. rodzaju¹⁴⁾ (rys. 15). Wyładowania 2. rodzaju zjawiały się (niezawsze!) tylko w niewielkim zakresie tej charakterystyki.

Omawiając wyniki pomiarów Penninga, Valle ([14], str. 503) podtrzymuje w dalszym ciągu przypuszczenie, że na części opadającej charakterystyki statycznej występują WR 2. rodzaju, przyczem przypisuje im b. małą różnicę $V_{max} - V_{min}$, leżącą w granicach dokładności metod pomiaru V_{max} i V_{min} ¹⁵⁾ (wyładowanie „pseudociągłe”). Ten pogląd nie został dotąd stwierdzony doświadczalnie.

5. Zastosowanie prawidłowo wyprowadzonych warunków Kaufmanna dla $L = 0$, $C_k \neq 0$ ([11], [19], [20]). Warunki te sprowadzają się do nierówności $R < -\frac{dv}{di}$ (stan ustalony), to znaczy dają wyniki wprost przeciwne niż

¹³⁾ Ten pogląd Vallego jest związany ze stałością normalnego spadku katodowego, t. j. spadku występującego, gdy katoda nie jest pokryta całkowicie poświatą ujemną. Malenie napięcia przy quasistatycznym wzroście prądu jest charakterystyczne, według Vallego, tylko dla wyładowań świetlających z zorzą dodatnią. Penning ([10], str. 195) jest innego zdania; według niego istnienie opadającej gałęzi charakterystyki statycznej może być również wywołane zjawiskami przy anodzie.

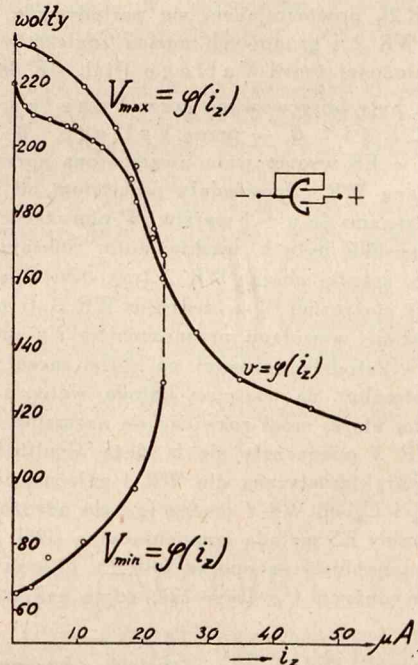
¹⁴⁾ Występowanie jednej, lub drugiej formy wyładowania było zależne od sposobu regulacji prądu zasilającego. Bliższe szczegóły będą opublikowane w artykule autora w Prz. El. w r. b.

¹⁵⁾ 0,5 V przy pomiarach Haaka ([15], str. 127). 2 V przy pomiarach Penninga ([10], str. 195).

„uproszczony” warunek (patrz wyżej, punkt 1)¹⁶⁾. Na ich podstawie opiera się podane wyżej tłumaczenie Friedländera, odnoszące się do rys. 6.

Warunek prawidłowo wyprowadzony nie rozwiązuje jednak zagadnienia, o czym świadczy istnienie stanów ustalonych na opadającej gałęzi charakterystyki statycznej w UWR 2.

6. Zastosowanie kryterjów niewystępowania niezanikających prądów wyrównawczych przy naruszeniu równowagi i uwzględnienie charakterystyki dynamicznej. Powyższe kryteria sprowadzają się do warunku ujemnej wartości α w wyrażeniach postaci $Ae^{(\alpha + j\beta)t}$, których suma jest rozwiązaniem równania różniczkowego na v , lub i . Stosując je formalnie do UWR, otrzymujemy warunki Kaufmanna. Oznacza to, że nowością w opisywanym rozwiązaniu Dällenbacha [13] jest tylko uwzględnienie charakteru dynamicznego charakterystyki ES. Wprawdzie już Herweg [3] brał pod uwagę ten charakter (chęć wyznaczenia indukcyjności hysterezy), ale jednocześnie korzystał z charakterystyki statycznej dla określenia $\frac{dv}{di}$. Dällenbach, w przeciwieństwie do Herwega, do równań zastosował wielkości z charakterystyki dynamicznej, otrzymanej w sposób analogiczny do zastosowanego w teorii łuku Simona (parametr S związany z ilością zjonizowanych cząstek w gazie). Wyniki dość skomplikowanych rachunków są jakościowo zgodne z zakresami WR, otrzymanymi przez Penninga (rys. 11). Dzięki temu, założenia Dällenbacha są obecnie najbardziej prawdopodobnym rozwiązaniem



Rys. 15.

Przebieg charakterystyki statycznej (v) i krzywych V_{max} i V_{min} w funkcji $i_z (= i_s)$ według pomiarów autora referatu. ES — prostownik RGN 1500 firmy Telefunken (duża elektroda — katoda, jedna z małych elektrod połączona z katodą). Rys. uwiadamia współistnienie wszystkich wymienionych krzywych.

sprawy granic WR, jakkolwiek formalność założeń co do przebiegu charakterystyki dynamicznej może budzić nieufność.

¹⁶⁾ Warunek „uproszczony” jest słuszny, ale dla szeregowego połączenia indukcyjności z idealnym ES, nie posiadającym indukcyjności.

8. Wyładowania relaksacyjne 2. i 3. rodzaju.

Pod nazwą WR 2. rodzaju będą rozumiane WR, których zakresy sąsiadują z WR 1. rodzaju i podczas których prąd nigdy nie spada do 0. WR 2. są związane z tą samą gałęzią opadającej charakterystyki statycznej, co WR 1. Terminologia Vallego [14] jest co do WR 1. i WR 2. zgodna z użytą w niniejszym referacie. Natomiast termin „WR 3., 5.,... i t. d. rodzaju”¹⁷⁾ został wprowadzony przez autora referatu na oznaczenie WR, związanych z następującymi po pierwszej, niezależnymi od niej częściami opadającej charakterystyki statycznej. WR 3 charakteryzują się, podobnie jak WR 2, nieprzechodzeniem chwilowej wartości prądu i przez 0, odpowiadają jednak, z punktu widzenia genetycznego, WR 1.

WR 2 mają małe znaczenie dla miernictwa elektrycznego ze względu na wąskość i niestałość ich zakresów oraz b. małą wielkość amplitudy prądów i napięć. Np. w przypadku z rys. 12 zakresy te były tak wąskie, że nie można było uwidocznić ich na wykresie. Jak stwierdził autor referatu WR 2 mogą występować zarówno w pobliżu większo-, jak i mniejszo-prądowej¹⁸⁾ granicy zakresu WR 1. W obu przypadkach łatwo je odróżnić od WR 1 po wysokości i sile tonu odpowiednio włączonej słuchawki (ważne dla techniki pomiarowej). Odmianą WR 2 są opisane najpierw przez Vallego ([14], str. 487 i [10], str. 195) wyładowania grupowe, których zakresy są jeszcze węższe, niż zakresy WR 2. Na rys. 14 zakresy te, oznaczone wprost cyframi: 2, 3..., są naumyślnie powiększone, dla uwidocznienia ich na wykresie. Charakteryzują się one łączeniem się WR w grupy (WR 1 i kilku WR 2), powtarzającym się periodycznie. Szczegóły dotyczące WR 2 i grupowych można znaleźć w b. konsekwentnie ułożonej teorii Vallego ([14], str. 487)¹⁹⁾.

WR 3. były obserwowane przez Penninga ([10], str. 195) a WR 3, 5 i t. d. — przez Vallego. W przypadku Vallego w ES występowała uwarstwiona zorza dodatnia, a wspomniane WR odpowiadały przejściom od wyładowania z n warstwami do $n + 1$ warstw. W powyższych przypadkach zakresy WR były b. wąskie; autor referatu stwierdził natomiast b. szeroki obszar WR 3 (rys. 12). Opadanie charakterystyki statycznej²⁰⁾ w zakresie WR 3 (rys. 12) było prawdopodobnie wywołane przenoszeniem się wyładowania z rozpórki w katodzie walcowej, na której zaczął powstawać spadek anormalny, na właściwą katodę, walec o dużej powierzchni, na której mógł rozwinąć się normalny spadek katodowy. WR 3 odznaczały się b. dużą amplitudą prądu i i na oko charakterystyczną dla WR 1 zależnością częstotliwości od i_s i C_k ; od WR 1 można je było odróżnić, mierząc prąd minimalny ES metodą kompensacyjną ([23] str. 96, pomiar spadku napięcia na oporze 10 k Ω). Charakterystyczne jest, że dla dużych C_k (rys. 12), gdzie zakresy WR 1 i

¹⁷⁾ Nazwy „WR 4, 6...” zostały zarezerwowane dla WR grających taką rolę w stosunku do WR 3, 4..., jaką grają WR 2 względem WR 1. WR 4 występują np. na granicach zakresów WR 3 (patrz dalej) i różnią się od WR 3 b. małą amplitudą zmian i i v .

¹⁸⁾ Trudno bez specjalnych badań osądzić, czy ostatnio wzmiankowane wyładowania nie odpowiadają czasem WR 1 na charakterystyce „korony”, odkrytym przez Clarksona ([16], str. 130). Zresztą sprawa ta nie jest ważna dla miernictwa; to samo dotyczy przypisywania wyładowaniom ciągłym dla najmniejszych prądów (rys. 13) charakteru wyładowań Townsenda czyli „korony” (Seeliger i Schmekel [7]).

¹⁹⁾ Zwolennikiem tej teorii jest Seeliger [19].

²⁰⁾ Istnienie tej charakterystyki dla małych C_k wskazuje jeszcze raz na niesłuszność zapatrywania Vallego, widzącego źródło WR w nieciągłości charakterystyki statycznej.

WR 3 stykają się z sobą, zastosowanie metody kompensacyjnej pozwalało zawsze odróżnić obie formy wyładowania²¹⁾.

9. Wnioski.

Rozważania referatu prowadzą do następujących wniosków ogólnych:

1. Wzory na częstotliwość są nieściśle. Przyczyna tego leży w niedopuszczalności stosowania V_z i V_0 , określonych z charakterystyki statycznej, i w niesłuszności pomijania okresu wyładowania (t_2). Według obecnych zapatrywań największe napięcie (V_{max}) występujące na ES jest równe lub prawie równe dynamicznemu napięciu zapłonu i jest różne od statycznego V_z . Przeciwnie, V_{min} nie równa się dynamicznemu V_0 , ale jest mniejsze. Ani wstawienie V_{min} do wzoru na f , ani wstawienie V_0 nie da wyników prawidłowych. Z dokładnej analizy rozgraniczenia okresów t_1 i t_2 wynika, że wzory teoretyczne są zasadniczo niesłuszne, przyczem ma to miejsce zarówno przy uważaniu za koniec t_2 chwili rzeczywistego zgaszenia, jak chwili wystąpienia V_{min} , lub rzeczywistego zaniku (w sposób asymptotyczny!) prądu i .

2. Nie można ściśle przewidzieć granic WR 1. rodzaju. Naogół prądy graniczne WC, przy których następuje przejście do WR 1, leżą na opadającej części charakterystyki statycznej, położonej najbliżej do osi napięć. Największy prąd graniczny zasadniczo nie przekracza wielkości, odpowiadającej przejściu od charakterystyki opadającej do podnoszącej się.

3. Największa chwilowa wartość prądu i w czasie WR 1 jest tem większa, im większe jest wyrażenie $C_k(V_{max} - V_{min})$.

4. WR 3. mogą zachodzić w dużych obszarach prądów i_z i mogą być łatwo wzięte za WR 1. Wniosek powyższy jest sformułowany w niniejszym referacie po raz pierwszy.

Przejrzymy teraz metody pomiarowe, korzystające z WR 1 rodzaju, i wskazania praktyczne, wynikające z wniosków ogólnych. Ważniejsze zastosowanie WR 1 są następujące:

a) pomiar oporności i pojemności. Dwie metody: obliczanie wielkości mierzonej ze wzorów teoretycznych (Kurcz, Würschmidt²²⁾); określanie — przez podstawienie, przy czym wskaźnikiem osiągnięcia tego samego stanu UWR jest częstotliwość (Geffcken i Richter).

b) Pomiary fotoelektryczne. Należy tutaj metoda J. H. J. Poole'a, polegająca na zastąpieniu oporu R przez komórkę fotoelektryczną i wykorzystująca zależność częstotliwości od prądu zasilania.

c) Wytwarzanie błysków światła o określonej częstotliwości. Zastosowanie do metod stroboskopowych (np. do pomiaru poślizgu silników asynchronicznych).

d) Wytwarzanie linijowych osi czasu w oscylografach katodowych.

e) Wytwarzanie prądów zmiennych (największa osiągalna częstotliwość ok. 6 000 okr./sek).

Wskazania praktyczne są następujące: ad a, b, c, e. Korzystanie z wzorów teoretycznych na f jest naogół niedopuszczalne. Można je stosować tylko wtedy, gdy sprawdziło się niezmiennosc stałych ($const_1, const_2 \dots$) i określiło ich wartości doświadczalnie. Wtedy jednak wzory mają już charakter empiryczny.

ad d. Linijowość przebiegu napięcia na ES (w czasie), uzyskiwana dzięki stosowaniu układu 2, jest zachowana tyl-

²¹⁾ Opornik szeregowy 10 k Ω , włączony w szereg z ES, miał pewien wpływ modyfikujący na wielkość zakresu WC, leżącego między obszarami WR 1 i WR 3. Przy stosowaniu tego opornika b. wąski zakres WC występował nawet dla $C_k = 0.1 \mu F$.

²²⁾ Literatura zastosowań WR znajduje się w pracach [24] i [25].

ko wtedy, gdy okres czasu między wystąpieniem V_0 i V_{min} jest krótki w stosunku do całego okresu ładowania.

ad e. Aby uzyskać duże wartości maksymalne prądu, należy stosować ES, dla których wyrażenie $C_k (V_z - V_0)$ (a więc i $C_k (V_{max} - V_{min})$) jest możliwie duże.

Referat niniejszy został opracowany w Zakładzie Miernictwa El. i Wysokich Napięć Politechniki Warszawskiej. Pod względem układu materiału, terminologii i oznaczeń wiąże się on z artykułem autora o metodzie prostownikowej, który będzie opublikowany w Przeglądzie El. w r. b.

Przy opracowywaniu niniejszego referatu autor korzystał z licznych rad i ułatwień ze strony p. prof. K. Drewnowskiego, za które składa Mu gorące podziękowanie.

LITERATURA.

1. Działy pomocnicze.

a) Wyładowania świetlące.

[1] Jakubowski, J. L. Zjawiska w rurach świetlanych z zimną katodą. Przegląd El. 1933, Nr. 9—11, publikacja Z. M. E. i W. N. Nr. 22.

b) Wyładowania ciemne, warunek Kaufmanna.

[2] Jakubowski, J. L. Podstawy fizyczne zastosowania iskierników do pomiaru wysokiego napięcia. Przegląd El. 1930, Nr. 19, 21, 23 i 24, publ. Z. M. E. i W. N. Nr. 10.

2. Prace specjalne.

[3] Herweg, J. Schwingungen und Hysteresis bei Glimmentladung. Phys. Zeitschr. XIII/1912, str. 633.

[4]²³⁾ Schallreuter, W. Ueber Schwingungerscheinungen in Entladungsröhren. Braunschweig, 1923.

[5] Mauz, E. i Seeliger, R. Ueber die dynamische Zündspannung der Glimmentladung. Phys. Zeitschr. XXVI 1925, str. 47.

[6] Geffcken, H. Zündspannung und Stabilität der intermittierenden Glimmentladung. Phys. Zeitschr. XXVI 1925, str. 241.

[7] Seeliger, R. i Schmekel J. Bemerkung über Gasentladungen bei sehr kleinen Stromstärken. Phys. Zeitschr. XXVI/1925, str. 471.

²³⁾ Praca nieznaną autorowi referatu.

[8] Valle, G. Ueber die Zündspannung der Glimmentladung, zugleich Bemerkungen zu H. Geffckens Arbeit: „Zündspannung und Stabilität der Glimmentladung“. Phys. Zeitschr. XXVI/1925, str. 495.

[9] Dällenbach, W. Zur Frage der Stabilität von Gasentladungen. Phys. Zeitschr. XXVII/1926, str. 101.

[10] Penning, F. M. Ueber die intermittierende Glimmentladung in Neon. Phys. Zeitschr. XXVII/1926, str. 187.

[11] Friedländer, E. Ueber Stabilitätsbedingungen und ihre Abhängigkeit von Steuerorganen und Energiespeichern. Phys. Zeitschr. XXVII/1926, str. 361.

[12] Friedländer, E. Ueber Kippschwingungen, insbesondere bei Elektronenröhren. Arch. f. El. XVI/1926, str. 273; XVII/1926, str. 1.

[13] Dällenbach, W. Zur Frage der Stabilität von Gasentladungen. II. Phys. Zeitschr. XXVII/1926, str. 448.

[14] Valle, G. Die diskontinuierlichen Entladungen. Phys. Zeitschr. XXVII/1926, str. 473. (Monografja).

[15] Haak, E. Ueber Glimmlichtintermittenzen. Ann. der Physik. 84/1927, str. 119.

[16] Clarkson, W. The lag in electrical discharges. Phil. Mag. 4/1927, str. 121.

[17] Clarkson, W. Condenser discharges in discharge-tubes. Phil. Mag. 4/1927, str. 1002 i 1341.

[18] Bär, R. Die Glimmentladung. Handb. d. Physik, Geiger - Scheel, XIV, 1927, str. 175—182.

[19] Seeliger, R. Einführung in die Physik der Gasentladungen, Lipsk, 1927, str. 91—115.

[20] Seeliger, R. Allgemeine Eigenschaften der selbständigen Entladungen. Handb. d. Exp. Physik, XIII, 3, 1929, str. 76—89.

[21] Leyshon, W. A. Characteristics of discharge tubes under „flashing“ conditions as determined by means of the cathode ray oscillograph. Proc. Phys. Society, London 42/1930, str. 157.

[22] Rothe, A. J. Zur Frage der Restionen in der intermittierenden Glimmentladung. Phys. Zeitschr. XXXI 1930, str. 520.

[23] Franck, S. Messentladungsstrecken (Ionenstrecken), Berlin, 1931, str. 118 — 134 (Monografja).

3. Zastosowania wyładowań relaksacyjnych.

[24] Franck, S. patrz wyżej [23].

[25] Schröter, F. Die Glimmlampe und ihre Schaltungen. Lipsk, 1932.

BADANIA METODĄ MOSTKOWĄ PÓL ELEKTRYCZNYCH, WYTWARZANYCH PRZEZ FALE USKOKOWE.

Inż. Stanisław Szpor.

Streszczenie. W dalszym ciągu prac nad mostkiem fal uskokowych przedstawione są uzupełnienia teoretyczne w sprawie czułości metody. Opisany jest mostek na 300 kV i opracowane warunki stosowania sond kulkowych.

Dokładne badania ilościowe pól bez wyładowań, np. w iskierniku walcowym, dają zgodność z wzorami elektrostatyki. Rozważania teoretyczne nad polem elektromagnetycznym uzasadniają tę zgodność. Badania jakościowe pól na powierzchni izolatorów przy wyładowaniach niepełnych pozwalają stwierdzić działanie wyładowań na rozkład pola,

wpływ biegunowości fali, zmianę wpływu wyładowań w ciągu przebiegu falowego.

Przed rokiem przedstawiono zasadę mostka fal uskokowych, zastosowanego do badania pól elektrycznych¹⁾. Dalszy ciąg prac nad tą metodą miał na celu rozszerzenie zakresu stosowania i wyjaśnienie niektórych własności pól elektrycznych nieustalonych w elementach o ograniczonych wymiarach geometrycznych, np. u powierzchni izolatorów i w iskiernikach.

¹⁾ St. Szpor. Przegl. El. 1933, str. 386.

I. Metoda mostkowa.

1. Schemat i zasada.

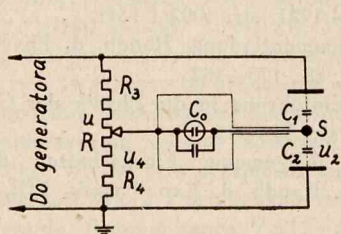
Rys. 1 przedstawia schemat mostka. Sprężenia między sondą S i elektrodami badanego układu izolacyjnego przedstawiamy w postaci pojemności C_1, C_2 , jeżeli w polu niema wyładowań, a wymiary pola są bardzo małe w porównaniu z długością czoła fali uskokowej; wyniki doświadczalne potwierdzają to założenie.

Pojemności C_1, C_2 i oporności R_3, R_4 potencjometru stanowią gałęzie mostka; przy równowadze lampa świetlająca w gałęzi zerowej nie zapala się, a napięcie rozpatrywanego punktu pola względem elektrody uziemionej w stosunku do napięcia międzyelektrodowego odpowiada wzorowi:

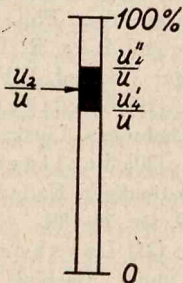
$$\frac{u_2}{u} = \frac{R_4}{R} \dots \dots \dots (1)$$

2. Czułość, zakres ciemny.

Jeżeli zmieniamy położenie zaczepu na potencjometrze, szukając punktu równowagi, to możemy dokładnie określić „zakres ciemny”, w którym lampa świetlająca nie zapala się (rys. 2). Dolna granica tego zakresu u , zależy



Rys. 1.



Rys. 2.

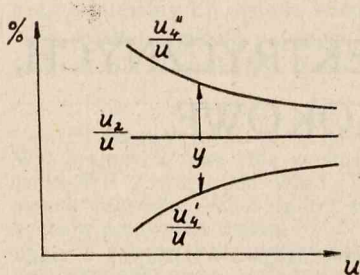
od napięcia zapłonu lampy przy pewnym znaku, np. U_0^+ , górna od napięcia zapłonu przeciwnego znaku U_0^- . Zachodzą przytem związki:

$$U_0^+ = \frac{C_1 + C_2}{C_0 + C_1 + C_2} (u_2 - u_4') \dots \dots \dots (2a)$$

$$- U_0^- = \frac{C_1 + C_2}{C_0 + C_1 + C_2} (u_2 - u_4'') \dots \dots \dots (2b)$$

gdzie u_2 jest napięciem w badanym punkcie pola bez wpływu układu pomiarowego.

Jeżeli napięcia zapłonu obu znaków są równe:



Rys. 3.

$$U_0^+ = U_0^-$$

$$\text{to } u_2 = \frac{u_4' + u_4''}{2}, \quad (3)$$

czyli właściwy punkt równowagi leży dokładnie w środku zakresu ciemnego.

Jeżeli zaś napięcia zapłonu różnią się trochę:

$$U_0^+ \neq U_0^-,$$

to, przyjmując u_2 wg. wzoru (3), popełniamy uchyb czułości $\frac{1}{4} y$, z, wyrażony w % napięcia u ,

$$\text{przyczem } y = \frac{u_4'' - u_4'}{u} 100\% \dots \dots \dots (4)$$

$$z = \frac{U_0^+ - U_0^-}{\frac{1}{2}(U_0^+ + U_0^-)} \dots \dots \dots (5)$$

Ponieważ potencjometr ma ograniczoną ilość zaczepów, pozwalającą na zmiany co $x\%$ napięcia u , przy określaniu granic u_4', u_4'' występuje dodatkowy uchyb czułości, obciążający napięcie u_2 wg. wzoru (3). Sumaryczny uchyb czułości:

$$\frac{\Delta u_2}{u} 100\% = x + \frac{1}{4} yz \dots \dots \dots (6)$$

Dla uzyskania wymaganej czułości należy więc 1) zastosować odpowiednią ilość zaczepów na potencjometrze, 2) używać lamp o możliwie jednakich napięciach zapłonu, 3) ograniczyć szerokość zakresu ciemnego przez zmniejszenie C_0 .

Jeżeli zmieniamy u przy stałych innych warunkach, to wg. wzorów (2a), (2b) różnica $(u_4'' - u_4')$ pozostaje stała: względna szerokość zakresu ciemnego $y = \frac{u_4'' - u_4'}{u}$ zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do u . Krzywe graniczne $\frac{u_4'}{u}, \frac{u_4''}{u}$ jako funkcje u mają zatem przebiegi hiperboliczne (rys. 3).

Zbytne zwięzanie zakresu ciemnego jest niekorzystne, gdyż utrudnia szukanie punktu równowagi. Bardzo szeroki zakres ciemny grozi powstawaniem wyładowań z sondy na granicach zakresu, gdyż przy u_4', u_4'' znacznie różniących się od u_2 sonda znacznie odkształca „naturalny” rozkład pola. Poza to zbyt wielka szerokość zakresu ciemnego uniemożliwia określenie dolnej granicy dla punktów bliskich elektrody uziemionej i górnej dla punktów w sąsiedztwie drugiej elektrody. Dość korzystne warunki pracy uzyskuje się przy szerokości zakresu ciemnego wynoszącej kilka, a nawet kilkanaście %.

3. Dokładność.

Oprócz uchybu, wynikającego z wzorcowania potencjometru np. zapomocą mostka Wheatstone'a, występują źródła dodatkowych uchybów: pojemności szkodliwe, które bocznikują oporności potencjometru, indukcyjności, zjawiska falowe w przewodach łączących. Źródła te nie dają jednak poważniejszego uchybu systematycznego, na co wskazuje dobra zgodność wyników doświadczalnych z wzorami teoretycznymi elektrostatyki (dla iskiernika walcowego), jeżeli układ jest starannie opracowany: potencjometr bezindukcyjny i bezpojemnościowy, odpowiednio wykonany układ zerowy, krótkie przewody.

4. Praktyczne rozwinięcie metody.

Mostek dostosowano do generatora fal uskokowych na 300 kV. Potencjometr nawinięto bezindukcyjnie i bezpojemnościowo na rurze hefelitowej o długości ok. 1 m drutem chromonikielinowym \varnothing 0,15 mm, stosując podział na 200 odcinków, czyli umożliwiając regulację co 0,5%. Drut był prowadzony w toczonych rowkach, ażeby uniknąć przesunięć pod wpływem prądów znacznych (około 100 A), choć krótkotrwałych. Oporność potencjometru wynosiła 3385 Ω , a długość grzbietu fali około 5 μ sek.

Pojemność układu zerowego (wraz z doprowadzeniem do sondy) C_0 należy ograniczyć dla zwiększenia czułości; dlatego stosujemy możliwie krótkie doprowadzenie z cienkiego drutu w dość szerokiej rurze osłonnej. Sztuczne zmniejszenie czułości przy wielkich sondach (np. okuciach izolatorów wiszących) wymaga bocznikowania lampy świetlającej kondensatorami; zwiększa to wymiary osłony na układzie zerowym i zmusza do stosowania dłuższego doprowadzenia do sondy dla uniknięcia wpływu wielkiego układu zerowego na pole badane. Taki układ zerowy nie jest od-

powiedni dla małych sond i dlatego stosujemy w niektórych przypadkach mniejsze układy zerowe, nie pozwalające na włączanie kondensatorów. Stosując np. lampę Osram 11 Δ w osłonie o wymiarach $\varnothing 20 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, otrzymano, przy doprowadzeniu z drutu miedzianego $\varnothing 0,8 \text{ mm}$ w bawełnie, w rurce izolacyjnej i w rurce mosiężnej $\varnothing 4 \text{ mm}$ o długości 40 cm, pojemność $C_0 = 53 \mu\text{F}$, a przy długości 20 cm $C_0 = 31 \mu\text{F}$. Dzięki ograniczeniu C_0 można zastosować sondę kulkową, znacznie dogodniejszą od wielkich sond prostych, pierścieniowych i okuciowych.

Wybitne ograniczenie pojemności C_0 można uzyskać przez uniknięcie doprowadzenia i umieszczenie lampy w samej sondzie. Taką sondę „lampową” wykonano z lampy Osram 11 Δ, owijając ją drobną siatką mosiężną, która stykała się z gwintem i stanowiła sondę o wymiarach $\varnothing 14 \text{ mm} \times 23 \text{ mm}$; do drugiej końcówki lampy był przyłączony przewód dla połączenia z potencjometrem. Należy przytem zwrócić uwagę na niebezpieczeństwo przedstawiania się pola do lampy bez pośrednictwa sprzężeń pojemnościowych; pozatem sonda lampowa daje zwykle zbyt wielką czułość.

II. Badanie pól bez wyładowań.

1. Pomiary w iskierniku walcowym.

Przy pomocy dawnego zespołu do 50 kV wykonano szereg pomiarów pól, w których nie było dostrzegalnych wyładowań. Pomiary w układach izolacyjnych, dla których mamy proste wzory elektrostatyki, pozwoliły stwierdzić zgodność wyników doświadczalnych z teoretycznym rozkładem elektrostatycznym. Po opracowaniu nowego zespołu na 300 kV wykonano znowu pomiary w iskierniku walcowym, ażeby jeszcze raz stwierdzić, że wyniki pomiarów odpowiadają wzorom elektrostatyki, i przekonać się, że w nowych warunkach (przy dłuższych przewodach łączących, większej oporności potencjometra i trochę innych szczegółach konstrukcyjnych) nie otrzymamy poważnych uchybów od pojemności szkodliwych, lub od przebiegów falowych w przewodach łączących.

Wykonano pomiary w iskierniku walcowym o promieniu elektrody zewnętrznej $R = 7,5 \text{ cm}$, wewnętrznej $r = 1 \text{ cm}$, przy różnych odległościach x sondy od osi; sonda była prosta i płaska o wymiarach $0,5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$. Przy $x = 3 \text{ cm}$ pomiary w różnych warunkach dały wyniki:

a) przy fali (—) i uziemionej elektrodzie zewnętrznej

$$\frac{u_s}{u} = 45,75 \%,$$

b) przy fali (+) i uziemionej elektrodzie wewnętrznej

$$54,5 = 100 - 45,5,$$

c) przy fali (+) i uziemionej elektrodzie zewnętrznej

$$54,75 = 100 - 45,25,$$

d) przy fali (+) i uziemionej elektrodzie zewnętrznej 45,25.

Zestawienie wyników doświadczalnych i przeliczonych wg. wzorów elektrostatyki jest podane w tabeli (napięcie względem elektrody zewnętrznej w %):

$x_{\text{cm}} =$	2	3	4,5	6
Zmierzone %	0,6675	0,4544	0,2575	0,11
Obliczone %	0,655	0,454	0,254	0,1106

Otrzymana zgodność pozwala wyprowadzić wniosek, że pole wytworzone przez falę uskokową w układzie izola-

cyjnym o ograniczonych wymiarach ma w przypadku bez wyładowań przebieg bardzo zbliżony do elektrostatycznego, jest więc polem potencjalnym.

2. Rozpatrzenie wyników ze stanowiska teorii szybkozmiennego pola elektromagnetycznego.

Dla określenia przebiegów w zmiennym polu elektromagnetycznym mamy 2 równania Maxwell'a:

$$\text{rot } \hat{H} = \varepsilon \frac{d\hat{K}}{dt} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{rot } \hat{K} = -\mu \frac{d\hat{H}}{dt} \dots \dots \dots (8)$$

gdzie K natężenie pola elektrycznego, H magnetycznego, ε stała dielektryczna, μ przenikalność magnetyczna (jednostki praktyczne; dla powietrza $\varepsilon = 0,08859 \cdot 10^{-12} \text{ F/cm}$, $\mu = 1,256 \cdot 10^{-8} \text{ H/cm}$).

Pierwsze równanie przedstawia zależność natężenia pola magnetycznego H od prądu przesunięciowego $\varepsilon \frac{dK}{dt}$ (prąd przesunięciowy wzbudza pole magnetyczne), drugie zależność K od zmian indukcji magnetycznej μH w czasie (w obwodzie zamkniętym pochodna strumienia magnetycznego względem czasu daje SEM-a).

Przy prądzie stałym niema zmiennego pola magnetycznego, $\text{rot } \hat{K} = 0$, pole elektryczne jest bezwirowe — potencjalne. Przy prądzie zmiennym pole może być wirowe szczególnie w przypadkach znacznego strumienia magnetycznego, wzbudzanego przez wielkie prądy zmienne (obecnie, niezwiązane z prądem przesunięciowym); jeżeli pole magnetyczne jest wywoływane tylko przez prądy przesunięciowe samego pola elektrycznego, to przy niskiej częstotliwości jest tak słabe, że $\text{rot } \hat{K}$ wypada bardzo mała wobec \hat{K} , pole elektryczne jest w przybliżeniu potencjalne.

Wirowość pola elektrycznego występuje wyraźnie w przebiegach szybkozmiennych. Korzystając z wzorów Maxwell'a, można analitycznie określić przebieg pola elektromagnetycznego w czasie i w przestrzeni w prostych przypadkach (oscylator Hertz'a, anteny, fala płaska). Zagadnienie wirowości pola elektrycznego, wytworzonego przez falę uskokową w przestrzeni o ograniczonych wymiarach, można rozważyć na podstawie równań Maxwell'a, wprowadzając w dowodzeniu matematycznym pewne uproszczenia — dopuszczalne, jeżeli chodzi tylko o określenie rzędów wielkości.

Wg. pierwszego równania Maxwell'a całka linjowa wektora H wzdłuż obwodu zamkniętego równa się strumieniowi wektora $\varepsilon \frac{dK}{dt}$ przez powierzchnię objętą obwodem:

$$\oint \hat{H} dl = \int \varepsilon \frac{d\hat{K}}{dt} d\hat{s}.$$

Aby określić rząd wielkości H , jaki wynika ze zmiany K , bierzemy wg. szkicu 4 drogę zamkniętą $\oint dl$, obejmującą znaczną część pola o przekroju $\int ds$. Jeżeli wymiary linjowe tej drogi zamkniętej są rzędu d , to rząd wielkości obwodu $\oint dl$ można ocenić na πd , przekroju $\int ds$ na $\frac{\pi}{4} d^2$.

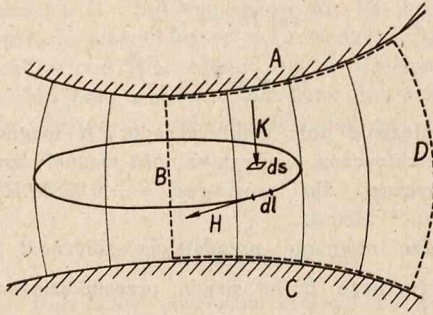
Operując rzędami wielkości H , K , jak wartościami średnimi, i zgruba traktując wektor K jako prostopadły do powierzchni ds , wektor H jako styczny do drogi dl , otrzymujemy wg. pierwszego równania Maxwell'a:

$$H = \varepsilon \frac{dK}{dt} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 = \varepsilon \frac{dK}{dt} \cdot \frac{d}{4} \dots \dots (9)$$

Wg. drugiego równania Maxwell'a całka linjowa K wzdłuż obwodu zamkniętego równa się strumieniowi wektora $-\mu \frac{dH}{dt}$ przez powierzchnię objętą obwodem:

$$\oint \hat{K} \cdot d\hat{l} = \int -\mu \frac{d\hat{H}}{dt} \cdot d\hat{s}.$$

Gdyby nie było zmiennego pola magnetycznego, to całka linjowa K wzdłuż obwodu zamkniętego równałaby się 0; np. na rys. 4 całka linjowa K od punktu A przez B



Rys. 4.

do C (gruba linia przerywana) równałaby się całce od A przez D do B, pole byłoby potencjalne, jak elektrostatyczne. Wpływ pola magnetycznego jest taki, że do pola elektrycznego potencjalnego dodaje się wektor ΔK z pewnym znakiem w gałęzi B, z innym w gałęzi D, wskutek czego całka linjowa wzdłuż obwodu zamkniętego ABCD otrzymuje wartość różną od 0. Dla określenia rzędu wielkości ΔK postępujemy z drugim równaniem Maxwell'a podobnie, jak z pierwszym, zakładając wymiary linjowe rzędu d (jak poprzednio):

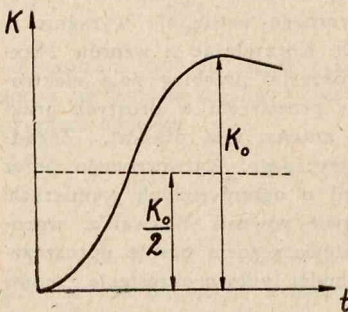
$$\Delta K = \mu \frac{dH}{dt} \cdot \frac{d^2}{4d} = \mu \frac{dH}{dt} \cdot \frac{d}{4} \dots (10)$$

Zależności (9) i (10) dają:

$$\Delta K = \varepsilon \mu \frac{d^2 K}{dt^2} \cdot \frac{d^2}{16} (11)$$

Ponieważ przebieg czoła fali jest trochę zbliżony do sinusoidalnego (rys. 5), można zgruba założyć:

$$K = \frac{K_0}{2} - \frac{K_0}{2} \cos \omega t (12)$$



Rys. 5.

Podstawiając ten wzór w równaniu (11), otrzymujemy:

$$\Delta K = \varepsilon \mu \omega^2 \frac{d^2}{16} \frac{K_0}{2} \cos \omega t \approx \varepsilon \mu \cdot u^2 \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \cdot K_0 \cos \omega t (13)$$

gdyż długość fali $\lambda = \frac{2\pi u}{\omega}$, gdzie $u = 3 \cdot 10^{10}$ cm/sek.

$$\text{Dla powietrza } \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = u, \Delta K = \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \cdot K_0 \cos \omega t (14)$$

Jeżeli wymiary rozpatrywanego pola są rzędu 1 m, λ około 30 m (bierzemy pod uwagę np. wielki izolator przy bardzo krótkim czołe fali), to:

$$\frac{\Delta K \max}{K_0} \approx \frac{1}{1000}$$

Otrzymany wynik wskazuje, że pole elektryczne w badanych układach izolacyjnych o ograniczonych wymiarach nawet przy falach o bardzo krótkich czołach jest w przybliżeniu bezwirowe, potencjalne, a zatem o przebiegu elektrostatycznym.

III. Badanie pól przy wyładowaniach niezupełnych.

1. Zastosowanie metody mostkowej do badań jakościowych.

Jeżeli niema wyładowań, to pole elektryczne, wytworzone przez falę uskokową na powierzchni izolatorów, w iskiernikach i w innych układach izolacyjnych o wymiarach niewielkich w porównaniu z długością czoła fali, ma przebieg zbliżony do elektrostatycznego. W czasie całego przebiegu stosunek napięcia między pewnym punktem pola i jedną z elektrod do napięcia międzyelektrodowego pozostaje jednaki, określony elementarnymi pojemnościami pola. Metoda mostkowa pozwala w tym przypadku określić dokładnie ilościowo rozkład pola.

Jeżeli w polu występują wyładowania niezupełne, to prądy przewodzeniowe bocznikują prądy przesunięciowe, przyczem to działanie zmienia się w czasie całego przebiegu falowego. Możemy spodziewać się, że w tym przypadku stosunek napięcia jakiegoś punktu pola do napięcia międzyelektrodowego nie jest stały w ciągu całego przebiegu, podobnie jak przy wyładowaniach niezupełnych przy prądzie zmiennym o małej częstotliwości, kiedy przy sinusoidalnym napięciu międzyelektrodowym napięcie w dowolnym punkcie pola odbiega od sinusoidy²⁾.

Zastosowanie mostka w tym przypadku nie może dać dokładnych wyników ilościowych, ale wobec braku innej metody doświadczalnej pożądane są wyniki nawet tylko jakościowe dla rozstrzygnięcia szeregu zagadnień. Przedstawione wyniki doświadczalne mają służyć jako przykład stosowalności mostka dla badań przy wyładowaniach niezupełnych.

2. Krzywe graniczne zakresu ciemnego.

Rys. 6 przedstawia krzywe graniczne zakresu ciemnego przy obu znakach fal (+) i (-) dla porcelanowego izolatora deltowego firmy Rosenthal na 35 kV; pomiary wykonano dla punktu krańcowego środkowego klosza przy zastosowaniu sondy kulkowej o średnicy 14,2 mm; pojemność układu zerowego wynosiła 53 μF .

Widzimy, że ze wzrostem amplitudy napięcia międzyelektrodowego u krzywe graniczne coraz bardziej odbiegają od teoretycznych hiperbol rozkładu bez wyładowań; w rozpatrywanym przypadku obie krzywe odginają się ku górze, ale dolna krzywa silniej i przy niższych napięciach.

Właściwości te można wyjaśnić zmiennym działaniem wyładowań w przebiegu falowym. Na początku fali przy małych napięciach niema wyładowań; następnie wyładowania wprowadzają w pole ładunki z pewną szybkością; wpływ wyładowań zjawia się więc z pewną bezwładnością. W późniejszej fazie fali pole jest silnie odształcone ładunkami przestrzennymi i powierzchniowymi, wskutek czego występuje dążność do przesunięcia krzywych granicznych od teoretycznych hiperbol (np. ku górze). Ponieważ jednak na początku fali przebieg pola jest więcej zbliżony do elektrostatycznego, zakres ciemny nie może sięgać bardzo daleko poza granice, jakie mielibyśmy przy rozkładzie bez wyładowań; dlatego jedna z krzywych granicznych odbiega od hiperboli teoretycznej stosunkowo mało (np. na rys. 6 krzywa górna). Widzimy to na rys. 6 szczególnie wyraźnie przy falach znaku (-).

Niewielkie różnice między wynikami pomiarów dla obu znaków przy niższych napięciach można przypisać uchy-

²⁾ Drewnowski, Szpor. Przegl. El. 1932, str. 1. Szpor, Miłodrowski. Przegl. El. 1932, str. 91, 114.

bowi czułości, znacznemu wobec wielkiej szerokości zakresu ciemnego (y we wzorze (6)).

Wpływ biegunowości fali jest bardzo znaczny. Przy falach (+) wyładowania więcej odkształcają rozkład pola i przy niższych napięciach, niż przy falach (-). Wyniki te są zgodne z niedawno ogłoszoną pracą o rozchodzeniu się jonów, wytworzonych przez koronę przy fali uskoko-

Pomiary, wykonane w różnych punktach na powierzchni izolatorów, wskazują, że wpływ wyładowań jest silniejszy na krańcach kłosew, niż na dnie rowków międzykłosowych.

Wyniki.

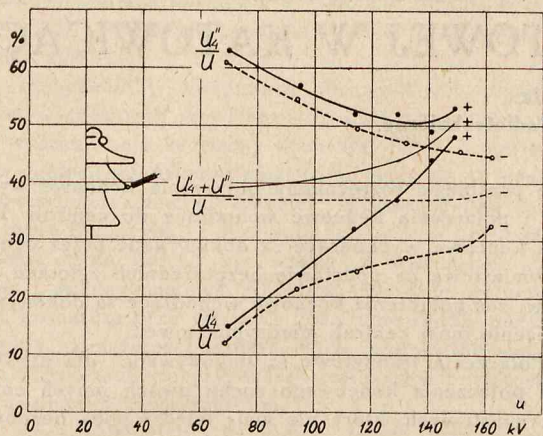
1) Opracowano mostek fal uskokowych dla napięć do 300 kV bez poważniejszych trudności; zastosowanie dla wyższych napięć wydaje się łatwe.

Zastosowanie sondy kulkowej obok dawniej używanych sond większych okazało się możliwe przy odpowiednim wykonaniu układu zerowego.

2) Metoda mostkowa pozwala badać dokładnie ilościowo pole elektryczne bez wyładowań. Pomiary w polach o wymiarach niewielkich w porównaniu z długością czoła fali wykazują zgodność z rozkładem elektrostatycznym; badane pola są praktycznie bezwirowe — potencjalne, zgodnie z wynikami rozważań teoretycznych.

3) Przy wyładowaniach niepełnych w polu badaniem mostek może służyć tylko do badań jakościowych. Pomiary na izolatorach linjowych wskazują, że wyładowania znacznie zmieniają rozkład pola, przyczem ten wpływ rośnie ze wzrostem napięcia; wpływ wyładowań jest silniejszy przy falach znaku (+) i zmienia się w ciągu przebiegu falowego.

Przedstawione badania laboratoryjne były ukończone we wrześniu 1933 r. w Zakładzie Wysokich Napięć Pol. Warsz. Kierownikowi Zakładu, P. Profesorowi Drewnowskiemu autor składa podziękowanie za umożliwienie pracy i cenne rady.



Rys. 6.

wej³⁾; przy fali o znaku (+) na przewodzie stwierdzono wpływ jonów w znacznie większej odległości od przewodu, niż przy znaku (-).

³⁾ Toriyama. ETZ 1933, str. 909.

SEKCJA TELEKOMUNIKACYJNA

DZIAŁ RADJOTECHNIKI

Patrz zeszyt 9—10 „Przeglądu Radjotechnicznego”.

DZIAŁ TELETECHNIKI.

OGÓLNE ZASADY DZIAŁANIA CENTRAL MIĘDZYMIASTOWYCH ZE SZCZEGÓLNEM UWZGLĘDNIENIEM NOWEJ CENTRALI MIĘDZYMIASTOWEJ W KATOWICACH.

Inż. Lucjan Rydz.

Państwowe Zakłady Tele- i Radjotechniczne.

Streszczenie. Centrale międzymiastowe bez stanowisk zgłoszeniowych pracują zwykle na małych sieciach międzymiastowych. Dla sieci większych i mocno obciążonych stosowane są centrale ze stanowiskami zgłoszeniowymi. Do obsługi sieci międzymiastowych średnio obciążonych najlepiej nadają się centrale ruchu szybkiego, w rozwiązaniu przyjętem dla Centrali Międzymiastowej w Katowicach.*)

W opisie tej centrali podane są: rodzaje stanowisk oraz urządzenia do obsługi całkowitego ruchu na centrali, przewody zgłoszeniowe, tablice sygnałowe, przewody międzymiastowe, połączeniowe, obwody pośrednie i obwody sznurowe oraz przebiegi zasadniczych połączeń końcowych i tranzytowych.

Centrale Międzymiastowe bez stanowisk zgłoszeniowych.

W małych centralach międzymiastowych zwykle jedne i te same telefonistki przyjmują zgłoszenia na rozmowy międzymiastowe od abonentów miejskich i jednocześnie obsługują przewody międzymiastowe. Do przyjmowania zgłoszeń na każdej centrali międzymiastowej istnieją specjalne przewody, t. zw. zgłoszeniowe, które łączą centralę miejską z centralą międzymiastową. Ruch na tych przewodach, ze względu na sam charakter zgłoszenia, odbywa się tylko w jednym kierunku, a mianowicie z centrali miejskiej do centrali międzymiastowej. Przewody zgłoszeniowe w tego typu centralach kończą się wprost na stanowiskach międzymiastowych. Abonent, uzyskawszy połączenie z przewodem zgłoszeniowym, uruchamia na centrali międzymiastowej sygnały wywoławcze i następstwem tego jedna z wolnych telefonistek włącza swój obwód rozmówny do przewodu zgłoszeniowego. W ten sposób zgłoszenie abonenta zostaje przyjęte bezpośrednio przez telefonistkę, która wykonywane następnie połączenie, mając do dyspozycji na swym stanowisku gniazdko przewodów międzymiastowych oraz gniazdko abonentów miejskich.

W centralach międzymiastowych, zależnie od rodzaju i kierunku ruchu telefonicznego, dzielimy połączenia na końcowe i tranzytowe.

Połączenia, w których bierze udział abonent obsługiwany przez daną centralę międzymiastową, nazywamy końcowymi. Biorąc zaś pod uwagę, w jakim kierunku to połą-

czenie przebiega, rozróżniamy połączenia końcowe wychodzące i połączenia końcowe wchodzące do centrali. Połączenia końcowe wychodzące są dokonywane przez centralę międzymiastową na podstawie bezpośrednich zgłoszeń abonentów; zaś połączenia końcowe wchodzące są dokonywane na zlecenie innej centrali międzymiastowej.

Połączenia tranzytowe są dokonywane dla skutecznego połączenia końcowego ruchu dwóch innych central międzymiastowych, które nie mają między sobą bezpośrednich przewodów.

Praca telefonistek w małych centralach międzymiastowych będzie polegała zatem na:

- 1) przyjmowaniu zgłoszeń,
- 2) wykonywaniu połączeń końcowych wychodzących,
- 3) " " " " " " " " końcowych przychodzących,
- 4) " " " " " " " " tranzytowych.

W centralach o większym ruchu telefonicznym tego systemu nie można już stosować z tych względów głównie, że telefonistki międzymiastowe, zajęte wykonywaniem wszystkich 3 rodzajów połączeń, nie będą w możności należycie obsługiwać przewodów zgłoszeniowych. Dlatego w większych centralach praca telefonistek międzymiastowych jest bardziej różniczkowana.

Centrale Międzymiastowe ze stanowiskami zgłoszeniowymi.

Wszystkie większe centrale międzymiastowe w Polsce i większość central w Europie pracują według innego systemu. Telefonistki międzymiastowe w tym systemie centrali nie są obciążone przyjmowaniem zgłoszeń, wykonywują one tylko połączenia międzymiastowe. Zgłoszenia abonentów zafatwiają specjalne tylko do tego celu przeznaczone telefonistki, t. zw. zgłoszeniowe, które odnotowują na kartce dane, dotyczące zamawianej rozmowy, i następnie kartkę tę przesyłają na odpowiednie stanowiska międzymiastowe. Telefonistki międzymiastowe nie mają, jak w poprzednim systemie, dostępu do wszystkich przewodów międzymiastowych. Przewody międzymiastowe ze względu na lepszą ich obsługę są podzielone na niewielkie grupy. Każda grupa obejmuje w zależności od intensywności ruchu od 2 do 5 przewodów i jest obsługiwana przez jedną telefonistkę międzymiastową.

Telefonistka ta, mając poza tem na stanowisku gniazdko wszystkich abonentów miejskich, może na przewodach międzymiastowych danej grupy wykonywać tylko połączenia końcowe obukierunkowe. Przy połączeniu tranzytowem, zwłaszcza jeżeli przewody, które mają być użyte do połączenia, znajdują się na dwóch różnych stanowiskach, uczestniczą conajmniej dwie telefonistki międzymiastowe. Potrzebny przewód międzymiastowy, znajdujący się na jednym stanowisku, musi być przez telefonistkę, obsługującą to stanowisko, przekazany zapomocą obwodu pośredniego na

*) Nowa Centrala Międzymiastowa w Katowicach, której budowę w obecnej chwili wykonywują PZT, będzie obsługiwała szybkim ruchem telefonicznym wszystkich abonentów zautomatyzowanej sieci Górnego Śląska. Sieć ta o pojemności początkowej około 5550 abonentów obejmuje 11 central miejskich, ustawionych w większych miejscowościach obszaru przemysłowego Górnego Śląska. Każdy abonent tej sieci będzie mógł uzyskać połączenie międzymiastowe tylko za pośrednictwem Centrali Międzymiastowej w Katowicach. W niniejszym artykule przedstawione są korzyści zastosowania ruchu szybkiego i sposób, w jaki został on dla omawianej centrali uskutecznony.

drugie stanowisko; telefonistka drugiego stanowiska, mając u siebie jeden przewód międzymiastowy i obwód pośredni, do którego jest włączony drugi przewód międzymiastowy, może dopiero wtedy wykonać połączenie tranzytowe.

Centrale, pracujące według tego systemu, są odpowiednio tylko na sieciach międzymiastowych mocno obciążonych.

Wraz z zastosowaniem kabli do połączeń międzymiastowych ilość przewodów wzrosła (np. kierunek Katowice - Warszawa posiada obecnie 8 przewodów zamiast dotychczasowych 3), natomiast obciążenie sieci międzymiastowych bardzo zmalało.

Połączenie w kierunkach obsługiwanych przez kabel nawet w godzinach największego ruchu może być dokonane bez wyczekiwania ze strony abonenta, jeżeli oczywiście system centrali międzymiastowej na to pozwoli. W centralach z wyodrębnionymi stanowiskami zgłoszeniowemu abonent nie może być szybko i sprawnie załatwiony, ponieważ przy łączeniu biorą udział, jak wiemy, 2 telefonistki: zgłoszeniowa i międzymiastowa. Również, przy tym systemie centrali, zwłaszcza przy wzroście ilości przewodów międzymiastowych, obciążenie poszczególnych telefonistek jest rozłożone nierównomiernie i wskutek tego praca telefonistek nie jest racjonalnie wykorzystana.

Ruch telefoniczny w każdej grupie przewodów międzymiastowych, obsługiwanych przez jedną telefonistkę, jest w ciągu dnia bardzo różny i nie można bez kłopotliwego przełączania przewodów odciążać jednej telefonistki kosztem drugiej. Również kłopotliwe jest w godzinach słabego ruchu, ze względu na zmniejszenie ilości telefonistek w centrali, łączenie przewodów międzymiastowych na stanowiskach zbiorczych w większe grupy.

Centrale ruchu szybkiego.

Aby uzyskać możliwie dużą sprawność w centrali międzymiastowej w Katowicach, będącej obecnie w budowie, Ministerstwo P. i T. opracowało nowe podstawy techniczne, które w znacznej mierze usuwają niedogodności poprzednio podanych systemów. Centrala, zbudowana według tych zasad, pozwala szybciej obsłużyć abonenta i jednocześnie lepiej wykorzystać pracę telefonistek.

W centralach ruchu szybkiego niema specjalnych stanowisk, przeznaczonych tylko do przyjmowania zgłoszeń. Abonent, wybierając numer centrali międzymiastowej, trafia do telefonistki, która przyjmuje zgłoszenie i która bezzwłocznie może wykonać połączenie. Zatem telefonistki t. zw. zgłoszeniowo-łączeniowe muszą mieć dostęp do wszystkich przewodów międzymiastowych, przystosowanych do ruchu, wychodzącego z centrali. Widzimy więc, że wrócono do systemu, jaki istnieje w małych centralach międzymiastowych, z tą jednak różnicą, że telefonistki zgłoszeniowo-łączeniowe wykonywują tylko połączenia końcowe wychodzące.

Ruch międzymiastowy przychodzący końcowy i tranzytowy jest skierowany w tych centralach na inne stanowiska, specjalnie przystosowane do załatwiania tego ruchu. Są to t. zw. stanowiska ruchu przychodzącego.

Obok tych dwóch rodzajów stanowisk w centralach ruchu szybkiego, obsługujących średnio obciążoną sieć przewodów międzymiastowych, muszą znajdować się jeszcze stanowiska międzymiastowe, stosowane w centralach o wydzielonym zgłoszeniu. Na tych stanowiskach znajdują się przewody kierunków mocno obciążonych i telefonistki tych stanowisk wykonywują wtedy wszystkie 3 rodzaje połączeń międzymiastowych dla tej grypy przewodów w sposób, podany dla centrali poprzedniego systemu. Jest to konieczne z tego względu, że nie we wszystkich kierunkach (trasy napowietrze) ilość przewodów jest dostatecznie duża i, gdy

ruch wzrosnie, telefonistki zgłoszeniowo-łączeniowe nie mogłyby od razu w takich kierunkach łączyć abonentów. Dlatego przewody tych kierunków w godzinach największego obciążenia zostają przełączone na stanowiska międzymiastowe, t. zw. stanowiska ruchu z oczekiwaniem, i wówczas każda telefonistka takiego stanowiska obsługuje grupę przewodów międzymiastowych w obu kierunkach. Gdy pewien kierunek międzymiastowy nie jest obsługiwany ruchem szybkim, telefonistki zgłoszeniowo - łączeniowe nie łączą abonentów w tym kierunku, a wypełnione kartki zgłoszeniowe przesyłają na odpowiednie stanowiska ruchu z oczekiwaniem. Zatem w centralach ruchu szybkiego w godzinach słabego ruchu pracują zasadniczo 2 rodzaje stanowisk: zgłoszeniowo - łączeniowe i ruchu przychodzącego. Stanowiska te mają dostęp do wszystkich przewodów międzymiastowych.

W godzinach zaś największego ruchu oprócz tych stanowisk pracują jeszcze w niektórych kierunkach stanowiska ruchu z oczekiwaniem. Te ogólne zasady centrali ruchu szybkiego zostały uwzględnione przy budowie Centrali w Katowicach.

Centrala Międzymiastowa w Katowicach.

Całkowity ruch międzymiastowy w centrali będzie obsługiwany przez następujące 4 rodzaje stanowisk:

- 1) Stanowiska zgłoszeniowo - łączeniowe,
- 2) „ „ ruchu przychodzącego,
- 3) „ „ ruchu z oczekiwaniem,
- 4) „ „ pośrednie.

Stanowiska pośrednie nie obsługują przewodów międzymiastowych; są to stanowiska pomocnicze, uczestniczące głównie przy połączeniach tranzytowych.

W zależności od rodzaju wykonywanych połączeń poszczególne stanowiska są wyposażone w sposób następujący:

A) PRZEWODY ZGŁOSZENIOWE.

Przewody zgłoszeniowe, łączące węzłową centralę automatyczną w Katowicach z centralą międzymiastową, kończą się tylko na stanowiskach zgłoszeniowo - łączeniowych.

Okręgowa Sieć Górnośląska dzieli się na 2 podokręgi: „Królewska Huta” i „Katowice”. Każdy podokrąg obejmuje jedną centralę węzłową z kilkoma przyłączonymi do niej centralami końcowymi (satelitami).

Podokrąg pierwszy obejmuje centralę węzłową w Królewskiej Hucie i 4 centrale końcowe w miejscowościach: Nowa Wieś, Chebzie, Szarlej i Tarnowskie Góry. Centrala węzłowa podokręgu drugiego jest zainstalowana w Katowicach; do niej przyłączonych jest 5 central końcowych: Mikołów, Mysłówice, Siemianowice, Szopienice i Łgota.

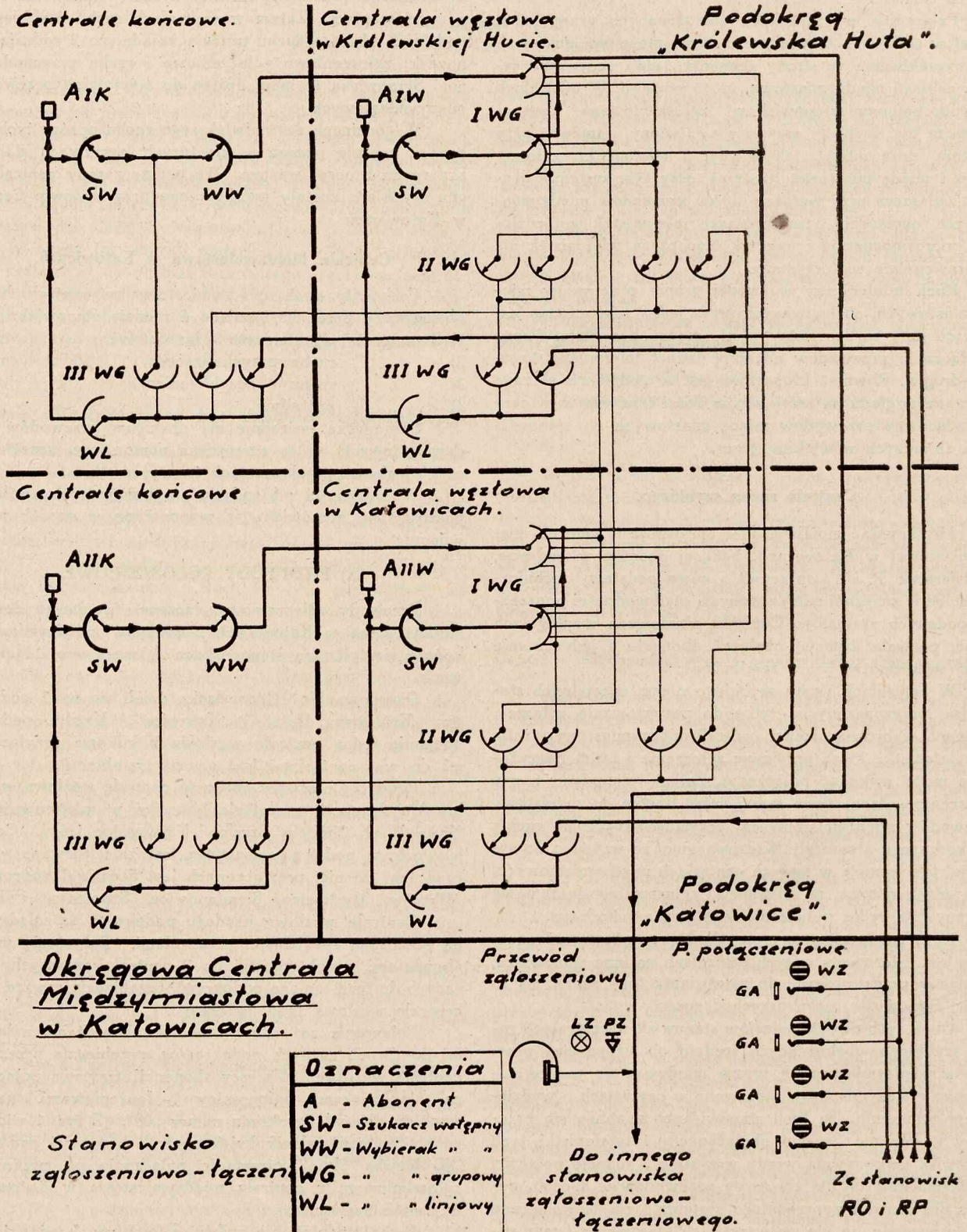
Centrale węzłowe każdego podokręgu są między sobą połączone specjalnymi przewodami. Połączenia między abonentami, przyłączonymi do 2 central końcowych, należących do tego samego podokręgu, przebiegają zawsze przez centralę węzłową tego podokręgu.

Połączenia zaś między dwoma abonentami, należącymi do dwóch różnych podokręgów, przebiegają przez obie centrale węzłowe. Wszyscy abonenci otrzymują połączenie ze stanowiskami zgłoszeniowo - łączeniowymi, nadając wspólny dla całego okręgu numer „00”. Z rys. 1 widzimy, że np. abonent jakiegokolwiek centrali końcowej podokręgu „Królewska Huta” otrzymuje połączenie po przewodzie zgłoszeniowym z centralą międzymiastową w Katowicach w sposób następujący:

Przez podniesienie mikrotelefonu uruchamia się obwód: aparat telefoniczny A_{1k} , linja abonenta w centrali

końcowej, szukacz wstępny SW, następnie wybierak wstępny WW, wolny przewód do centrali węzłowej w Królewskiej Hucie i pierwszy wybierak grupowy I WG w tej centrali. Abonent teraz dopiero otrzymuje sygnał zgłoszenia się centrali automatycznej i przez nadanie numeru centrali międzymiastowej dostaje się na drugi wybierak grupowy II WG specjalny, t. zw. służbowy, centrali węzłowej w Katowicach, a stąd na wolny przewód zgłoszeniowy, prowadzący do stanowisk zgłoszeniowo - łączeniowych centrali międzymiastowej.

Każde stanowisko zgłoszeniowo - łączeniowe ma do obsłużenia 4 przewody zgłoszeniowe, które są zwielokrotnione na kilku stanowiskach zgłoszeniowo - łączeniowych. Naskutek tego przy wywołaniu przez abonenta centrali międzymiastowej zapalają się lampki LZ na kilku stanowiskach, ale tylko jedna z telefonistek, może się włączyć do obwodu abonenta alarmującego. Inne telefonistki, u których ten przewód jest zwielokrotniony, w tym samym czasie przy przechyleniu przełącznika PZ otrzymują brzęczyk. Po przyjęciu zgłoszenia i zapisaniu go na kartce do



Rys. 1. Schemat obiegowy okręgowej sieci Górnośląskiej.

dalszych obowiązków telefonistki zgłoszeniowo - łączeniowej należy zawiadomienie abonenta, w jakim czasie otrzyma żądane połączenie. W tym celu na ścianach obok tych stanowisk umieszczone są, w sposób dla wszystkich telefonistek widoczny, tablice z sygnałami świetlnymi, wskazującymi obciążenia dla poszczególnych kierunków międzymiastowych, obsługiwanych przez centralę.

Telefonistka na podstawie sygnałów świetlnych oraz wskaźników zajętości dla pojedynczych przewodów, znajdujących się na jej stanowisku, może określić w przybliżeniu czas oczekiwania abonenta na połączenie. Określenie czasu jest ważne dla abonenta, który odpowiednio do tego może sobie ułożyć swe dalsze zajęcia w okresie oczekiwania.

B) TABLICE SYGNAŁOWE.

Wszystkie kierunki międzymiastowe, obsługiwane przez centralę międzymiastową w Katowicach, są oznaczone na tablicach. Każdy kierunek posiada na tablicy 4 lampki: czerwoną, zieloną i 2 białe. Jeżeli są wolne przewody w danym kierunku, to na tablicy sygnałowej nie pali się żadna z tych lampek i telefonistka zgłoszeniowo-łączeniowa może wykonać natychmiast żądane połączenie. Jeżeli zaś pali się lampka zielona, oznaczająca, że wszystkie przewody w danym kierunku są zajęte przez inne telefonistki ruchu szybkiego, to połączenie może być jeszcze dokonane przez telefonistkę zgłoszeniowo - łączeniową, ale z pewnym opóźnieniem, które może wynosić najwyżej do 10 minut.

Gdy żądany kierunek jest bardzo obciążony, wtedy — jak już wspomniałem — przewody tego kierunku są obsługiwane na stanowiskach ruchu z oczekiwaniem i telefonistka zgłoszeniowo - łączeniowa, nie mogąc sama wykonać połączenia, odsyła kartkę na te stanowiska. O niemożności łączenia ruchem szybkim w danym kierunku, informuje telefonistki zgłoszeniowo - łączeniowe sygnał czerwonej lampki. Jednak i w tym wypadku telefonistka udziela bezpośrednio informacji abonentom co do przypuszczalnego czasu oczekiwania na połączenie, korzystając z sygnałów białych lampek. Jeżeli na tablicy pali się pierwsza z lampek, to czas oczekiwania na połączenie wynosić będzie około 15 min., jeżeli druga — to około 30 min. Gdy zaś palą się obie białe lampki — czas oczekiwania na połączenie wynosi około 45 min. Białe lampki są zapalane ręcznie przez telefonistki nadzorcze stanowisk ruchu z oczekiwaniem. Jednym z głównych zadań telefonistek nadzorczych jest śledzenie ruchu telefonicznego w kierunkach, obsługiwanych ruchem z oczekiwaniem.

C) PRZEWODY MIĘDZYMIASTOWE.

Przewody międzymiastowe, wchodzące do centrali, są 3 rodzajów:

- 1) przewody dwukierunkowe,
- 2) „ wychodzące,
- 3) „ przychodzące.

Na przewodach dwukierunkowych są załatwiane wszystkie rodzaje połączeń międzymiastowych, to znaczy, połączenia końcowe do abonentów (wchodzące i wychodzące) oraz tranzytowe. Przewody międzymiastowe wychodzące służą do wykonywania połączeń końcowych wychodzących i połączeń tranzytowych. Przewody przychodzące służą do załatwiania tylko połączeń przychodzących.

Poszczególne telefonistki w zależności od tego, jakie połączenia międzymiastowe wykonywują, mają na swoich stanowiskach odpowiedni rodzaj przewodów międzymiastowych.

a) Telefonistki stanowisk zgłoszeniowo - łączeniowych, które wykonywują tylko połączenia końcowe wychodzące, mają na swych stanowiskach (p. rys. 2) gniazdkę GW ze wskaźnikami zajętości WZ przewodów międzymiastowych wychodzących PW i dwukierunkowych PD. Z gniazdek przewodów dwukierunkowych telefonistki te mogą korzystać tylko wówczas, kiedy przewody te są obsługiwane ruchem szybkim.

b) Telefonistki stanowisk ruchu z oczekiwaniem obsługują przewody dwukierunkowe, mocno obciążone w godz. największego ruchu.

Te przewody, które były w godz. słabego ruchu obsługiwane ruchem szybkim, obecnie przełącza się ze stanowisk zgłoszeniowo - łączeniowych i ruchu przychodzącego na stanowiska ruchu z oczekiwaniem.

Całkowity ruch na przewodzie dwukierunkowym jest teraz załatwiany przez jedną telefonistkę.

Przewód na stanowisku ruchu z oczekiwaniem kończy się gniazdkiem GO z dwiema lampkami LW i LB. Pierwsza z tych lampek służy do wywołania, a druga — do blokady; palenie się tej ostatniej lampki wskazuje telefonistce, że przewód, pomimo, że został przełączony na stanowisko, nie może być użyty do łączenia. Zdarza się to wtedy np., gdy przewód, zajęty przez telefonistkę ruchu szybkiego, zostanie przygotowany do przełączenia na stanowisko ruchu z oczekiwaniem; w czasie zajęcia tego przewodu przez tę telefonistkę pali się lampka LB. Lampka ta zapala się również i wtedy, gdy telefonistka ruchu z oczekiwaniem odda swój przewód przy pomocy telefonistki pośredniej do połączenia tranzytowego na inne stanowisko.

c) Telefonistki ruchu przychodzącego mają na swych stanowiskach gniazdkę GP i lampki wywoławcze LW wszystkich przewodów międzymiastowych, przeznaczonych do ruchu przychodzącego PP oraz przewodów dwukierunkowych PD. Sygnały wywoławcze z przewodów dwukierunkowych zjawiają się na stanowiskach u tych telefonistek tylko wówczas, gdy przewody te są obsługiwane ruchem szybkim; w przeciwnym razie sygnały wywoławcze trafiają na odpowiednie stanowiska ruchu z oczekiwaniem, na które są te przewody przełączone.

d) Telefonistki stanowisk pośrednich, które biorą udział w przekazywaniu na inne stanowiska przewodów międzymiastowych, potrzebnych dla ruchu tranzytowego, muszą mieć dostęp do gniazdek GT wszystkich przewodów dwukierunkowych i wychodzących.

Tylko te przewody mogą być użyte do połączenia tranzytowego z przewodem międzymiastowym, z którego otrzymano wezwanie do wykonania takiego połączenia.

D) PRZEWODY POŁĄCZENIOWE.

Przewody połączeniowe PA, zapomocą których telefonistki łączą abonentów okręgu Górnośląskiego z centralą międzymiastową, znajdują się na wszystkich stanowiskach. Przewody połączeniowe, jak widać z rys. 1, dostępne tylko dla stanowisk centrali międzymiastowej, biegną bezpośrednio do poszczególnych central automatycznych całego okręgu. W centralach tych przewody połączeniowe kończą się na trzecich wybierakach grupowych III WG, dzięki czemu telefonistka, nadając tylko 3 ostatnie cyfry numeru abonenta, może dołączyć się do jego aparatu telefonicznego.

Ilość przewodów połączeniowych dla każdej centrali automatycznej jest różna, zależnie od jej wielkości. Tak np. do centrali automatycznej w Nowej Wsi, której pojemność obecnie wynosi 200 numerów, prowadzi 5 przewodów. Do centrali automatycznej w Katowicach, której początkowe wyposażenie wynosi 5 000 numerów, prowadzi 5 grup

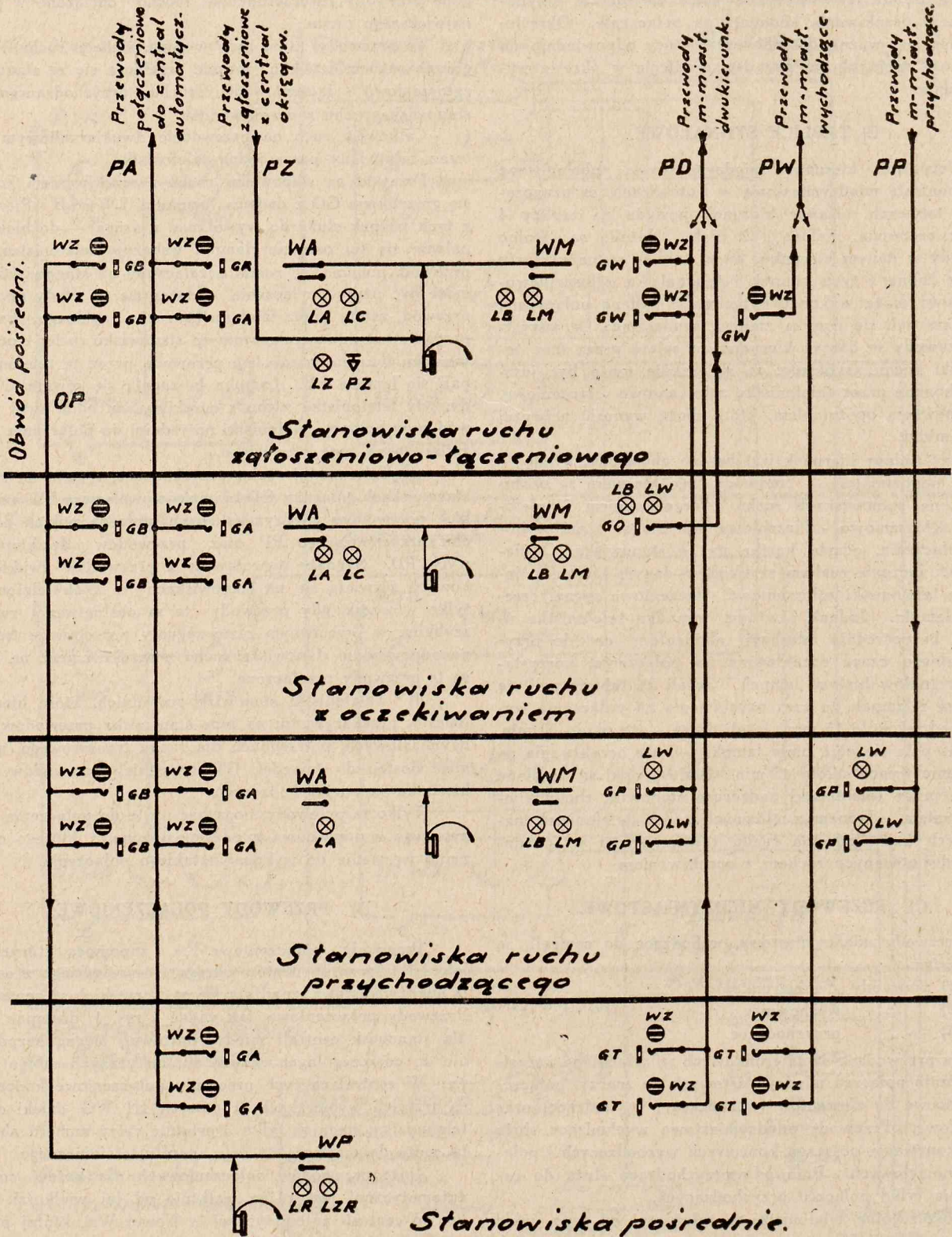
przewodów połączeniowych. Każdy 1000 numerów obsługuje 1 grupa, złożona z 17 przewodów połączeniowych.

Przewody połączeniowe w centrali międzymiastowej są zwielokrotnione i kończą się na stanowiskach gniaздkami GA (p. rys. 2). Nad każdym gniazdkiem znajduje się wskaźnik WZ, który działa wtedy, gdy przewód zostanie zajęty na jakimkolwiek stanowisku. Również wskaźniki zajętości, związane z danym przewodem, uruchamiają się auto-

matycznie, gdy III wybierak grupowy zostanie na odległej centrali automatycznej zablokowany lub też gdy żyły samego przewodu są uszkodzone.

E) OBWODY POŚREDNIE.

Na wszystkich stanowiskach, oprócz gniazdek przewodów międzymiastowych i połączeniowych, znajdują się jeszcze zwielokrotnione gniazda GB obwodów pośrednich.



Rys. 2. Obiegi przewodów Centrali Międzydzielowej w Katowicach.

Przy pomocy obwodu pośredniego każda telefonistka międzymiastowa może włączyć na swoje stanowisko przewód międzymiastowy, który jest jej potrzebny do wykonania połączenia tranzytowego. Obwód pośredni kończy się na stanowisku pośrednim sznurem WP z dwiema lampkami: LZR i LR (p. rys. 2). Lampka LZR daje sygnały: wywoławczy i rozłączeniowy od telefonistki, która włączyła się do danego obwodu pośredniego. Przy pomocy lampki LR telefonistka pośrednia otrzymuje sygnał rezerwowania przewodu. Gdy telefonistka pośrednia włoży wtyczkę WP do gniazdka GT wolnego przewodu, to lampka LR nie zapali się. Gdy w kierunku, żądanym przez telefonistkę międzymiastową, wszystkie przewody są zajęte, telefonistka pośrednia ma możliwość zarezerwowania któregośkolwiek z tych przewodów przez włożenie wtyczki nawet do gniazdka przewodu zajętego. Lampka LR pali się przez czas rezerwowania dopóty, dopóki przewód ten nie zostanie zwolniony. Jeżeli w tym samym czasie zwolni się wcześniej inny przewód tego samego kierunku, to telefonistka pośrednia może, nie czekając, aż zarezerwowany przewód zostanie zwolniony, włączyć do tego obwodu pośredniego zwolniony przewód międzymiastowy.

F) OBWODY SZNUROWE.

Obwody sznurowe, znajdujące się na stanowiskach międzymiastowych, służą do wykonywania połączeń międzymiastowych. Na stanowiskach zgłoszeniowo-łączeniowych i ruchu z oczekiwaniem znajduje się po 5 obwodów sznurowych, a na stanowiskach ruchu przychodzącego po 10. Telefonistki ruchu przychodzącego mają więcej sznurów, ponieważ są mniej obciążone, niż telefonistki pozostałych stanowisk. Czasy trwania połączeń nie są notowane na tych stanowiskach, gdyż robią to telefonistki centrali międzymiastowych, współpracujących z centralą w Katowicach. Ze względu na to, że tylko czasy trwania połączeń wychodzących są przez telefonistki obserwowane, przeto będzie zachodziła różnica w wyposażeniu obwodów sznurowych między stanowiskami ruchu przychodzącego z pozostałymi dwoma rodzajami stanowisk.

1) Obwód sznurowy stanowiska zgłoszeniowo-łączeniowego albo ruchu z oczekiwaniem składa się z części następujących: z 2 wtyczek WM i WA ze sznurami, z 4 lampek, z 2 przełączników przechylnych oraz 1 czasomierza elektrycznego, sterowanego impulsami co 10 sekund o zakresie do 12 minut. Wtyczka WM takiego obwodu sznurowego obsługuje przewód międzymiastowy, a druga WA — przewód połączeniowy. Z wtyczką WM międzymiastową są związane dwie lampki LM i LB. Lampka LM działa wówczas, gdy przychodzi sygnał wywoławczy z przewodu międzymiastowego; oczywiście, może to być tylko wówczas, gdy obwód sznurowy przy pomocy wtyczki WM jest połączony z jakimś przewodem międzymiastowym. Jeżeli zaś przewód międzymiastowy, do którego włączono obwód sznurowy, potrzebny jest dla wykonania pilnego połączenia tranzytowego, to zapala się lampka LB. Telefonistka, obsługująca ten przewód, nie może wykonywać na nim już innych połączeń i obowiązana jest po skończeniu rozpoczętego połączenia, zwolnić przewód. Sygnalizowanie przy pomocy lampki LB, że przewód ma być przez telefonistkę zwolniony, odbywa się wskutek tego, że telefonistka pośrednia włożyła wtyczkę WP obwodu pośredniego do gniazdka tego przewodu. Przez wyjęcie wtyczki WM z gniazdka, przewód ten zostaje zwolniony i przyłącza się przez obwód pośredni na stanowisko międzymiastowe, które spowodowało przy pomocy telefonistki pośredniej ten alarm.

Z wtyczką połączeniową WA związane są również 2 lampki: LA i LC. Lampka LA jest lampką końca rozmowy od abonenta. Gdy abonent, który został włączony do obwodu sznurowego: przy pomocy wtyczki WA, przewodu połączeniowego oraz odpowiednich organów połączeniowych centrali automatycznej, powiesi swój mikrotelefon, to lampka LA na stanowisku międzymiastowym zapali się. Lampka LC przez zapalenie się na 10 sekund przed upływem 3 minut sygnalizuje koniec każdej jednostki rozmowy.

Wskutek zapalenia się lampki LC, telefonistka musi zainteresować się, czy dane połączenie trwać będzie dalej, czy też zostanie zakończone na tej jednostce 3 minutowej. Abonent również jest uprzedzany o zbliżającym się końcu każdej jednostki trzyminutowej. Uprzedzanie to odbywa się podczas trwającego połączenia przez nadanie z obwodu sznurowego w tym samym czasie 3 krótkich sygnałów brzęczykowych.

Jeden z przełączników, sznurowy, służy do włączania obwodu rozmownego telefonistki do obwodu sznurowego. Przy przechylnym przełączniku sznurowym włączony jest również przełącznik odłączny, którym telefonistka może odłączyć swój obwód rozmowny od jednej lub drugiej strony sznura oraz przełącznik sygnalizacyjny. Przez uruchomienie tego przełącznika, przy włączonym przełączniku sznurowym, telefonistka przez dany obwód sznurowy może wysłać w jedną albo w drugą stronę sygnały wywoławcze.

Drugi przełącznik pozwala telefonistce w odpowiedniej chwili, gdy połączenie jest już wykonane, uruchomić czasomierz elektryczny. Nastawianie czasomierza na zero odbywa się przez wciśnięcie kasownika. Czasomierz zatrzymuje się automatycznie, gdy telefonistka włączy się do obwodu sznurowego albo, gdy abonent po skończonej rozmowie powiesi mikrotelefon.

2) Obwód sznurowy stanowiska ruchu przychodzącego jest tak samo wyposażony, jak na poprzednich stanowiskach, z wyjątkiem, że nie posiada urządzenia do mierzenia czasu trwania połączenia, które składa się z czasomierza, przełącznika i lampki LC.

G) POŁĄCZENIA MIĘDZYMIASTOWE.

Przy wywołaniu centrali prąd sygnalizacyjny, wysłany z sąsiedniej centrali międzymiastowej, powoduje zapalenie się lampek wywoławczych LW na stanowiskach ruchu przychodzącego bądź też na stanowiskach ruchu z oczekiwaniem. Telefonistki, obsługujące te stanowiska, przez włożenie wtyczki WM do gniazdka przewodu międzymiastowego przyjmują zgłoszenia sąsiedniej centrali, a następnie przy użyciu drugiej wtyczki WA mogą połączenie wchodzące załatwić.

Telefonistki zgłoszeniowo-łączeniowe i ruchu z oczekiwaniem przy wykonywaniu połączeń wychodzących nawiązują porozumienie z sąsiednią centralą międzymiastową przez włożenie wtyczki WM do gniazdka przewodu międzymiastowego.

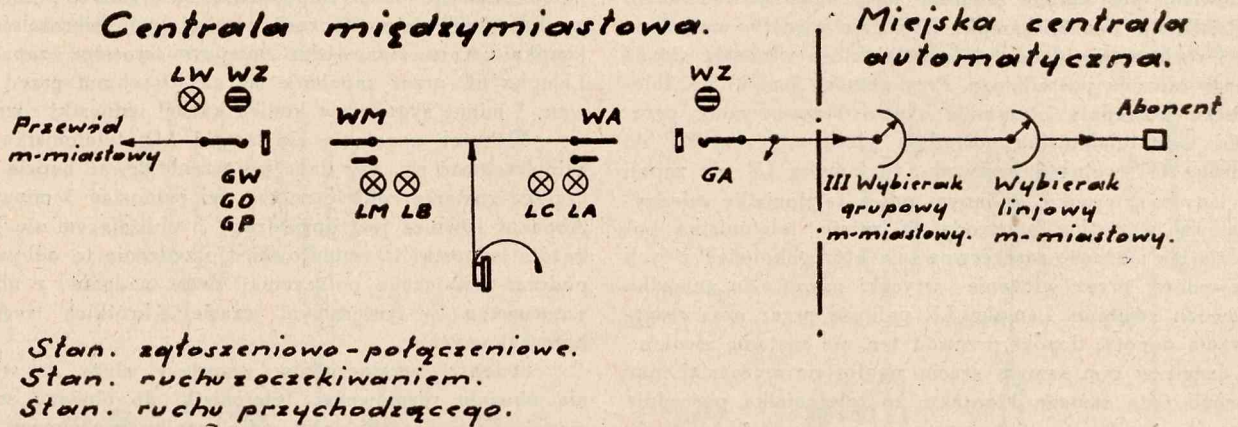
Przy wszystkich rodzajach połączeń wtyczka WM znajduje się zawsze w gniazdku przewodu międzymiastowego, zaś wtyczkę WA, zależnie od tego, czy jest to połączenie końcowe czy tranzytowe, telefonistka wkłada do gniazdka GA przewodu połączeniowego lub do gniazdka GB obwodu pośredniego.

a) POŁĄCZENIA KONCOWE (p. rys. 3).

Włożenie wtyczki WA obwodu sznurowego do wolnego gniazdka GA przewodu połączeniowego powoduje;

zadziałanie wskaźników zajętości WZ na wszystkich stanowiskach oraz uruchomienie, przez zamknięcie pętli przewodu, trzeciego wybieraka grupowego na centrali automatycznej. Telefonistka po włączeniu się do tego obwodu

dzymiastowem. Poza tym przez ponowne uruchomienie przełącznika sygnalizacyjnego telefonistka włącza abonenta, którego numer wybrała, odłączając jednocześnie abonenta drugiego.



Rys. 3.
Schemat obiegowy połączenia końcowego.

sznurowego otrzymuje sygnał brzęczykowy zgłoszenia się centrali i wybiera numer abonenta. Wskutek tego, trzeci wybierak grupowy III WG, związany z tym przewodem połączeniowym, łączy telefonistkę przez odpowiedni wybierak linjowy WL międzymiastowy z abonentem.

Po ustawieniu się wybieraka linjowego na odpowiednim numerze, może okazać się, że:

1) Abonent jest wolny. Telefonistka nie otrzymuje żadnego sygnału brzęczykowego z centrali automatycznej i przez uziemienie przełącznikiem sygnalizacyjnym obu żył przewodu połączeniowego powoduje wysłanie z wybieraka linjowego do aparatu abonenta prądu sygnalizacyjnego. Prąd ten jest wysyłany dopóty, dopóki abonent nie podniesie mikrotelefonu lub telefonistka międzymiastowa przez wyciągnięcie wtyczki WA nie zwolni danego przewodu połączeniowego.

Podczas wysyłania prądu sygnalizacyjnego telefonistka otrzymuje sygnał brzęczykowy i pali się lampka LA końca rozmowy ze strony abonenta.

Z chwilą podniesienia mikrotelefonu lampka LA gaśnie i jeżeli to było połączenie końcowe wychodzące, to telefonistka po sprawdzeniu, że abonent zaczął prowadzić już rozmowę, uruchamia jeszcze czasomierz.

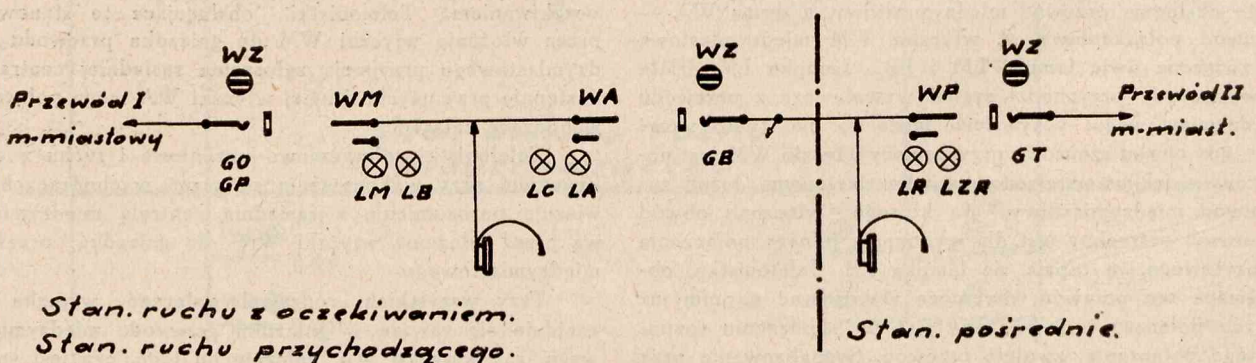
3) Abonent prowadzi rozmowę międzymiastową. Telefonistka otrzymuje wówczas z wybieraka linjowego specjalny sygnał brzęczykowy zajętości międzymiastowej. Telefonistka w tym wypadku połączenia międzymiastowego do tego abonenta wykonać nie może.

b) POŁĄCZENIA TRANZYTOWE (p. rys. 4).

Połączenie tranzytowe może być wykonane tylko przy współdziałaniu telefonistki pośredniej. Telefonistka ruchu przychodzącego lub stan. ruchu z oczekiwaniem, chcąc wykonać połączenie tranzytowe, wkłada wtyczkę WA obwodu sznurowego, który użyła dla wykonania tego połączenia, do jednego z wolnych gniazdek pośrednich GB. Włożenie wtyczki WA do tego gniazdzka powoduje miganie lampki LZR na stanowisku pośrednim, wskutek czego telefonistka pośrednia przechyla przełącznik tego obwodu i może porozumieć się z telefonistką alarmującą. Następnie telefonistka pośrednia wkłada wtyczkę WP obwodu pośredniego do gniazdzka GTżądanego przewodu międzymiastowego.

Zależnie od tego, w jakim stanie znajduje się przewód międzymiastowy, mogą zajść 3 wypadki:

1) Telefonistka pośrednia wkłada wtyczkę do gniazdzka przewodu wolnego. Na stanowisku międzymiastowym



Rys. 4.
Schemat obiegowy połączenia tranzytowego.

2) Abonent prowadzi rozmowę okręgową. Telefonistka międzymiastowa otrzymuje wówczas zwykły sygnał brzęczykowy zajętości i przez uziemienie żył przewodu połączeniowego włącza się do tego połączenia, celem uprzedzenia abonentów o mającym nastąpić połączeniu międzymiastowym.

zapala się lampka LC, która sygnalizuje telefonistce, że przewód międzymiastowy został włączony do obwodu sznurowego i połączenie tranzytowe może być wykonane. Podczas połączenia tranzytowego prądy sygnalizacyjne, wysyłane przez końcowe centrale, uruchamiają w obwodzie

snurowym wspólny sygnał rozłączeniowy, którym jest palenie się lampki LM.

2) Telefonistka pośrednia wkłada wtyczkę WP do gniazdka przewodu zajętego. Na stanowisku międzymiastowym lampka LA miga aż do chwili, gdy przewód międzymiastowy zostanie zwolniony. Gdy zwolniony przewód włączy się do obwodu sznurowego, lampka LA zapali się pełnym światłem i połączenie tranzytowe może być wykonane.

3) Żądany przewód międzymiastowy jest zajęty przez inne stanowiska pośrednie lub zablokowany dla połączeń,

jako uszkodzony. Żeby zawiadomić o tem stanowisko międzymiastowe, telefonistka wkłada wtyczkę WP do specjalnego gniazdka. Wtedy na stanowisku międzymiastowym w obwodzie sznurowym zapala się lampka LA i telefonistka po włączeniu się do tego obwodu otrzymuje sygnał brzęczykowy, wskazujący, że połączenie tranzytowe nie może być dokonane.

Telefonistka międzymiastowa przez wyjęcie wtyczki WA z gniazdka GB obwodu pośredniego powoduje zapalenie się lampki LZR stałym światłem, wskutek czego telefonistka pośrednia wyjmuje wtyczkę WP z gniazdka.

ROZDZIAŁ ZGŁOSZEŃ W CENTRALI DEPEZ W WARSZAWIE.

Inż. K. Borkowski i Inż. L. Goczałkowski.

Państwowe Zakłady Tele- i Radjotechniczne.

Streszczenie. Tematem pracy jest techniczne rozwiązanie rozdziału zgłoszeń w Centrali Depesz w Warszawie. Na wstępie omówione są ogólne zasady automatycznego rozdziału zgłoszeń w bezsznurowych centralach międzymiastowych z jednym albo kilkoma rodzajami stanowisk zgłoszeniowych. Po rozpatrzeniu tego zagadnienia opisany jest rozdział zgłoszeń, zastosowany w Centrali Depesz.

Na zakończenie podany jest w zarysie sposób przyjmowania zgłoszeń, przychodzących z centrali międzymiastowej, za pośrednictwem urządzenia automatycznego, pozwalającego rezerwować zajęte obwody zgłoszeniowe.

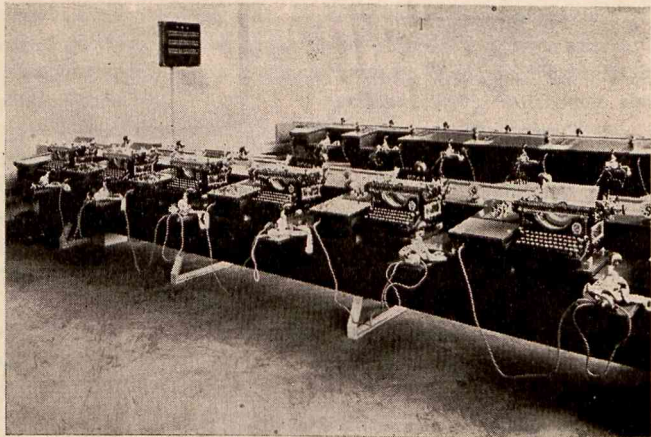
W nowoczesnych centralach międzymiastowych, na których zgłoszenia abonentów miejskich są przyjmowane bezpośrednio przez bezsznurowe, bez pól wielokrotnych, stanowiska robocze, występuje zagadnienie racjonalnego rozdziału tych zgłoszeń pomiędzy poszczególne stanowiska.

Zgłoszeniowe linje miejskie w tego rodzaju centralach dołączone są do automatycznych organów połączeniowych, do których z przeciwnej strony doprowadzone są obwody stanowisk zgłoszeniowych. Dzięki takiemu urządzeniu każda linja zgłoszeniowa miejska może być automatycznie połączona z każdym stanowiskiem zgłoszeniowym. Uwzględniając, że rozdział zgłoszeń powinien być przeprowadzony w ten sposób, żeby było umożliwione jaknajszysze przyjęcie każdego z nich, należy poszczególne zgłoszenia kierować na stanowiska najmniej z całej grupy w danej chwili obciążone. Wynika z tego konieczność samoczynnego cechowania obwodów zgłoszeniowych w polu automatycznych organów połączeniowych. Cechowanie tych obwodów powinno być uzależnione od stopnia obciążenia odnośnego stanowiska i od stosunku jego obciążenia do obciążenia pozostałych stanowisk, obsługujących tę samą grupę linii zgłoszeniowych.

W rezultacie racjonalnego rozdziału zgłoszenia powinny być kierowane przede wszystkim na stanowiska, na których telefonistki w danej chwili nie są zajęte żadną pracą i mogą wobec tego natychmiast je przyjąć. Jeżeli zaś w momencie nadejścia zgłoszenia niema telefonistek zupełnie wolnych, zgłoszenie powinno być skierowane na jedno ze stanowisk, zajętych wprawdzie pracą, ale na których niema jeszcze żadnego oczekującego na przyjęcie zgłoszenia, i dopiero wtedy, gdy na każdym stanowisku oczekuje już jedno nieprzyjęte zgłoszenie — może przyjść na jedno z nich następne zgłoszenie i t. d.

Zagadnienie rozdziału zgłoszeń znacznie się komplikuje, gdy na tego typu centrali jest kilka rodzajów stanowisk zgłoszeniowych, pracujących z jedną grupą miejskich linii zgłoszeniowych. Ponieważ abonent w takim wypadku nie ma możliwości wybrania tarczą numerową określonego rodzaju stanowisk, więc rozdział zgłoszeń pomiędzy poszczególne rodzaje stanowisk musi się odbywać na centrali międzymiastowej.

Realizowane to jest w ten sposób, że wszystkie zgłoszenia miejskie kierowane są według wyżej wymienionych zasad rozdziału zgłoszeń na stanowiska jednego rodzaju (najczęściej poszukiwanego przez abonentów), a dopiero po stwierdzeniu przez telefonistki tych stanowisk, że zgłaszający się abonenci żądają połączenia ze stanowiskami



Rys. 1.

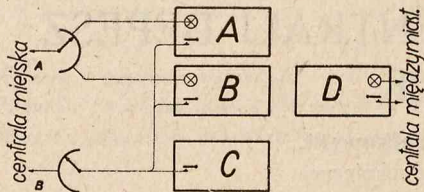
innego rodzaju, następuje automatyczne przerzucenie tych zgłoszeń na odpowiednią grupę stanowisk. Przerzucone zgłoszenia kierowane są znowu według tych samych oczywiście zasad na stanowiska najmniej obciążone w tej grupie. Na żądanie zgłoszenia mogą być wielokrotnie przerzucane na różne rodzaje stanowisk.

Poniżej omówiony będzie rozdział zgłoszeń, jaki został zastosowany w Centrali Depesz, wykonanej przez P.Z.T. i zainstalowanej w Urzędzie Telekomunikacyjnym w Warszawie. (rys. 1).

Rys. 2 przedstawia schemat zasadniczy Centrali Depesz. Jest to centrala bezsznurowa z dwoma rodzajami

stanowisk zgłoszeniowych (stanowiska przyjmowania depesz w języku polskim i stanowiska przyjmowania depesz w językach obcych), pracujących z jedną grupą miejskich linii zgłoszeniowych. Po tych liniach zgłoszenia z centrali miejskiej przychodzą na stanowiska przyjmowania depesz w języku polskim. Telefonistki, obsługujące te stanowiska, mogą na żądanie przerwycić zgłaszających się abonentów na stanowiska przyjmowania depesz w językach obcych.

Miejskie linie połączeniowe służą do wybierania zwrotnego zgłaszających się abonentów i przyjmowania od nich depesz oraz do wybierania abonentów przy nadawaniu do nich depesz. Połączenia wreszcie z centralą międzymiastową pozwalają na nadawanie i przyjmowanie depesz z central zamiejscowych.



Rys. 2.

Schemat zasadniczy Centrali Depesz.

A—przyjmowanie depesz w języku polskim, B—przyjmowanie depesz w językach obcych, C—nadawanie depesz do abonentów, D—przyjmowanie i nadawanie depesz po przewodach międzymiast.

Ze względu na temat niniejszej pracy, najbardziej interesujące są linie zgłoszeniowe, dlatego zostaną one rozpatrzone bardziej szczegółowo.

Linie zgłoszeniowe doprowadzane są z drugich wybieraków grupowych miejskich do szczotek wybieraków obrotowych. Do pola stykowego tych wybieraków doprowadzone są na początkowych pozycjach obwody zgłoszeniowe stanowisk przyjmowania depesz w języku polskim, a na dalszych pozycjach — stanowisk przyjmowania depesz w językach obcych.

Na rys. 3 podany jest zasadniczy schemat linii zgłoszeniowej i obwodu zgłoszeniowego stanowiska przyjmowania depesz w języku polskim.

Abonent po wybraniu numeru Centrali Depesz dostaje się na jedną z jej linii zgłoszeniowych. W tej chwili zaczyna działać przekaźnik MZD1, zamykając poprzez styki 5—6 obwód od impulsatora do elektromagnesu wybieraka. Skutkiem tego wybierak obrotowy zostaje uruchomiony. Szczotka C tego wybieraka szuka w polu stykowym zna-

ku minus, który jest cechą dostępnych obwodów zgłoszeniowych stanowisk przyjmowania depesz w języku polskim. Po znalezieniu takiego obwodu wybierak zatrzymuje się, przyczem tworzy się następujący obwód:

plus, sprężyny 4—3 MDZ1, sprężyny 1—2 MZD4, sprężyny 6—7 MZD2, uzwojenie MZD2, sprężyny 5—4 MZD5, szczotka C, uzwojenie PD1, przez urządzenie kontrolujące do minusa (1).

Obwód ten umożliwia przyjęcie zgłoszenia przez telefonistkę.

W starej Centrali Depesz przy połączeniach abenta ze stanowiskami roboczymi, jakimi w danym wypadku są stanowiska przyjmowania depesz w języku polskim, występował organ pośredniczący (t. zw. stół zgłoszeń), który przyjmował wszystkie zgłoszenia abonentów miejskich i rozdzielał je pomiędzy wolne telefonistki.

Zrozumiałe jest, że zysk na czasie wskutek usunięcia tego organu pośredniego nie mógł być stracony z powodu niewłaściwego rozdziału zgłoszeń przez urządzenia automatyczne, które go zastąpiły.

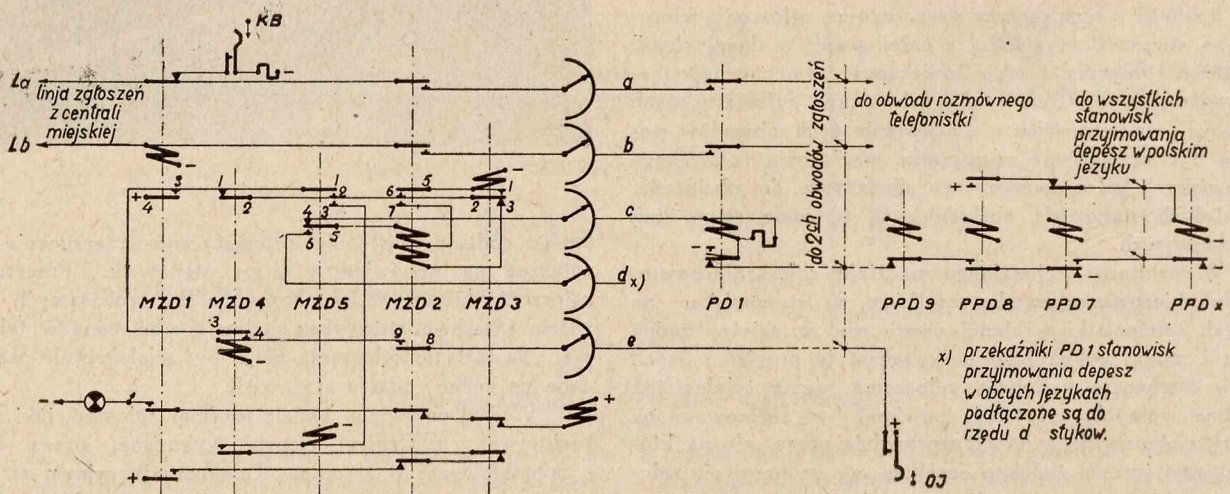
Odpowiedni rozdział zgłoszeń uzyskano przez wspomniane wyżej cechowanie minusem obwodów zgłoszeniowych, które odbywa się zgodnie z zasadą ogólną, opisaną na wstępie.

Mianowicie przedewszystkiem cechowane są minusem obwody zgłoszeniowe stanowisk, niezajętych żadną pracą, a dopiero, gdy takich niema — obwody stanowisk już zajętych rozmową.

Wtedy zgłoszenia kierowane są do tych telefonistek, które mają jeszcze wolne obwody zgłoszeniowe, to znaczy — zajęte są rozmową po liniach połączeniowych do centrali miejskiej, służbowej lub po jednym z obwodów zgłoszeniowych.

Stanowiska bowiem posiadają po dwa obwody zgłoszeniowe, co pozwala na przyjęcie zgłoszenia nawet w wypadku, gdy wszystkie telefonistki mają zajęte po jednym obwodzie zgłoszeniowym.

Obserwacje, poczynione po uruchomieniu Centrali Depesz, potwierdziły celowość zastosowania drugich obwodów zgłoszeniowych. W godzinach bowiem słabego ruchu, gdy telefonistek, przyjmujących zgłoszenia, jest niewiele, często się zdarza, że wszystkie te telefonistki zajęte są rozmową ze zgłaszającymi się abonentami; kierowanie wtedy nowych zgłoszeń do drugich obwodów zgłoszeniowych telefonistek przedstawia nietylko tę dogodność, że abonent, który otrzymuje wtedy sygnał zgłoszeniowy centrali, jest bardziej skłon-



Rys. 3.

Schemat zasadniczy obwodów zgłoszeniowych.

ny do czekania, ale i tę, że telefonistka, u której zapala się druga lampka zgłoszeniowa, przyspiesza zakończenie prowadzonej rozmowy, lub przerywa chwilowo tę rozmowę i porozumiewa się z drugim abonentem.

Cechowanie obwodów zgłoszeniowych zrealizowane zostało w ten sposób, że żyły próbne C tych obwodów kontrolowane są przez kilka przekaźników stanowiskowych o odpowiednio dobranym działaniu.

Jak widać ze schematu na rys. 3, kontrolę dokonywują przekaźniki: PPD9, PPD8, PPD7, PPDX.

Działanie ich jest następujące:

PPD8 działa, gdy stanowisko jest obsadzone i niezablokowane. Minus baterji doprowadzony zostaje do uzwojenia PD1 i stanowisko może przyjąć zgłoszenie.

PPD7 działa, gdy telefonistka jest zajęta rozmową po jakimkolwiek obwodzie.

PPD9 działa, gdy na stanowisku oczekuje zgłoszenie.

Jeżeli więc telefonistka jest zajęta rozmową i działa przekaźnik PPD7, który przerywa połączenie od PD1 do minusa, wybieraki nie będą mogły zatrzymać się na żadnym z jej dwóch obwodów zgłoszeniowych, aż do chwili, gdy zwolni się przekaźnik PPDX, wspólny dla całej grupy, który połączy znowu PD1 z minusem. Nastąpi to wtedy, gdy część stanowisk będzie nieobsadzona (PPD8 nie działa), a reszta — zajęta rozmową (PPD7 działa). W ten sposób zgłoszenia kierowane są najpierw do telefonistek wolnych i — dopiero gdy takich niema i wobec tego zwalnia się przekaźnik PPDX — wybieraki mają możność zatrzymania się na obwodach zgłoszeniowych telefonistek zajętych.

Stopniowanie zajętości telefonistek przeprowadzone zostało za pomocą przekaźnika PPD9.

W czasie działania tego przekaźnika, t. j. od chwili zatrzymania się wybieraka aż do chwili przechylenia przez telefonistkę przełącznika zgłoszeniowego i rozpoczęcia rozmowy, stanowisko staje się niedostępne dla nowych zgłoszeń, nawet w razie zwolnienia przekaźnika PPDX.

Korzystniej bowiem wtedy jest kierować zgłoszenie do stanowisk, które już rozmowę prowadzą (działa PPD7).

Po utworzeniu się obwodu (1), jak już było powiedziane, telefonistka może przyjąć zgłoszenie. O ile abonent chce nadać depezę w języku polskim, telefonistka sprawdza jego numer przez wybranie zwrotne i po dodatnim wyniku sprawdzenia przyjmuje depezę. Jeśli natomiast okaże się, że abonent chce nadać depezę w języku obcym, to telefonistka, nie sprawdzając jego numeru, przerzuca go na stanowisko przyjmowania depeż w językach obcych. Przerzucenie to odbywa się przez przechylenie przełącznika OJ, co powoduje uruchomienie przekaźnika MZD4:

plus, przełącznik OJ, szczołka E, sprężyny 8—9 MZD2, uzwojenie MZD4, minus (2).

Przekaźnik MZD4 zapewnia sobie podtrzymanie przez własne sprężyny 3—4 i zapomocą przekaźnika MZD5

przełącza przekaźnik MZD2 z żyły c na d. Wskutek tego uruchomiony zostaje powtórnie wybierak. Próba odbywa się tym razem przez szczołkę D, w której polu stykowym podłączone są żyły próbne obwodów zgłoszeniowych stanowisk przyjmowania depeż w językach obcych.

Dalszy przebieg czynności jest taki sam, jak na stanowiskach przyjmowania depeż w języku polskim (rys. 3).

W powyższy sposób przeprowadzona została na Centrali Depesz zasada kierowania zgłoszeń z centrali miejskiej bezpośrednio do stanowisk najmniej w danej grupie obciążonych.

Przerzucanie tych zgłoszeń z jednej grupy do drugiej dokonywane jest automatycznie przez telefonistki pierwszej podstawowej grupy.

Schemat połączeń przy zgłaszaniu się telefonistek centrali międzymiastowej znacznie odbiega od wyżej opisanego.

Nowa centrala międzymiastowa w Warszawie posiadać będzie specjalne urządzenia automatyczne, umożliwiające rezerwowanie przewodów do Centrali Depesz.

Wobec tego nie zachodziła już potrzeba wyposażenia telefonistki w dwa obwody zgłoszeniowe od strony centrali międzymiastowej. Jeżeli bowiem wszystkie telefonistki będą zajęte, wybierak automatu centrali międzymiastowej będzie mógł zatrzymać się na obwodzie zgłoszeniowym telefonistki zajętej i przez charakterystyczny sygnał (miganie lampki) zwrócić jej uwagę, a jednocześnie dać znać w podobny sposób telefonistce wywołującej, że Centrala Depesz została zarezerwowana.

Kryteria, określające zajętość telefonistki, są w tym wypadku inne, niż poprzednio na stanowiskach, przyjmujących zgłoszenia z centrali miejskiej. Mianowicie nie każda rozmowa telefonistki wywołuje tutaj cechy zajętości w polu wielokrotnem obwodów zgłoszeniowych z centrali międzymiastowej. Nie zachodzi to przy rozmowach po liniach połączeniowych do centrali międzymiastowej. Wyodrębnienie tych rozmów jest słuszne z tego względu, że są to rozmowy bardzo krótkie, służą bowiem tylko do zamawiania przewodów międzymiastowych dla Centrali Depesz, więc nawet w razie nadejścia zgłoszenia z centrali międzymiastowej w czasie trwania takiej rozmowy opóźnienie w przyjęciu jego będzie nieznaczne.

Ostatnią wreszcie różnicą jest brak podziału na stanowiska języka polskiego i języków obcych. Potrzeba takiego podziału nie zachodziła z tego względu, że telefonistki tych stanowisk nie mają bezpośredniego kontaktu z abonentem (współpracują bowiem tylko z obsługą central zamiejscowych).

Jak wynika z powyższego, w Centrali Depesz zastosowane zostały dwa różne rozwiązania rozdziału zgłoszeń. Oparte są one na tej samej zasadzie jaknajszybszego przyjęcia zgłoszenia przez Centralę, różnice zaś powstały wskutek uwzględnienia odmiennych warunków pracy poszczególnych rodzajów stanowisk.

TRAFIK ZEWNĘTRZNY W AUTOMATYCZNYCH ŁĄCZNICACH PRYWATNYCH.

Inż. Jerzy Jędrychowski.

Państwowe Zakłady Tele- i Radjotechniczne.

Streszczenie. Istnieją trzy zasadnicze rodzaje urządzeń pośredniczących w trafiku zewnętrznym: translacja, aparat główny i awizo. Translacja pracuje pełnoautomatycznie w obu kierunkach, aparat główny i awizo pośredniczą automatycznie tylko dla kierunku wyjściowego, podczas gdy dla kierunku wejściowego wymagają obsługi ręcznej.

Aparat główny skutecznie łączy przez łącznicę, obciążając ją niezależnie od ruchu wewnętrznego, natomiast awizo posiada pole gniazdkowe abonentów wewnętrznych i połączenia są skuteczniane sznurem awiza, bez pośrednictwa łącznicy automatycznej.

W godzinach pozasłużbowych linie miejskie są przełączone na określone aparaty wewnętrzne, przeznaczone do przyjmowania wchodzących rozmów miejskich, przyczem zarówno linie miejskie, jak i przyłączone do nich aparaty wewnętrzne pozostają dostępne dla pozostałych abonentów łącznicy prywatnej.

Tematem niniejszego artykułu będą trzy rodzaje urządzeń telefonicznych, pośredniczących w tworzeniu połączeń między abonentami różnych łącznic:

1) Translacje — są to grupy przekładnikowe, pracujące pełnoautomatycznie, umożliwiające przeniesienie impulsowania z jednej łącznicy do drugiej i tworzące zarazem ogniwo w obwodzie rozmównym. Translacje są jednokierunkowe, jeśli linia, na której pracują, jest wyzyskana w jednym tylko kierunku: albo dla rozmów wchodzących, albo dla rozmów wychodzących, lub też dwukierunkowe, jeśli linia jest wyzyskana w obu kierunkach.

2) Aparat główny — urządzenie półautomatyczne, z ręcznym pośrednictwem dla rozmów wchodzących, przy pełnoautomatycznym trafiku wychodzącym. Rozmowy wchodzące łączone są z abonentami wewnętrznymi przez zespoły połączeniowe łącznicy automatycznej.

3) Awizo — urządzenie półautomatyczne, jak aparat główny, z tą jednak różnicą, że posiada pole gniazdkowe abonentów wewnętrznych i rozmowy wchodzące nie zajmują wyposażenia łącznicy automatycznej, lecz łączone są przez sznur i wtyczkę awiza wprost z linią abonenta.

Zależnie od rozmiarów łącznicy automatycznej, z którą współpracuje łącznica prywatna, trafik zewnętrzny załatwiany jest pełnoautomatycznie lub półautomatycznie.

W wypadku współpracy z inną łącznicą prywatną liczba numerów w obu sieciach jest niewielka, zainteresowanie wzajemne abonentów obu sieci — duże, abonenci są z sobą w częstym kontakcie, każdy z nich bez trudności może otrzymać spisy numerów obu sieci i wszyscy uczą się nawzajem przeprowadzania połączeń z jednej sieci do drugiej. W tych warunkach załatwianie trafiku zewnętrznego w sposób pełnoautomatyczny jest najbardziej wskazane i połączenia między obu łącznicami skuteczniane są za pośrednictwem jedno- lub dwukierunkowych translacji.

Translacje dwukierunkowe posiadają dwa przekładniki impulsujące, po jednym dla każdego kierunku.

W stanie biernym załączone są z obu końców na linię połączeniową uzwojenia przekładnika impulsującego w kierunku wyjściowym.

Każda z łącznic oddzielona jest od linii dwoma kondensatorami.

Z chwilą, gdy w łącznicy wybrany zostaje numer translacji, w pierwszej wolnej translacji po żyłę próbnej *c* zostaje wzbudzony przekładnik wyjściowy, który przełącza linię z kierunku wejściowego na wyjściowy.

Po żyłach *a* i *b*, od strony łącznicy, uruchomiony zostaje przekładnik impulsujący wyjściowy, który załącza na żyły linii bieguny baterji za pośrednictwem dławików.

Po pierwszej stronie linii połączeniowej wzbudza się od tej baterji przekładnik impulsujący wejściowy, który przerywa żyłę próbną *c* na wyjście i wzbudza ponadto równoległe dwa przekładniki.

Pierwszy z nich uruchamia szukacz łącznicy i cechuje dekadę i żyłę *c* w polu szukacza.

Gdy szukacz znajdzie zgłaszającą się translację, przekładnik ten zostaje wyłączony przez inny przekładnik, uruchomiony z szukacza po żyłę *c* i odcinający kierunek wyjściowy, niezależnie od przekładnika impulsującego wejściowego.

Drugi z wspomnianych poprzednio przekładników ma na celu uprzywilejowanie kierunku wejściowego w wypadku, gdy translacja jest zajmowana z obu kierunków jednocześnie.

Powstaje wówczas niebezpieczeństwo, że przekładnik wyjściowy odetnie linię od przekładnika impulsującego w kierunku wejściowym w tej samej chwili, gdy ten ostatni przerwie żyłę *c*, po której trzyma się przekładnik wyjściowy. Oba przekładniki odpadłyby wówczas poto, by za chwilę przyciągnąć i odpaść znowu.

Zapobiegający temu przekładnik działa szybko, przerywa dodatkowo żyłę *c* i zwiera styki przekładnika wyjściowego, które odłączały przekładnik impulsujący wejściowy od linii. W ten sposób rozmowa wychodząca zostaje wyłączona, a rozmowa wchodząca utrzymana.

W czasie impulsowania dławiki w linii są zwierane, a kondensatory odłączane.

W wypadku współpracy z łącznicą miejską, rozmiary sieci są tak duże, a procent abonentów miejskich, biorących udział w trafiku do łącznicy prywatnej, tak mały, że poza wypadkami wyjątkowymi współpraca pełnoautomatyczna jest wskazana tylko dla kierunku wyjściowego do łącznicy dużej, zaś dla kierunku do łącznicy prywatnej wprowadza się pośrednictwo półautomatyczne.

Dla liczby linii połączeniowych pięć i poniżej pięciu instaluje się aparat główny, powyżej tej liczby — łącznicę awizo.

Oba te urządzenia przewidują możliwość zablokowania części abonentów, zarówno dla rozmów wychodzących, jak i przychodzących z miasta.

Blokada rozmów wychodzących dokonywana jest po czwartej żyłę *d* i polega na wzbudzeniu w translacji przekładnika, przerywającego obwód żyły *c* przed utworzeniem się obwodu próbnego w zespole połączeniowym, jeśli abonent zablokowany wybrał numer linii miejskiej. Abonent ten otrzymuje w konsekwencji brzęczyk zajętości.

Zarówno w aparacie głównym, jak i w awizie, łącznica oddzielona jest od linii połączeniowej dwoma kondensatorami.

Prąd dzwonienia, przychodzący z łącznicy miejskiej przez linię połączeniową, uruchamia przekaźnik alarmowy, który zapala lampkę alarmową i podtrzymuje się. Przekaznik ten odłącza ponadto wyjście do miasta po tej linii.

Przez przechylenie przełącznika przerzutowego na aparacie głównym lub awizie w jednym kierunku obsługujący łączy się z miastem.

W wypadku aparatu głównego obsługujący przechyla następnie przełącznik w przeciwnym kierunku i zgłasza się na tej samej linii do łącznicy prywatnej, poczem wybiera numer pożądanym.

Mikrotelefon aparatu głównego zasilany jest w rozmowie z miastem z łącznicy miejskiej, przy rozmowie natomiast z łącznicą prywatną posiada własny przekaźnik zasilający, oddzielony od łącznicy kondensatorami na żyłach a i b, a zamykający pętlę dławikiem. Przekaznik ten impulsuje w takt tarczy i uruchamia ponadto specjalny wybierak blokujący, przez którego szczotki i styki przechodzą żyły a i b z aparatu głównego do szukacza łącznicy.

Styki, odpowiadające abonentom zablockowanym, są izolowane i połączenie tych abonentów z miastem jest niemożliwe.

W wypadku wybrania abonenta niezablockowanego, obsługujący aparat główny, po zgłoszeniu się wybranego abonenta, stawia przełącznik przerzutowy w położeniu środkowym. Czerwona lampka zajętości na odpowiedniej linii sygnalizuje okres trwania rozmowy zarówno wchodzącej, jak wychodzącej. Sygnał skończenia rozmowy jest w aparacie głównym jednostronny, od strony abonenta łącznicy prywatnej.

W awizo rozmowy, wchodzące z miasta, łączone są w polu gniazdkowym. W polu tem nie są umieszczone gniazdzka abonentów zablockowanych. Pole gniazdkowe awiza połączone jest równolegle do wielokrocia abonentów i próba zajętości abonenta uskuteczniata jest według obwodów próbnych łącznicy prywatnej.

Po przyciągnięciu przekaźnika próbnego w sznurze awiza zostaje załączone automatyczne dzwonienie, jak w łącznicy. W wypadku niezgłoszenia się wybranego abonenta w ciągu jednej minuty dzwonienie zostaje przerwane i sznur zwolniony.

W okresie dzwonienia lampka zajętości linii zapala

się przyćmionem światłem w takt dzwonienia, a po zgłoszeniu się abonenta zapala się pełnym, nieprzerwanym światłem.

Abonent, pokręcając tarczą w czasie rozmowy, powoduje miganie lampki zajętości, czem może zwrócić uwagę telefonistki i spowodować włączenie się jej do rozmowy.

Po zgłoszeniu się abonenta łącznicy prywatnej sznur trzymany jest jednostronnie przez tegoż abonenta i, po położeniu przezeń mikrotelefonu, rozłączenie następuje niezależnie od tego, czy wtyczka jest wyjęta z gniazdzka, czy nie.

Awizo posiada szereg przełączników nocnych, uruchamianych przez telefonistkę po godzinach biurowych. Jednocześnie wtyczki linii miejskich zostają umieszczone na całą noc w gniazdkach wybranych aparatów.

Przełączniki nocne nie zmieniają przebiegu połączenia dla trafiku, wychodzącego do miasta.

Natomiast rozmowy przychodzące załatwiane są w sposób dwojaki, zależnie od tego, czy aparat, w którego gniazdko włożona jest wtyczka linii miejskiej, zajęty jest rozmową wewnętrzną czy też nie.

W wypadku zajętości dzwonienie łącznicy miejskiej zostaje urwane, a przez uzwojenie przekaźnika alarmowego wysłany zostaje w ciągu 10 sek. brzęczyk zajętości do abonenta miejskiego.

W wypadku abonenta swobodnego przekaźnik alarmowy przyciąga w takt dzwonienia i, przy pierwszym zadziałaniu, załącza inny przekaźnik na tę żyłę linii miejskiej, po której odbywa się powrót dzwonienia. Znak przekaźnika tak jest dobrany, aby mógł on podtrzymywać się przez cały czas dzwonienia.

Przekaznik ten zamyka obwód przekaźnika próbnego, zaś alarmowy uruchamia okresowe dzwonienie w takt dzwonienia miejskiego.

W razie, jeśliby abonent miejski nie doczekał się zgłoszenia abonenta wewnętrznego, to po przerwaniu połączenia odpada zespół połączeniowy łącznicy miejskiej, niepodtrzymywany przez awizo, odpada przekaźnik, podtrzymujący się na jednej żyłce miejskiej, odpada przekaźnik próbnym, linja miejska uwalnia się dla rozmów wyjściowych od łącznicy miejskiej, a przekaźnik alarmowy przestaje się wzbudzać wobec niewysyłania alarmów z łącznicy miejskiej.

Od strony łącznicy prywatnej linje miejskie wybierane są w układzie PBX; urządzenia tego z braku miejsca nie opisuję.

ELEKTRO-AKUSTYCZNE BADANIA APARATÓW TELEFONICZNYCH.

Tadeusz Korn.

Państwowy Instytut Telekomunikacyjny.

Streszczenie. Badania jakości aparatów telefonicznych przeprowadzone w P. I. T. metodami elektroakustyki telefonicznej stwierdziły niski poziom aparatów krajowej produkcji. Poszukiwania P. I. T. doprowadziły jednak do znalezienia środków, podnoszących jakość tych aparatów do poziomu najlepszych firm zagranicznych.

Wstęp.

Państwowy Instytut Telekomunikacyjny przeprowadził w ostatnich czasach badania aparatów telefonicznych pod względem elektroakustycznym. W artykule niniejszym

będą omówione metody tych badań, wyniki pomiarów oraz środki, które osiągnięto poprawę jakości badanych aparatów.

Metody elektroakustyki telefonicznej.

Badanie jakości aparatów telefonicznych stanowi odrębną gałąź elektroakustyki. Badanie to bowiem wymaga użycia metod odmiennych od tych, jakie stosujemy w innych działach elektroakustyki, jak: radio, film dźwiękowy i t. p. W tych dziedzinach określenie jakości aparatury czy jej części osiągamy drogą pomiaru obiektywnego, przez wyznaczenie charakterystycznego dla niej stosunku

wielkości wyjściowej i wejściowej $k = \frac{X_k}{X_p}$. Dyskusja zależności tego stosunku od częstotliwości i amplitudy daje nam miarę zarówno czułości (skuteczności), jak i wielkości zniekształceń głosu.

W dziedzinie telefonji natomiast powyższe metody obiektywne okazują się kłopotliwe. Pierwszą przeszkodą w stosowaniu tych metod jest trudność w odtworzeniu warunków pracy aparatu telefonicznego. Pomiar zaś ma praktyczną wartość tylko wówczas, gdy obiekt badany posiada podczas pomiaru tę samą wydajność, co w warunkach normalnej pracy. Wydajność każdego aparatu zależy od energetycznego dopasowania do niego części współpracujących, wobec czego właściwości ich muszą być ściśle takie, jak podczas eksploatacji.

W aparatach telefonicznych specjalną trudność stanowi odwzorowanie warunków pracy części akustycznych, t. j. mikrofonu i słuchawki. Części te znajdują się w bardziej skomplikowanych warunkach pracy, niż analogiczne aparaty elektroakustyczne z innych dziedzin. Jeżeli porównamy np. pracę głośnika radiowego i słuchawki telefonicznej, to stwierdzimy, że praca ich odbywa się w odmiennych warunkach akustycznych. Głośnik radiowy pracuje dla odbiornika, jakim jest ucho słuchacza, dostatecznie odległego, przez co przekazywanie energii sprowadza się do czystego promieniowania akustycznego. W ten sposób na głośnik oddziaływa jedynie opór promieniowania ośrodka przenoszącego (powietrza), odbiornik zaś nie ma żadnego wpływu wtórnego. W ujęciu energetycznym istnieje zatem jedynie zagadnienie dopasowania głośnika do danego ośrodka, t. j. wydajność głośnika w powietrzu o stałych właściwościach jest stała, bez względu na charakter odbiornika.

Inaczej zachowuje się słuchawka telefoniczna, przyciśnięta do ucha. W tym wypadku występuje zjawisko nie promieniowania, lecz sprzężenia akustycznego obu układów: słuchawki i ucha. Wskutek tego wydajność słuchawki będzie już zależna od dopasowania do niej odbiornika, z którym współpracuje. Uciekając się do analogji elektromagnetycznych, możemy powiedzieć, że zachowanie się głośnika przypomina pracę stacji radiowej nadawczej w wypadku, gdy odbiornik jest odsunięty w sferę czystego promieniowania. Praca słuchawki natomiast odpowiada warunkom magnetycznego sprzężenia obwodów nadawczego i odbiorczego¹⁾.

Równie skomplikowane są warunki pracy mikrofonu telefonicznego. Organ mowy ludzkiej nie jest prostym generatorem membranowym, lecz posiada pewne cechy swoiste. Wpływ tych cech maleje szybko wraz z odległością, tak, że w warunkach pracy mikrofonu radiowego czy filmowego (odległość ok. 75 cm) możemy już mówić o czystym promieniowaniu. Przy pracy mikrofonu telefonicznego natomiast (odległość 0—5 cm) obserwujemy skomplikowane wpływy częściowego sprzężenia akustycznego komory mikrofonowej z jamą ustną, zjawisko wdmuchiwanie głosu i t. p. Wskutek tego, o ile w elektroakustyce ogólnej badanie instalacji możemy przeprowadzić narzędziami o dowolnych właściwościach, o tyle w telefonji musimy budować przyrządy, któreby odtwarzały ściśle właściwości ust i ucha ludzkiego. Zaniedbanie tego warunku daje wyniki, które nie odpowiadają zachowaniu się aparatu w rzeczywistości.

Dla wprowadzenia metod obiektywnych do telefonji firma „Bell Telephone System” zbudowała przyrząd, odtwa-

rzający względnie dokładnie właściwości ust i ucha ludzkiego, t. zw. „sztuczny głos i słuch”²⁾. Jednak mimo te wszystkie udoskonalenia metoda obiektywna nie zdołała w telefonji zapanować całkowicie, a to wskutek dalszych trudności, na jakie napotyka jej wprowadzenie.

Przypuśćmy bowiem, że przez idealne odtworzenie warunków pracy zdołaliśmy wyznaczyć dla danego aparatu jego stosunek przenoszenia „k” w zależności od częstotliwości i amplitudy. Z otrzymanych wyników należałoby dopiero odczytać jakość badanego przyrządu. O ile odczytanie takie przy badaniu instalacji dźwiękowych nie przedstawia specjalnych trudności, o tyle w dziedzinie aparatów telefonicznych jest ono bardzo kłopotliwe. Przyczyną tego jest odmienność wymagań, jakie stawiamy aparatom dźwiękowym a telefonicznym i środków, jakie mamy w obu wypadkach do dyspozycji. Przy instalacjach dźwiękowych rozporządzamy aparaturą wzmacniającą i wysokowartościowymi częściami, wymagamy zato daleko posuniętej wierności przenoszenia głosu. W ten sposób możemy ustalić ściśle normy liczbowe na maksymalne dopuszczalne zniekształcenia, których przestrzeganie decyduje o jakości aparatury. W teletechnice natomiast zależy nam przede wszystkim na prostocie i taniości aparatów. Dla tych względów rezygnujemy ze strony estetyczno-muzycznej przenoszonego głosu, a wymagamy jedynie dostatecznej „jakości telekomunikacyjnej” aparatu, t. j. możliwości dogodnego porozumienia się. Z tego powodu nie możemy już stać na gruncie twardych norm na zniekształcenia, lecz musimy zniekształcenia te tolerować dopóty, dopóki nie cierpi na tem jeszcze zrozumiałość mowy. W tych warunkach dokładne odczytanie jakości aparatu, a tembardziej jej określenie liczbowe, byłoby rzeczą niełatwą³⁾.

Jak wynika z powyższej dyskusji, pomiar jakości aparatów telefonicznych nie może się odbywać drogą analityczną, lecz musi polegać wprost na syntetycznym zmierzeniu tych wielkości, które nas z praktycznego punktu widzenia interesują. Dlatego też pomimo całej oczywistej wyższości metod obiektywnych pomiar jakości aparatów telefonicznych musi się odbywać jak dotychczas — przy pomocy głosu i słuchu ludzkiego.

Metoda obiektywna oddaje natomiast wielkie usługi, jeśli chodzi nam o wniknięcie w charakter zniekształceń głosu, zachodzących w aparacie telefonicznym. Analiza taka jest niezbędną przy wykrywaniu źródeł zniekształceń oraz ich usuwaniu. Doświadczenia powszechnie przeprowadzone dały szereg metod tego rodzaju pomiarów⁴⁾. Badania te jednak mają charakter głównie jakościowy i orientacyjny. Ostatecznym sprawdzianem są pomiary syntetyczne jakości telekomunikacyjnej przy pomocy ekipy operatorów.

Jakość telekomunikacyjną aparatu telefonicznego stanowią jego dwie cechy: skuteczność i czystość. Skuteczność aparatu jest miarą natężenia dźwięku, obieranego z układu badanego, czystość zaś — miarą zniekształceń, jakim podlega głos w danym układzie. Nie ustalono dotychczas, w jakim wzajemnym stosunku wpływają te cechy na jakość aparatu, t. j. nie ustalono wspólnej miary dla obu tych

²⁾ A. H. Inglis, C.H.G. Gray, R. T. Jenkins: „A Voice and Ear for Telephone Measurements” Monografia B—664 „Bell Telephone System”.

³⁾ por.: John Collard: „The Calculation of the Articulation of Telephone Circuit from the Circuit Constants” El. Communication, styczeń 1930.

⁴⁾ Erwin Mayer: „Akustische Messtechnik”; W. Geffcken und H. Heisig Telephone - Hdbuch der Exp. Physik E. Waetzmann 1934 (tamże dalsza literatura).

¹⁾ W. Schottky: „Elektroakustik” w wyd. Die wissenschaftliche Grundlagen des Rundfunkempfangs — K. W. Wagner str. 90 r. 1927.

wielkości. Zagadnienie to jest dopiero przedmiotem prac 4-ej komisji CCI. Dotychczas więc mierzymy obie te wielkości równolegle⁵⁾.

Skuteczność.

Skuteczność aparatów telefonicznych określamy przez subiektywne porównanie ich głośności z głośnością pewnego układu wzorcowego. Za wzorec taki przyjęto w drodze umów międzynarodowych specjalnie zbudowany układ elektroakustyczny, t. zw. „Système Fondamental Européen de Référence pour la Transmission Téléphonique” (w skrócie S. F. E. R. T.), przechowywany w Paryżu⁶⁾. *Miarą tłumienia skutecznego dowolnego aparatu będzie tłumienie, jakie należy włączyć w obwód wspomnianego wzorca, aby słuchacz otrzymał wrażenie jednakowej głośności z układu wzorcowego i badanego, przy nadawaniu pewnego zdania umownego do obu układów z jednakowym natężeniem głosu.* Tłumienie to wyrażamy w neperach lub decybelach.

Do użytku poszczególnych krajów istnieją t. zw. wzorce robocze⁷⁾. Są to również pewne układy elektroakustyczne, o skuteczności określonej względem wzorca międzynarodowego. Zmierzanie skuteczności dowolnego aparatu handlowego polega naprzód na wyznaczeniu jego tłumienia względem wzorca roboczego, a następnie na przecechowaniu otrzymanych wyników na skalę międzynarodową przez dodanie do nich tłumienia skutecznego wzorca roboczego względem S. F. E. R. T. Tłumienie to jest podane w metryce, dołączonej do wzorca roboczego.

Jako zadanie konwencjonalne, nadawane przy pomiarze, przyjęto w różnych krajach jako najbardziej charakterystyczne dla danego języka:

Francja: „Paris — Bordeaux — Le Mans — St. Leu — Léon — Loudun”.

Anglja: „One, two, three, four, five”.

Ameryka: Joe took your father's shoe bench out.

Niemcy: Ein und zwanzig i t. d.

Polska: „Warszawa — Paryż — Londyn”.

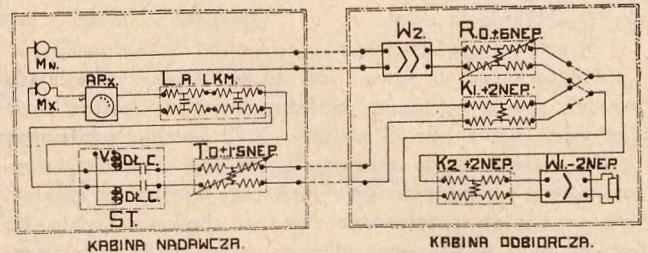
Dokładność tej metody, polegającej na ustalaniu równowagi głośności według subiektywnego wrażenia zależy w wysokim stopniu od tego, jak dalece barwy głosu obu obwodów są do siebie zbliżone. Przy barwach identycznych błąd pomiaru nie powinien przekraczać 0,05 Nep, przy barwach odmiennych może dochodzić do 0,2 Nep. Wzorce robocze bywają dwóch zasadniczych typów: z mikrofonem węglowym (skrót z franc. „S.E.T.A.C.”) i elektromagnetycznym (skrót: „S.E.T.E.M.”).

W Polsce wzorce obu rodzajów posiada Państwowy Instytut Telekomunikacyjny.

Uproszczone schematy tych aparatów znajdujemy na rys. 1 i 2.

Rysunek 1 przedstawia schemat wzorca syst. „S.E.T.E.M.” firmy Siemens-Halske⁸⁾ w układzie, przeznaczonym do badania skuteczności nadawczej aparatów C. B. W kabine nadawczej znajduje się mikrofon wzorcowy M_n oraz układ badany (M_x, AP_x, L, A, L, K, M), którego opis dokładny będzie podany niżej. W kabinie słuchacza znajduje się wspólny układ odbiorczy ($K^2, W, St.$), do którego za pomocą przełącznika można włączać kolejno oba obwody: badany i wzorcowy. W obwodzie wzorcowym znajduje się tłumienie równoważące R , które słuchacz nastawia tak, aby przy kolejnym włączeniu obu obwodów otrzymać jednakowe

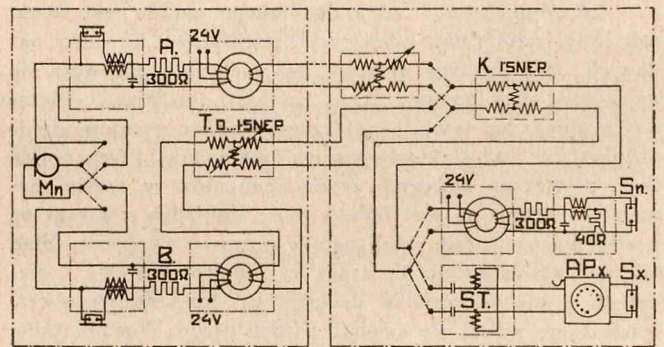
wrażenie głośności. W kabinie nadawczej znajduje się ponadto załączone do obwodu badanego t. zw. tłumienie tajne P , nastawiane w tajemnicy przed operatorem słuchającym. Celem jego jest każdorazowe przesuwanie punktu równowagi dla każdego pomiaru, co nie pozwala operatorowi słuchającemu sugerować się swymi poprzednimi wynikami. Różnica



Rys. 1. Schemat aparatury wzorcowej systemu S.E.T.E.M.

odczytów tłumień równoważającego i tajnego daje miarę tłumienia skutecznego aparatu w stosunku do wzorca.

Na rysunku 2 widzimy schemat aparatury f-my „Standard El. Co.” systemu „S.E.T.A.C.”⁹⁾, ustawionej do badania skuteczności odbiorczej aparatów C. B. W kabinie słuchacza znajdują się obwody badany i wzorcowy, włączane



Rys. 2. Schemat aparatury wzorcowej systemu S.E.T.A.C.

kolejno do układu nadawczego. Nadawanie odbywa się przez dwa identyczne obwody A i B, posiadające wspólny mikrofon „ M_n ”. Klucze uruchamiane są jednocześnie przy pomocy układu przekazników. Rola tłumienia tajnego i równoważającego jest taka sama, jak w wypadku poprzednim.

Oba wzorce po odpowiednich przełączeniach dają się używać do badania zarówno skuteczności nadawczej, jak i odbiorczej.

Czystość.

Ogólny skutek wszystkich zniekształceń głosu i zakłóceń, zachodzących w badanym aparacie, określamy przez pomiar jego czystości.

„Czystość” aparatu jest pojęciem syntetycznym, gdyż przy wyznaczaniu jej nie przeprowadzamy analizy występujących zniekształceń, lecz badamy wprost ich efekt słuchowy, wywierany na przenoszonym rozmowie. Pojęcie to nie obejmuje strony muzyczno-estetycznej przekazywanych dźwięków, gdyż te kwestje w normalnej eksploatacji telefonicznej grają rolę podrzędną. „Czystość” danego aparatu układu daje nam jedynie miarę, jak dalece układ ten przeinacza lub zaciera mowę artykułowaną, pogarszając możliwość porozumienia się.

⁹⁾ „Handbook Nr. 65-b”, wyd. Standard Telephone and Cables Limited.

⁵⁾ C.C.I.F. Komisja 4, zagadnienie 2-a.

⁶⁾ C.C.I.F. „Livre Rouge”, str. 36, 1931.

⁷⁾ C.C.I.F. „Livre Jaune”, str. 73.

⁸⁾ „Beschreibung zum Arbeitseichkreis” wyd. Siemens-Halske, 1932.

Na określenie pojęcia czystości utworzono szereg wielkości matematycznych, począwszy od najbardziej złożonej aż do elementarnej¹⁰⁾.

Wielkościami temi są:

- 1) skuteczność czasowa,
- 2) zrozumiałość zdań (idei),
- 3) artykulacja słów,
- 4) artykulacja sylab,
- 5) artykulacja dźwięków.

Skuteczność czasowa jest to wielkość, określająca stosunek czasu, w jakim możemy przesłać pewną ilość zdań (idei) przez obwód idealny, t. j. niezniekształcający i badany. Jest rzeczą zrozumiałą, że obwód zniekształcający będzie wymagał do tego większego czasu, niż idealny, gdyż na skutek przeznaczenia mowy słuchacz będzie się domagał bądź powtórzenia słów czy zdań, bądź wolniejszego mówienia, lub też będzie tracił pewien czas na domyślanie się sensu otrzymanego zdania.

Skuteczność czasowa jest wielkością, najbardziej obchodzącą abonentów i Zarząd Telefonów, gdyż łączy się bezpośrednio z kwestją ekonomiczną. Wielkość ta jest jednak zbyt syntetyczna, by nadawała się do pomiarów. Dlatego też do celów pomiarowych używamy innych wielkości, które są z nią związane zależnością funkcjonalną. Wielkościami temi są zrozumiałość i artykulacja.

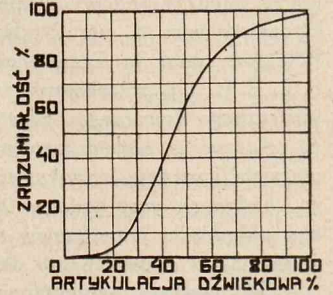
„Zrozumiałością” zdań dla danego układu jest stosunek ilości zdań (idei) odebranych prawidłowo do ilości nadanych. W praktyce pomiary tej wielkości odbywają się najczęściej przy pomocy t. zw. „metody powtórzeń”. Metoda ta polega na tym, że połączenie badane znajduje się w eksploatacji pod stałą obserwacją telefonistki, która notuje ilość powtórzeń żądanych przez abonentów w czasie rozmowy. Metoda ta jest jednak mało dokładna z uwagi na wielki wpływ różnic inteligencji i wprawy słuchaczy. Stąd też wyniki osiągnięte tą drogą są bardzo chwiejne i niepewne, i dla otrzymania dostatecznej dokładności obserwacje takie muszą się ciągnąć bardzo długo. Pomiary takie można wykonać również w warunkach laboratoryjnych przez nadawanie serii zdań (idei), utworzonych sztucznie. Przy doborze wyszkolonej ekipy aparatów wyniki te są bardziej miarodajne, niż przy obserwacji rozmów rzeczywistych.

Najbardziej analitycznym i najpowszechniej stosowanym jest pomiar „artykulacji”. Przy pomiarze tym nadajemy nie całe zdania o pewnej treści logicznej, lecz jedynie elementy mowy artykułowej, pozbawione wszelkiego znaczenia treściowego. Elementy te (sylaby) nadawane są serjami, a stosunek prawidłowo odebranych do całej ilości nadawanych jest miarą „artykulacji” dla danego aparatu.

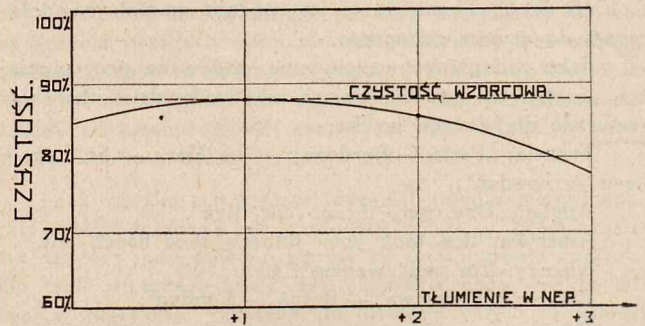
Jest rzeczą oczywistą, że próba „artykulacji” jest próbą znacznie ostrzejszą, niż próba zrozumiałości, gdyż wyeliminowanie sensu logicznego utrudnia w znacznym stopniu domyślenie się danego dźwięku. To też zależność między artykulacją a zrozumiałością przedstawia się w postaci krzywej wg. rys. 3. Znaczne wyeliminowanie czynnika domyślności zwiększa dokładność metody „artykulacji” w porównaniu z metodą zrozumiałości. Mimo to jednak wpływy postronne grają tu w dalszym ciągu znaczną rolę. Wpływami temi są: niejednakowa trudność list nadawanych, niejednakowa wyrazistość dyktowania oraz różnice w dyspozycji psychicznej ekipy. Jak dowodzi do-

świadczenie, osiągnięcie dokładności 2% wymaga nadania ok. 2000 sylab. Jest to oczywiście liczba tak znaczna, że czyni ona pomiary kłopotliwymi i kosztownymi.

Dla zwiększenia dokładności metody artykulacji opracowano powszechnie cały szereg jej wariantów, mniej lub więcej eliminujących wpływy postronne¹¹⁾. P. I. T. opracował metodę własną, opartą na następujących zasadach: zamiast bezpośredniego pomiaru artykulacji względnej wprowadzono pomiar artykulacji względnej, t. j. odniesionej do poziomu pewnego wzorca czystości. Za wzorec taki przyjęto aparatę SETEM f-my Siemens-Halske z mikrofonem elektromagnetycznym, wzmacniakiem i filtrami, nadającymi jej barwę głosu i czystość dobrych aparatów handlowych. Ponieważ czystość każdej instalacji zależy od jej głośności, rys. 4¹²⁾, za czystość wzorcową wspomnianej aparatury przyjęto czystość maksymalną, odpowiadającą dodatkowemu tłumieniu $R = 1$ Nep. (por. schemat rys. 1). Poziom tej czystości został



Rys. 3.
Zależność między artykulacją a zrozumiałością.



Rys. 4.
Zależność między czystością a głośnością aparatury wzorcowej.

ustalony raz na zawsze przez wielką ilość pomiarów. Ekipa operatorów składa się z 3 ludzi odpowiednio wytrenowanych. Listy sylab przyjęto wg. zaleceń Rady Teletechnicznej, jako charakterystyczne dla właściwości języka polskiego.

Zbadanie dowolnego aparatu składało się z następującej serii pomiarów, ujętych w poniższą tabelę:

Operatorzy A, B, C

Aparaty Wzorcowy: N

Badany: X.

Listy: n, n + 1, ...

Operatorzy		L i s t y	
mówi	słucha	n	n + 1
A	B	N	X
	C	X	N

Tabl. I.

¹¹⁾ J. Collard „The accurate Measurement of Articulation”, Post. Office El. En. Journal, kwiecień 1930. T. G. Castner i C. W. Carter: „Developments in the Application of Articulation Testing”. The Bell System Technical Journal, lipiec 1933. C.C.I. j. w. Annexes A,B,C.

¹²⁾ Spadek czystości dla większych natężeń tłumaczy się zniekształceniami subiektywnymi (T. Korn: „Teoria subiektywnego słyszenia, „Przeгляд Teletechniczny” lipiec 1933).

¹⁰⁾ John Collard: „A Theoretical Study of the Articulation and Intelligibility of a Telephone Circuit”, El. Comm. styczeń 1929. — H. Fletcher and J. C. Steinberg „Articulation Testing Method” The Bell, System Technical Journal, październik 1929. — C.C.I.F. „Livre Rouge” str. 60, r. 1931.

Metoda powyższa, wprowadzając symetrię w traktowaniu aparatów N i X, eliminuje w znacznym stopniu różnice, wynikające z nierównej trudności list czy sprawności słuchającego. Zmieniając cyklicznie operatorów, możemy przy nadaniu 300 sylab osiągnąć dokładność ok. ± 2%. Dokładność ta jest tem większa, im czystość aparatów badanych jest bliższa czystości wzorcowej. Pomiar taki daje nam „czystość odczytaną” wzorca i ap. badanego C'_n i C'_x . Obliczoną następnie „czystość względną”

$$C_r = C'_x - C'_n$$

można przecechować łatwo na skalę absolutną:

$$C_x = C_r + C_n$$

Badanie aparatów P. Z. T.

Celem pomiarów było ustalenie jakości telekomunikacyjnej aparatów P. Z. T. w zestawieniu z aparatami firm zagranicznych. Aparaty badane posiadały następujące cechy konstrukcyjne:

Firma	Mikro-telefon (odległość mówienia)	Cewka indukcyjna	Ilość sztuk
PZT	52 mm	zwykła, rdzeń otwarty	4
PZT ₂	35 „	antylokalna, rdzeń otwarty	4
A	18 „	antylokalna, rdzeń zamk.	2
B	25 „	cz. „ „ „	2
C	10 „	„ „ „	2

Tabl. II.

Aparaty P Z T, wymienione w pozycji 1, są typu dotychczas produkowanego. Aparaty P Z T₂ z poz. 2 są typem produkcji projektowanej. Aparaty A, B, C są aparatami pierwszorzędnymi firm zagranicznych.

Badanie jakości telekomunikacyjnej powyższych aparatów polegało na zmierzeniu

- 1) skuteczności: a) nadawczej, b) odbiorczej,
- 2) czystości: a) nadawczej, b) odbiorczej.

Każdy aparat załączony był do układu, odwzorowującego warunki jego normalnej pracy. Układ ten, wspomniany ogólnie przy opisie wzorców telefonicznych, widzimy na rys. 1. Dla aparatów C B składał się z czwórnika, zastępującego linię abonencką kablową $\varnothing = 0,6$ mm $R = 126 \Omega/\text{km.}$, $C = 0,0038 \mu\text{F}/\text{km.}$, i ze stacji zasilającej. Wielkości elektryczne stacji oraz wielkość napięcia zasilającego dobierana była do przeznaczenia danego aparatu. Przy badaniu jakości odbiorczej napięcia zasilającego nie stosowano.

Regulacja czwórnika L pozwala na określenie jakości aparatu w funkcji odległości od stacji. Jest to szczególnie ważne dla skuteczności nadawczej, gdzie odległość od stacji wpływa nietylko na tłumienie linii, ale i na wielkość prądu zasilającego. Przy badaniu jakości odbiorczej przyjęto długość linii abonenckiej $l = 0$.

Wyniki pomiarów.

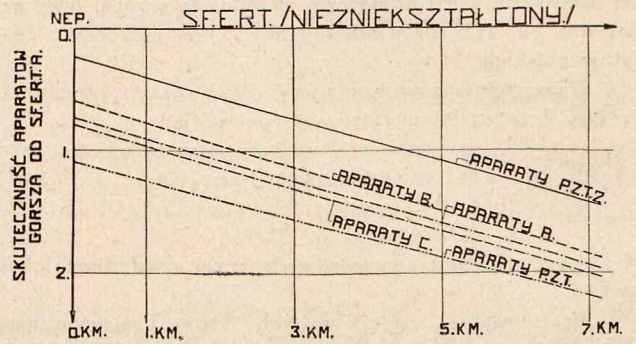
Wyniki pomiarów jakości aparatów są podane na rys. 5, 6, 7 i tabl. III.

Omówienie wyników.

a) Skuteczność.

Zestawione powyżej wyniki dowodzą, że skuteczność nadawcza aparatów P Z T typu projektowanego jest o 0,7 Nep większa od typu dotychczasowego. Na poprawę tę składają się następujące pozycje:

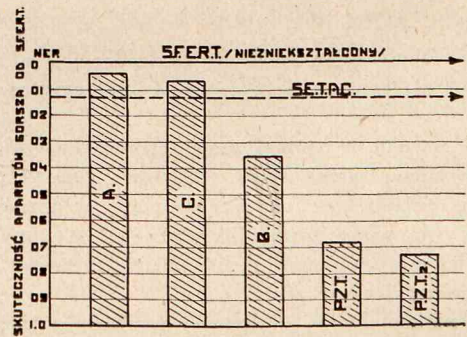
- Skuteczność nadawcza mikrotelefonu krótkiego lepsza od długiego 0,45 Nep.
- Skuteczność nadawcza cewki antylokalnej lepsza od zwykłej 0,25 Nep.
- Razem typ projektowany lepszy od dotychczasowego. 0,70 Nep.



Rys. 5.

Wyniki badań skuteczności nadawczej.

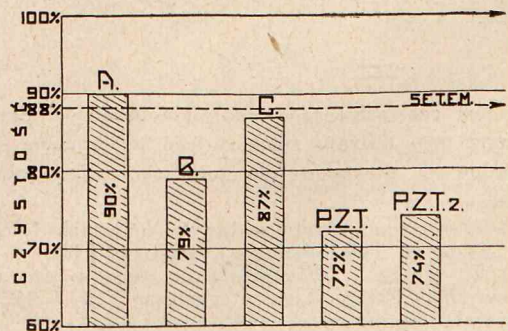
Tak poprawione aparaty P Z T będą posiadały skuteczność nadawczą lepszą od typowych aparatów zagranicznych firm A B i C. Różnica ta wyniesie ok. 0,5 Nep (w porównaniu z aparatami A) na korzyść aparatów polskich.



Rys. 6.

Wyniki badań skuteczności odbiorczej.

Inaczej natomiast przedstawia się zestawienie skuteczności odbiorczej. Skuteczność ta dla aparatów P Z T jest niższa od poziomu europejskiego o ok. 0,7 Nep. i o tyleż mniej więcej niższa od wymaganych norm zachodnio-europejskich (francuskich).



Rys. 7.

Wyniki badań czystości nadawczej.

Aparat	Czystość
Wzorzec	88%
A	90%
PZT	85%

Tabl. III.

b) Czystość.

Zestawienie czystości aparatów badanych dowodzi, że aparaty P Z T stoją pod względem czystości poniżej dobrych aparatów zagranicznych zarówno w swej części nadawczej, jak i odbiorczej. Różnica ta wynosi przy nadawaniu ok. 16%, przy odbiorze ok. 5% na niekorzyść aparatów polskich.

Reasumując powyższe uwagi, stwierdzamy, że aparaty P Z T typu dotychczasowego posiadają:

skuteczność	{	nadawczą o 0,2 Nep gorszą od ap. zagr.			
		odbiorczą o 0,6 Nep	"	"	"
czystość	{	nadawczą o 16%	"	"	"
		odbiorczą o 5%	"	"	"

nie licząc strat przenoszenia, związanych z efektem lokalnym¹³⁾.

Zastosowanie części nowych typu projektowanego powoduje poprawę skuteczności nadawczej o 0,7 Nep i usuwa straty, pochodzące od efektu lokalnego. Natomiast czystość nadawcza polepsza się zaledwie o parę procent, pozostając w dalszym ciągu o kilkanaście procent poniżej poziomu zagranicznego. Również jakość odbiorcza aparatów nie doznała poprawy.

Poprawienie aparatów P Z T.

1) Czystość.

Pierwszym zadaniem było stwierdzenie, jakiej kategorii zniekształcenia są przyczyną niskiej czystości aparatów P Z T.

Jak wynika z ogólnej teorii elektroakustyki, istnieją 3 rodzaje zniekształceń głosu: nieliniowe, liniowe i fazowe. Odsyłając czytelników po wyczerpujące informacje z tej dziedziny do przytoczonej literatury¹⁴⁾, zrobimy na tem miejscu jedynie pobieżny skrót, charakteryzujący wspomniane zniekształcenia.

1) Zniekształcenia nieliniowe powstają wówczas, gdy wielkości wejściowa i wyjściowa danej części aparatury są związane zależnościami, dla której¹⁵⁾

$$\frac{d^2 x_k}{d x_p^2} \neq 0$$

Zniekształcenia te powodują powstawanie tonów harmonicznych i kombinowanych.

2) Zniekształcenia liniowe powstają wówczas, gdy zależność między wielkościami $k = \frac{x_k}{x_p}$ posiada własności następujące:

$$\frac{dk}{df} \neq 0$$

gdzie f jest częstotliwością tonu przenoszonego. Skutkiem słyszalnym tego rodzaju zniekształceń jest zmiana stosunku składowych przenoszonego tonu skomplikowanego.

¹³⁾ T. Korn: „Efekt lokalny w Aparatach Telefonicznych“, „Przegląd Teletechniczny“, grudzień 1934.

¹⁴⁾ T. Korn: „Zniekształcenie głosu w aparaturach dźwiękowych“, „Przegl. Elektrotechniczny“ 15 — 1933 tamże literatura zagraniczna.

¹⁵⁾ Podliasky: „Distortion dans l'enregistrement et la reproduction du son“ L' Onde Electrique, październik 1932.

3) Zniekształcenia fazowe zachodzą w wypadku, gdy faza wielkości wyjściowej, t. j. jej opóźnienie, posiada właściwości

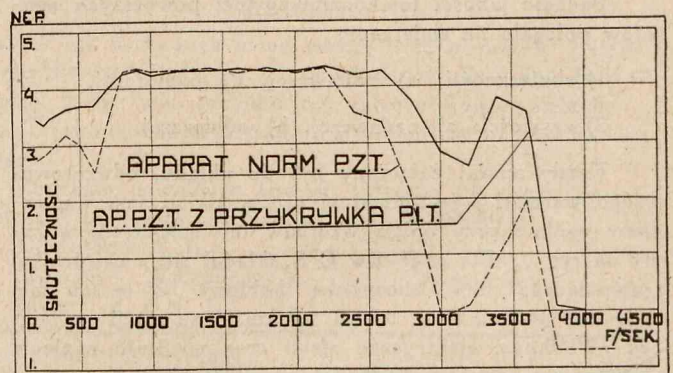
$$\frac{d\varphi}{df} \neq 0.$$

Efekt słyszalny powyższego zniekształcenia powstaje, gdy opóźnienie $\frac{\Delta\varphi}{\omega}$ jest rzędu dziesiątych sekundy.

Liczne doświadczenia dowiodły, że w dziedzinie aparatów telefonicznych decydującą rolę grają zniekształcenia liniowe. Zniekształcenia fazowe, jako nieprzekraczające na terenie aparatu telefonicznego $1/4$ okresu, są do pominięcia. Zniekształcenia nieliniowe są wprawdzie bardzo wielkie zwłaszcza w części nadawczej (mikrofon), ale ich skutki wpływają więcej na stronę estetyczno-muzyczną, niż na jakość telekomunikacyjną przenoszonego głosu. Jak dowiodły bowiem badania Bekesy'ego i innych¹⁶⁾ spadek czystości układu, spowodowany obecnością zniekształceń nieliniowych, jest w warunkach telefonicznych niezbyt znaczny.

Zasadniczą rolę w telefonji odgrywają natomiast zniekształcenia liniowe¹⁷⁾. Wpływ tych zniekształceń odbija się nie tylko na barwie muzycznej przenoszonego głosu, ale i na wyrazistości jego dźwięków artykułowanych. Dźwięki te bowiem zawdzięczają swój indywidualny charakter odpowiedniej kombinacji zawartych w nich składników. Zniekształcenia liniowe, powodując obcięcie czy przytłumienie poszczególnych składników, prowadzą do zatracenia cech charakterystycznych danego dźwięku.

Dla określenia charakteru zniekształceń liniowych, zachodzących w części nadawczej aparatów P Z T, zdjęto krzywą ich skuteczności w funkcji częstotliwości. Do tego celu użyto metody, stosowanej w Instytucie Radjotechnicznym do badania wkładek mikrofonowych¹⁸⁾. Metoda ta, choć nieodwzorowująca ściśle warunków pracy mikrofonu, okazała się użyteczna, jeżeli chodzi o wnikięcie jakościowe w mechanizm zjawisk. Badaniu poddano aparat PZT. z mikrotelefonem normalnym. Krzywa skuteczności tego aparatu w funkcji częstotliwości podana jest na rys. 8. Jak z niej wynika, aparat P Z T posiada znaczne zniekształcenia liniowe, upośledzające tony wysokie. Taki charakter



Rys. 8.

Krzywa częstotliwości aparatu P.Z.T. ze starą i nową przykrywką mikrofonową.

¹⁶⁾ G. v. Békésy: „Über den Einfluss der nichtlinearen Eisenverzerrungen auf die Güte und Verständlichkeit eines Telefonie — Übertragungssystemes E N T 231 — 1928; M. Grützmacher: „Durchlassbereich, Phasen. u. Klirrfaktor von Fernkabel“ E N T 386—1929.

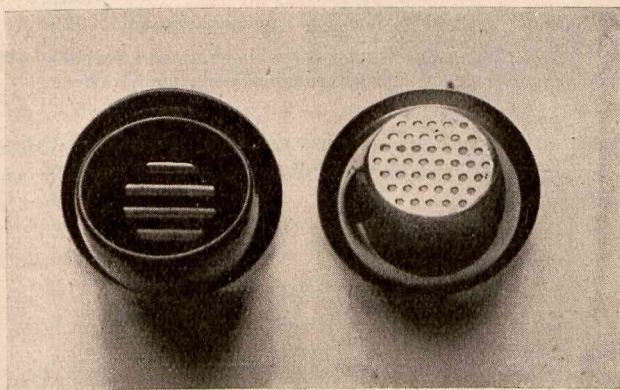
¹⁷⁾ H. Fletcher: „Speech and Hearing“ 1927, F. Trendelenburg: „Physik der Sprachlaute“ Handbuch der Physik, wyd. Oeiger i Scheel. Tom XIII, rozdział 10, 1927 (tamże dalsza literatura).

¹⁸⁾ St. Dierewianko i L. Goldfeld: „Porównawcze badania mikrofonów telefonicznych“, Przegląd Teletechniczny, listopad 1932.

krzywej częstotliwości stwarzał w aparatach P Z T przeinaczenie mowy artykułowanej. Przedewszystkiem samogłoski, jako złożone z tonów przeważnie niższych, doznawały nadmiernego wzmocnienia na niekorzyść spółgłosek, będących naogół kompozycją tonów wyższych. W ten sposób samogłoski pokrywały w znacznym stopniu dźwięki spółgłoskowe, które w tych warunkach były trudno dostrzegalne. Ponadto spółgłoski przez obcięcie ich wyższych składników zatracaly swe cechy charakterystyczne, zlewając się z pokrewnymi fonetycznie. Obserwacja list „sylab” stwierdziła, że największym przeinaczeniom podlegały spółgłoski świstowe, jak: s, ś, ć i t. p.

Powyższe właściwości aparatów P Z T dostrzegalne zresztą były wprost słuchowo. Mowa, przenoszona przez te aparaty, posiadała charakterystyczną tubalną „ciemną” barwę głosu w przeciwieństwie do „jasności” i wyrazistości głosu dobrych aparatów zagranicznych. Taki charakter aparatów P Z T specjalnie nie nadawał się do przenoszenia języka polskiego, jako posiadającego charakter wybitnie spółgłoskowy¹⁹⁾.

Po stwierdzeniu charakteru zniekształceń głosu następnym etapem było umiejscowienie ich źródła. Badania P I T wykazały, że główna przyczyna zniekształceń nadawczych leżała we właściwościach akustycznych przykrywki mikrofonowej. Przykrywka ta w aparatach P Z T miała kształt półkulistej komory metalowej z dziurowanem zamknięciem. Znaczenie akustyczne przykrywki mikrofonowej nie jest jeszcze powszechnie doceniane. Wiele firm stosuje do dziś dnia przykrywki o kształcie przypadkowym, powstałe zaś w ten sposób zniekształcenia kładzie na karb wkładki mikrofonowej. Tymczasem, jak wykazują nowsze doświadczenia, wpływ przykrywki na wyrazistość przenieszonego głosu jest tak wielki, że przewyższa nieraz wpływ części elektrycznych²⁰⁾.

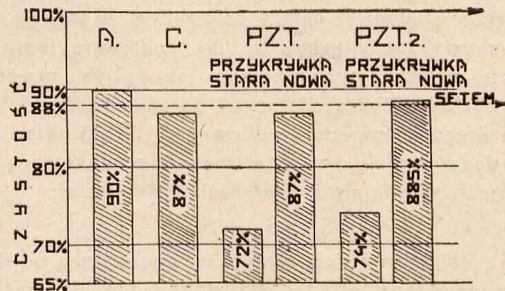


Rys. 9.

Widok przykrywki dotychczasowej P.Z.T. i nowej projektu P. I. T.

Wobec tego P. I. T. opracował nowy typ przykrywki mikrofonowej (rys. 9), której właściwości zmieniają zasadniczo krzywą częstotliwości części nadawczej aparatu. Zmiana ta uwidoczniła jest na rys. 8, gdzie znajdujemy zestawienie krzywych aparatów z przykrywką starą i nową. Poprawienie krzywej częstotliwości usunęło przyczynę niskiej czystości nadawczej. Aparaty z nową przykrywką wykazały po-

prawę czystości, uwidoczniłą na rys. 10. Zastosowanie nowej przykrywki nie powoduje przytem spadku skuteczności.



Rys. 10.

Wyniki zastosowania nowej przykrywki mikrofonowej.

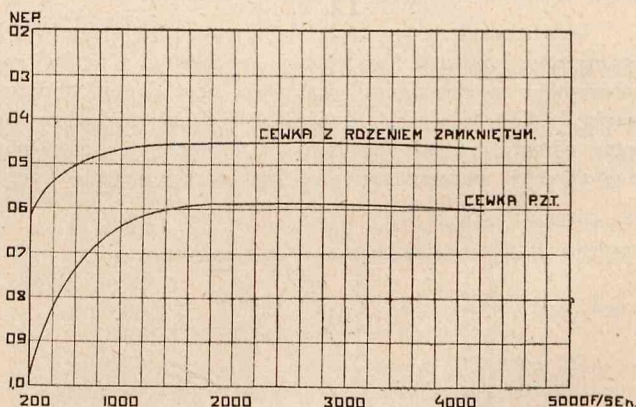
Powyższa poprawa czystości dostrzegalna jest wprost słuchowo. Nowa przykrywka P. I. T. daje w aparatach P Z T „jasność” tonu i ostrą wyrazistość spółgłosek.

Poprawienie systemu odbiorczego aparatów P Z T.

Jak stwierdziliśmy powyżej, układ odbiorczy aparatów P Z T posiada skuteczność o 0.7 Nep niższą i czystość o 5% niższą od poziomu zagranicznego. Badania P. I. T. wykazały, że 70% straty skuteczności ma swe źródło w słuchawce, a 30% w cewce indukcyjnej. Strata czystości natomiast przypada całkowicie na słuchawkę telefoniczną.

Cewka indukcyjna.

Pomiary P. I. T. wykazały, że skuteczność cewki PZT jest gorsza o 0.2 Nep od skuteczności cewek zagranicznych. Przyczyna tego leży w nadmiernym tłumieniu własnym, spowodowanem małą indukcyjnością i dużem rozproszeniem. P. I. T. opracował nowy typ cewki, w której przez zmianę kolejności uzwojeń i zastosowanie rdzenia zamkniętego uzyskano zmniejszenie tłumienia własnego o przeszło 0.2 Nep (rys. 11).



Rys. 11.

Krzywa tłumienia własnego cewki indukcyjnej P.Z.T. i nowej projektu P. I. T.

Wynik ten potwierdzają pomiary subiektywne, stwierdzające podniesienie się skuteczności odbiorczej o przeszło 0.2 Nep.

Słuchawka.

Wady słuchawki mogą mieć swe źródło bądź w stronie elektrycznej, bądź w stronie mechaniczno-akustycznej. Badanie cewki indukcyjnej, a wraz z nią całego układu „linja-aparat” wykazały, że strona elektryczno-energetyczna pra-

¹⁹⁾ Firmy zagraniczne np. stosują w aparaturach do nagrywania filmów dźwiękowych w języku polskim specjalną kompensację, wzmacniającą tony wysokie (składowe spółgłosek).

²⁰⁾ P. Chavasse: Quelques considerations sur l'evolution et l'etat actuel de la technique microphonique Annales des P. T. et T. stycznia 1933.

cuje zadawalająco. Wielkiej precyzji „dopasowania” trudno tu zresztą wymagać z uwagi na to, że opór wejściowy linii waha się w bardzo szerokich granicach. Wskutek tego źródła braków słuchawki należy poszukiwać w stronie mechaniczno-akustycznej słuchawki. Na podstawie teorii drgań oscylacje membrany, traktowanej jako płyta, zamocowana na obwodzie, można zredukować do równoważnych energetycznie drgań jej punktu środkowego²¹⁾. Taki układ zastępczy posiadać będzie pewną sztywność zredukowaną, której współczynnik składa się z wielkości następującej:

$$S_r = S_m + S_a$$

gdzie S_m jest sztywnością zastępczą, pochodzącą od sił sprężystych membrany, a S_a — sztywnością dodatkową, pochodzącą od układu akustycznego. Obie te wielkości zależą od kształtu drgań membrany.

Również masa membrany przy przeniesieniu jej do punktu środkowego ulega zredukowaniu. W ten sposób równanie drgań wymuszonych da się przedstawić w postaci

$$m_r \frac{d^2 x}{dt^2} + W \frac{dx}{dt} + S_r x = p \sin \omega t$$

gdzie M_r — jest zredukowaną masą membrany, W — współczynnikiem oporu, stratności, S_r — omówioną powyżej „sztywnością zredukowaną”, a p — amplitudą sinusoidalnej siły wymuszającej. Amplituda ta wynosi wg. znanych wzorów:

$$p = c \Phi_0 \Phi_m$$

gdzie Φ_0 jest stałym strumieniem zasilającym, a Φ_m amplitudą strumienia zmiennego, powstałego od amperozwojów akustycznych.

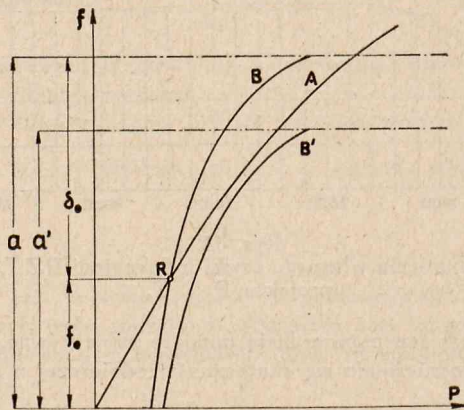
Dla podniesienia więc skuteczności słuchawki winniśmy dążyć zarówno do zwiększenia strumienia stałego, jak i strumienia zmiennego.

Skuteczność słuchawki można więc wyrazić wzorem

$$S = k \frac{dB}{dH} \cdot \frac{B}{H}$$

gdzie B jest indukcją magnetyczną w membranie.

Jeżeli przyjmijemy, że S M M magnesów stałych jest ograniczona kosztami i wymiarami magnesów, a liczba amperozwojów magnesujących jest stała przy danym dopasowaniu do linii, to wzrost skuteczności słuchawki będzie zależny od właściwości oporu magnetycznego obwodu. Opór magnetyczny możemy zmieniać bądź przez zmianę oporu



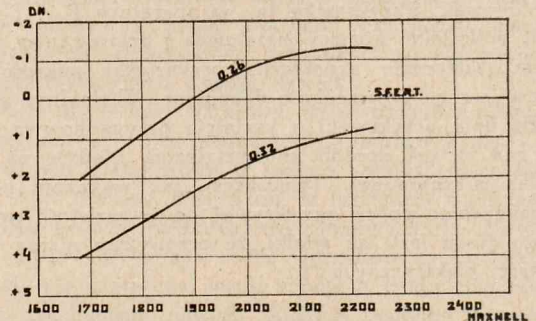
Rys. 12.

Wykres równowagi membrany telefonicznej w polu magnesów stałych.

magn. membrany, bądź przez zmianę wielkości szczeliny. Zbytne zmniejszanie szczeliny jest jednak ograniczone niebezpieczeństwem przywarcia membrany do magnesów. Możliwość tego nieodpuszczalnego zjawiska uzależniona jest od właściwości mechanicznych membrany.

Równowaga membrany w polu stałych magnesów daje się wyobrazić wykreślnie w sposób, przedstawiony na rys. 12. Krzywa „A” ilustruje charakterystykę statyczną membrany, t. j. zależność jej strzałki ugięcia od siły działającej na środek. Krzywa „B” jest określeniem zależności siły pola działającego na membranę w funkcji szczeliny. Punkt przecięcia się tych krzywych będzie punktem równowagi membrany w polu magnesów. Odległość „a” jest odległością powierzchni nasadek biegunowych od płaszczyzny zamocowania membrany. Zmniejszenie tej odległości powoduje pożądane przesuwanie się punktu równowagi w prawo. Nadmierne jednak zmniejszenie tej odległości może doprowadzić bądź do wejścia punktu R na część krzywej A, odpowiadającej sferze odkształceń stałych, bądź do zniknięcia punktu równowagi, to odpowiada natychmiastowemu przywarciu membrany do magnesów (krzywa B’).

Utrzymanie punktu równowagi przy małej szczelinie uzależnione jest więc od dostatecznie dużej sztywności



Rys. 13.

Wykres skuteczności słuchawki w funkcji siły magnesów dla różnych odległości zamocowania membrany.

membrany (przy umiarkowanej grubości). P. I. T. zastosował do membran telefonicznych blachę o następujących właściwościach:

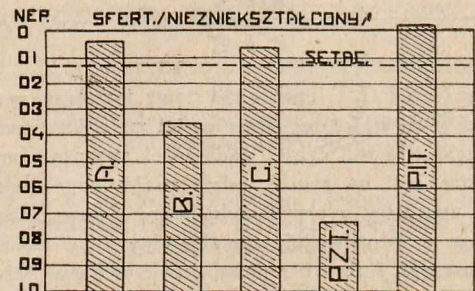
Grubość = 0,28 (z lak)

Gęstość = 7,55 gr./cm³

Wydłużenie = 5% na 2 c

Granica wytrż. = 36 tonn/cal².

Skuteczność słuchawek z membranami tego typu została określona w funkcji siły magnesów i odległości pier-



Rys. 14.

Poprawie skuteczności odbiorczej aparatów P.Z.T.

²¹⁾ K. Schuster: „Schwingungsgebilde mit verteilter Masse und Elastizitet — Handbuch der Experimental Physik wyd. E. Waetzmann, tom: „Technische Akustik” 1934.

wotnej „a”. Do konstrukcji zastosowano magnesy kształtu i typu dotychczas używanego w słuchawkach P. Z. T. Siłę

ich określono przez pomiar strumienia magnetycznego w pasie obojętnym w stanie otwartym.

Zależności powyższe znajdujemy na rys. 13. Skuteczność słuchawek określano przy załączaniu do nowej cewki indukcyjnej P. I. T.

Odległość $a = 0,26$ przyjęto jako najniższą, przy której dla danej siły magnesów nie zachodzi niebezpieczeństwo przywarcia. W ten sposób za średni poziom skuteczności odbiorczej aparatów poprawionych można przyjąć (dla $a = 0,29$; $P = 2200 \text{ Max.}$) — $0,05 \text{ Nep.} + 0,3 \text{ Nep}$ tolerancji. Tolerancji tej odpowiada tolerancja elementów składowych słuchawki

$$\text{tol. } a = (0,26 - 0,32)$$

$$\text{tol. } P = (> 1850 \text{ Max.})$$

Jednocześnie z poprawieniem skuteczności słuchawek uzyskano poprawę ich czystości, wynoszącą ok. 5%.

Całkowita poprawa skuteczności odbiorczej aparatów P Z T została uwidoczniiona na rys. 14.

Zakończenie.

Omówione w powyższym artykule badania P. I. T. w dziedzinie aparatów telefonicznych stwierdziły następujące własności elektroakustyczne aparatów P. Z. T.

A p a r a t	Nadawanie		Odbiór	
	Skuteczność względem Shift'a w Nep.	Czystość	Skuteczność względem Shift'a w Nep.	Czystość
Aparat normalny PZT . . .	+1.4	72%	+0.7	85%
„ projektu PZT . . .	+0.7	74%	+0.7	85%
„ projektu PIT	+0.7	89%	-0.05	90%

Tabl. IV.

VI WALNE ZGROMADZENIE STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH W KRAKOWIE

od 1 do 4 czerwca 1934 roku.

PROGRAM

(Zmiany i uzupełnienia zastrzeżone).

Piątek, 1 czerwca.

9.00. Nabożeństwo w kościele św. Anny, przy ulicy Św. Anny.

10.00. Otwarcie VI Walnego Zgromadzenia Stowarzyszenia Elektryków Polskich w sali Starego Teatru (ul. Jagiellońska 1)*).

1. Zağajenie i wybór dwu asesorów Walnego Zgromadzenia.

2. Przemówienie powitalne Prezesa Stowarzyszenia Elektryków Polskich inż. Alfonsa Kühna.

3. Przemówienia powitalne przedstawicieli władz.

4. Referaty:

a) Inż. Alfons Kühn: „Zdobycze polskiego przemysłu elektrotechnicznego w odrodzonej Polsce” (odczyt prezydalny).

b) Inż. Kazimierz Siwicki: *Referat na temat zdobyczy elektryfikacji na tle ogólnego położenia gospodarczego kraju.*

12.00. Otwarcie pokazu krajowej wytwórczości elektrotechnicznej w gmachu Akademii Górniczej przy Al. Mickiewicza, 30.

13.00. Wspólna fotografia przed gmachem Akademii.

13.00—15.00. Przerwa obiadowa.

15.00—17.00. Zwiedzanie Fabryki Kabli (przejazd autobusami z Placu Szczepańskiego, do restauracji „Pawilon”).

17.00—18.30. Zwiedzanie Elektrowni Krakowskiej.

20.00. Teatr.

*) Według zapowiedzi otwarcie Walnego Zgromadzenia i pokazu zaszczylić ma swoją obecnością Pan Prezydent Rzeczypospolitej, prof. dr. inż. Ignacy Mościcki, członek honorowy Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

(Grana będzie jedna z lepszych sztuk nowego repertuaru. Bilety ulgowe. Zamówienia należy zgłaszać zawczasu na deklaracji dla zarezerwowania odpowiedniej liczby miejsc).

Sobota, 2 czerwca.

9.00—12.30. Prace w Sekcjach.

Program dla pań—zwiedzanie Krakowa.

12.30—14.30. Przerwa obiadowa.

14.30—18.30. Wycieczka do Wieliczki, zwiedzanie Salin. Koszt udziału w wycieczce wyniesie po 3 zł. od osoby.

18.30—20.00. Referaty:

1) Inż. I. Pilkiewicz i J. Kontrymowicz-Ogiński: „Zakopane i gminy sąsiednie pod względem elektryfikacji”.

2) Inż. Jan Podoski: „Elektryfikacja linii kolejowej z Krakowa do Zakopanego”.

3) Komunikaty z cyklu „Postępy polskiego przemysłu elektrotechnicznego” (będą drukowane w Nr. 11 „P. E.”).

20.00. Zwiedzenie w okolicach gmachu Akademii urządzeń nowoczesnego oświetlenia lampami sodowymi Al. 3 Maja.

Niedziela, 3 czerwca.

9.00—12.30. Prace w Sekcjach.

Program dla pań—zwiedzanie Krakowa.

12.30—14.30. Przerwa obiadowa.

14.30—17.00. Wycieczka do lasu Wolskiego, podwieczorek. Przejazd autobusami z Placu Szczepańskiego.

17.00—19.00. Posiedzenie do załatwienia spraw formalnych.

U w a g a. Wstęp tylko dla członków Stowarzyszenia Elektryków Polskich za osobnymi kartami wstępu, wyda-

wanemi przez Sekretariat Generalny. W posiedzeniu mogą brać udział wszyscy członkowie S.E.P., którzy nie zalegają w opłacie składek członkowskich za rok 1933.

1. *Rozpatrzenie i zatwierdzenie sprawozdania Zarządu Głównego z działalności S.E.P. w roku 1933/34* (sprawozdanie będzie wydrukowane w Nr. 11 „Przeгляdu Elektrotechnicznego” z dn. 1 czerwca 1934 r.).

2. *Rozpatrzenie i zatwierdzenie sprawozdania Komisji Rewizyjnej.*

3. *Uchwalenie preliminarza budżetowego na rok 1934 i upoważnienie Zarządu Głównego do wydatkowania sum stosownie do wpływów* (preliminarz będzie wydrukowany w Nr. 11 „P. E.”).

4. *Zatwierdzenie przepisów i norm elektrotechnicznych (PNE) stosownie do § 26 p. c. statutu S.E.P.*

5. *Ogłoszenie wyników referendum w sprawie wyborów Prezesa i członków Zarządu Głównego S.E.P.*

6. *Wybór członków Komisji Rewizyjnej.*

7. *Wybór miejsca przyszłego Walnego Zgromadzenia.*

8. *Wybór członka Komisji Rewizyjnej Funduszu im. ś. p. Tomasza Ruśkiewicza.*

21.00. Kolacja koleżeńska.

WYCIECZKA DO ZAKOPANEGO.

Poniedziałek, 4 czerwca.

Około 8-ej. Wyjazd z Krakowa pociągiem specjalnym. Przyjazd do Zakopanego około 11-ej.

Około 11-ej. Odjazd autobusami ze stacji kolejowej do hotelu.

Wspólny obiad w restauracji hotelowej.

13.30. Odjazd autobusami do Morskiego Oka.

Wycieczki piesze do Morskiego Oka, podwieczorek w schronisku.

Powrót około 18.30 do hotelu.

20.00. Wspólna kolacja w restauracji hotelowej.

Część osób wraca z Zakopanego do miejsc zamieszkania.

Grupa pozostaje na drugi dzień wycieczki.

Wtorek, 5 czerwca.

Wycieczka autobusami do Czorsztyna. Zwiedzanie ruin Zamku. Od Czorsztyna jazda łodziami przez przełom Dunajca do Szczawnicy. W Szczawnicy wycieczki piesze i zwiedzanie Zakładu. Wieczorem powrót autobusami do Nowego Targu i koleją do Krakowa.

SPIS RZECZY

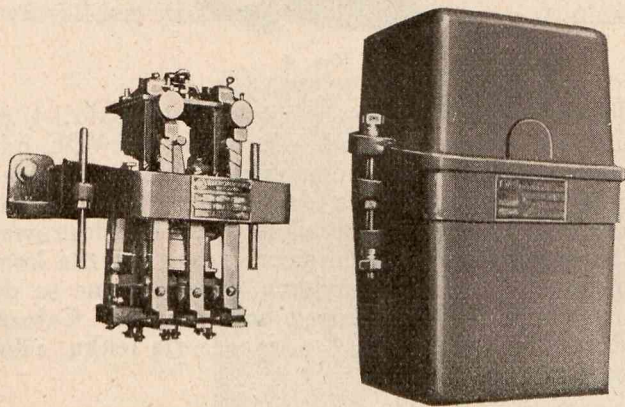
	Str.		Str.
Alfons Kühn. Bacność, elektrycy!	177	Przelaskowski W. Porównanie trakcji elektrycznej i silnikowej	251
SEKCJA OGÓLNO-ELEKTRYFIKACYJNA			
Podoski J. Elektryfikacja linii kolejowej z Krakowa do Zakopanego	178	Napieralski E. Utrzymanie sieci jezdnej	256
Pilkiewicz I. Wł. i Kontrymowicz-Ogiński J. Zakopane i gminy sąsiednie pod względem elektryfikacji	184	Zieliński J. Oświetlenie elektryczne wagonów kolejowych	261
Dział elektrowniany.			
Gieszczykiewicz St. Drzewo jako materiał izolacyjny w budowie linii wysokiego napięcia	187	Wojciechowski Z. Komunikacja tramwajowa w Toruniu	269
Szwander W. Zagadnienie zwarcia z ziemią w sieci kablowej Elektrowni Warszawskiej	194	SEKCJA MIERNICTWA ELEKTRYCZNEGO	
Tittenbrun B. Kontrola izolacji w urządzeniach elektrycznych	202	Rajski Cz. O wymiarach wielkości fizycznych	274
Rychlik Z. Statystyka porażen elektrycznych w Polsce w r. 1933 i ich analiza na tle naszych przepisów bezpieczeństwa	207	Dunikowski S. Oscylograf katodowy	278
Dział konstrukcyjny.			
Angerman J. Chłodzenie transformatorów olejowych i stosowanie konserwatorów	217	Winogradow A. Pomiar oporności materiałów izolacyjnych	287
Kopczyński W. Siły mechaniczne przy zwiarcach w transformatorach	221	Skowroński J. I. Badanie izolatorów linjowych niskiego napięcia	296
Sadowski A. Warunki pracy maszyn elektrycznych na okrętach	226	Skowroński J. I. W sprawie próby wytrzymałości elektrycznej w projekcie przepisów na oleje izolacyjne S. E. P.	304
Rozental D. Elektryczne spawanie szyn, napawanie bandaży i inne roboty spawane w trakcji elektrycznej	231	Jakubowski J. L. Wyładowania relaksacyjne w układach z elementami świetląciami	308
Krymko I. Charakterystyka maszyn do spawania	237	Szpor St. Badania metodą mostkową pól elektrycznych, wytwarzanych przez fale uskokowe	315
Dział trakcji.			
Grabiński Z. Odzyskiwanie energii elektrycznej w tramwajach	241	SEKCJA TELEKOMUNIKACYJNA	
Dział radjotechniki (p. zeszyt „Przeгляdu Radjotechnicznego”).			
Dział teletechniki.			
		Rydz L. Ogólne zasady działania Centrali Międzydzielnicowych ze szczególnem uwzględnieniem nowej Centrali Międzydzielnicowej w Katowicach	320
		Borkowski K. i Goczałkowski L. Rozdział zgłoszeń w Centrali depesz w Warszawie	327
		Jędrychowski J. Trafik zewnętrzny w automatycznych łącznicach prywatnych	330
		Korn T. Elektro-akustyczne badania aparatów telefonicznych	331

— CZĘŚĆ OPISOWA —

„ELEKTROAUTOMAT”**ZAKŁADY ELEKTROTECHNICZNE SP. Z O. O.****Warszawa, Dzielna 72**

W ostatnim okresie czasu firma „Elektroautomat” opracowała i wypuściła na rynek w dziedzinie aparatów automatycznych następujące nowe typy:

I. Wyłączniki samoczynne olejowe, sterownice, z wyzwaniem elektromagnetycznym i termicznym. (Typ SNTO). Rys. 1.



Rys. 1.

Wyłącznik tego typu składa się z 2 części: dolnej i górnej. Część dolna, mieszcząca się w zbiorniku olejowym, zawiera styki główne, silnie dymensjonowane, podwójne, zaopatrzone w wymienne styki wstępne, oraz elektromagnes z cewką napięciową, utrzymujący styki główne w stanie załączonym podczas przepływu prądu przez cewkę.

Z chwilą, gdy któryś z wyzwaczy, znajdujący się w górnej części wyłącznika przerwie obwód cewki napięciowej, lub gdy napięcie sieci spadnie o 30%, następuje momentalne wyłączenie. Pobór mocy przez cewkę napięciową w czasie pracy wynosi około 1,5 W.

Część górna wyłącznika zawiera: zaciski przyłączone, dwa lub trzy wyzwacze elektromagnetyczne (działające momentalnie) oraz termiczne działające z określonym opóźnieniem). Zadaniem wyzwaczy jest przerywanie obwodu cewki napięciowej na wypadek nadmiernego wzrostu prądu. Wyzwalacze posiadają możliwość łatwego regulowania prądu wyłączenia, a tem samem możliwość dostosowania do charakterystyki zabezpieczanego silnika.

Oprócz wyzwaczy, górna część wyłącznika zawierać może na żądanie urządzenie, umożliwiające powtórne włączenie odbiornika, nawet na

krótką chwilę, przez naciśnięcie specjalnego przycisku, jeśli uprzednio wyłączenie odbiornika nastąpiło samoczynnie (zwarcie lub przeciążenie).

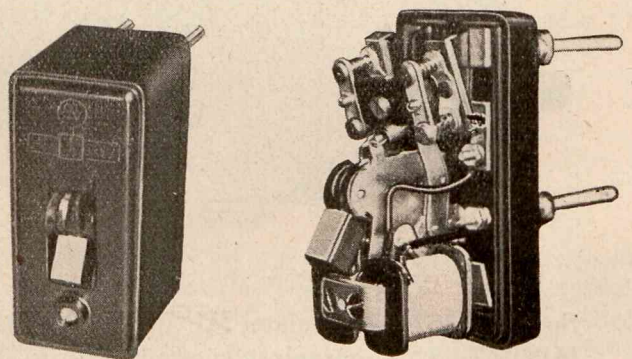
Włączanie i wyłączanie odbywać się może za pomocą jednego lub kilku przycisków, umieszczonych w dowolnym miejscu. W połączeniu z odpowiednimi przekaźnikami (ciśnieniowe lub pływakowe) wyłącznik SNTO służyć może do samoczynnego włączania i wyłączania silnika, zależnie od ciśnienia lub poziomu cieczy.

Wyłączniki SNTO znalazły najszersze zastosowanie przy zabezpieczaniu silników asynchronicznych, z możliwością sterowania z odległości, w różnego rodzaju urządzeniach automatycznych tablic rozdzielczych, stacji pomp, dźwigów i t. p.

Wyłączniki tego typu budowane są na prąd nominalny od 25 do 300 A i dla napięć do 500 V prądu zmiennego.

Na podobnej zasadzie budowane są również przez firmę „ELEKTROAUTOMAT” automatyczne przełączniki gwiazda/trójkąt, przełączniki faz i t. p.

II. Wyłączniki samoczynne jedno- i dwubiegunowe, z wyzwaniem elektromagnetycznym i termicznym, typu WELS I, II (i III). Rys. 2.



Rys. 2.

Wyłącznik WELS służy do zabezpieczenia obwodów świetlnych i silnikowych, zastępując i przewyższając w działaniu wyłączniki nożowe z bezpiecznikami. Dzięki małym wymiarom WELS II zajmuje miejsca tyle, ile dwa bezpieczniki typu TZ15. Wykonany został według własnej oryginalnej konstrukcji, zgodnie z przepisami PNE bez licencji i kontroli firm zagranicznych (zgłosz. do Urz. Patent. Pol.).

Wyzwalacz elektromagnetyczny działa momentalnie, t. zn. natychmiast, gdy prąd pobierany

przekroczy wartość, na jaką wyzwalacz został nastawiony (1,5 do 2-krotnego prądu nominalnego), natomiast wyzwalacz cieplny zabezpiecza odbiornik przed niewielkimi przeciążeniami trwającymi dłużej.

WELS II odznacza się mocną i zwartą budową; mechanizm jego wykonany jest z hartowanej stali, dzięki czemu ścieranie się części ruchomych jest minimalne. Styki są zaopatrzone w elementy wstępne (zmiennie). Całość umieszczona jest w estetycznym okapturzeniu bakelitowym.

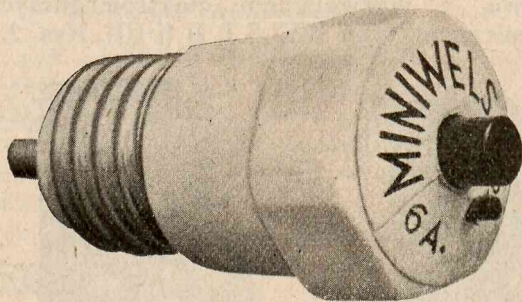
Wyłączniki WELS budowane są dla prądu nominalnego od 2 do 25 A, 380 V prądu zmiennego, względnie 250 V prądu stałego.

WELS III, trójfazowy wyłącznik samoczynny, jest aparatem, łączącym w sobie trzy jednobiegunowe WELS I, o połączonych ze sobą mechanicznie fazach.

III. MINIWELS: termiczny wyłącznik samoczynny jednobiegunowy,

odpowiadający kształtem dokładnie korkom bezpiecznikowym, dla zabezpieczenia obwodów prądu zmiennego do 380 V.

Zamknięte wewnątrz MINIWELSA dwa elementy termiczne uzupełniają się wzajemnie w swym działaniu, powodując w razie podniesienia się ich temperatury momentalne zwolnienie silnej sprężyny, wyłączającej główny kontakt — zamknięty wewnątrz. Typowo termiczna charakterystyka ich działania pozwala na zabezpieczenie obwodów narażonych na chwilowe krótkotrwałe przeciążenia (bez obawy wyłączenia prądu), gdyż przy niewielkich nawet trwałych przeciążeniach powoduje wyłączenie zagrożonego obwodu. Umieszczony u góry większy przycisk służy do włączania, mniejszy (czerwony) — z boku — do ręcznego wyłączenia (rys. 3.)



Rys. 3.

Specjalnymi wykonaniami MINIWELSÓW są:
MINIWELS — ogranicznik prądu: służy do ograniczenia przepływającego prądu. Przy przekroczeniu nominalnej wartości następuje po kilkunastu sekundach wyłączenie obwodu. Powtórne załączenie może być dokonane po krótkiej chwili.

MINIWELS SELEKTYWNY: jest to automat, pozwalający na maksymalne dopuszczalne obciążenie danego przekroju przewodów. Przy chwilowym już przeciążeniu MINIWELS wyłącza obwód z pod napięcia.

TRANSFORMATORKI MINIVOLT.

Są to małe przenośne transformatorki, obniżające napięcie sieci na 24 V o mocy od 25 do 100 VA (dla stałych do 1500 VA); służą, jako transformatorki zabezpieczające obsługę przenośnych aparatów i lamp ręcznych (stosownie do przepisów PKE i Ministerstwa Opieki Społecznej) specjalnie



Rys. 4.

dla kotłowni, blacharni, warsztatów, kopalni i t. p. Budowa, wykonana zgodnie z przepisami VDE, odznacza się hermetycznym wykonaniem, z uzwojeniem uodpornionym na działanie wilgoci i kwasów. Kabel silnie ogumowany służy dla doprowadzenia prądu o napięciu sieci, a dwa gniazda kontaktowe, szczelnie zamykane, przewidziane są do przyłączania odbiorników o napięciu 24 V. Całość, przedstawiona na rys. 4, odznacza się lekką, celową i zgrabną budową.

TRANSFORMATORKI NEONOWE.

W dziedzinie transformatorów neonowych firma ELEKTROAUTOMÁT wyrabia, do celów reklamy neonowej; transformatorki olejowe i suche, zwykłe i rozproszeniowe. Na specjalną uwagę zasługują transformatory rozproszeniowe (z regulacją szczeliny powietrznej), odporne na zwarcia, z łatwą regulacją prądu.

Transformatorki suche, o napięciu wtórnym 3 i 6 kV, wyrabiane są dla prądu wtórnego: 25 do 100 mA., olejowe natomiast do 500 mA.

Pozatem produkcja fabryki ELEKTROAUTOMÁT obejmuje:

złącza koncentryczne, aparaty przyłączone niskiego napięcia, rozdzielnie w okapturzeniu żeliwnym, elektryczne urządzenia dla wind, wyłączniki ciśnieniowe, pływakowe, automatyczne przełączniki gwiazda/trójkąt, rozruszniki automatyczne, tablice rozdzielcze, aparaty wysokiego napięcia, oraz wszelkie części prasowane z bakelitu i z innych mas plastycznych.

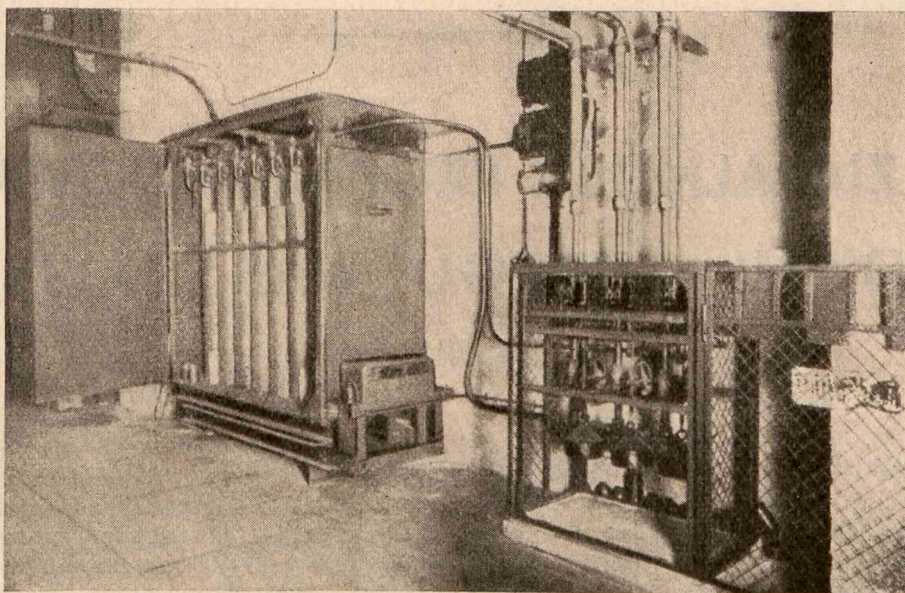
INSTALACJE PRZECIWPÓŻAROWE W ELEKTROWNIACH

Ogólnie znana jest zasada, że o wiele łatwiej jest ugasić pożar w zarodku, niż gdy rozszerzy się i nabierze siły. Szkody przy rozszerzaniu się ognia rosną w postępie geometrycznym. W przemyśle elektrycznym ma to szczególne znaczenie. Rozwój elektryczności, a z nim związane użycie coraz większych i coraz bardziej skomplikowanych maszyn pociąga za sobą wzrost niebezpieczeństwa pożaru. Dotychczas nie wynaleziono środka zapobiegającego niebezpieczeństwu powstania pożaru, ale już od dłuższego czasu zaczęto na szeroką skalę do celów gaśniczych stosować dwutlenek węgla, ten jedyny środek gaśniczy, który przede wszystkim dzięki swej błyskawiczności działania

zamknięte są wentylem precyzyjnym, po otwarciu którego dwutlenek wyrzucony jest pod własnym ciśnieniem na obiekt płonący przez rurę śniegową, względnie przeprowadzony do miejsca pożaru, przytem pod wpływem nagłego rozprężenia wychodzi w formie mieszaniny śniegu i mgły o temperaturze około -79°C .

Gaszenie dwutlenkiem węgla odbywa się bądź znanymi powszechnie gaśnicami śniegowymi ręcznymi lub aparatami przewoźnymi na wózkach, bądź drogą instalacji stałych, uruchamianych ręcznie lub automatycznie.

Dzięki swej niskiej (-79°C) temperaturze CO_2 ochładza tak silnie gaszone objekty, że prze-



Bateria CO_2 i automat uruchamiający.

i niepozostawianiu żadnych śladów na gaszonych obiektach, zmniejsza do minimum straty spowodowane wybuchem ognia.

Dwutlenek węgla (CO_2) pod ciśnieniem 36 atm. i 0°C . skrapla się, przyjmując 1/450 swej objętości gazowej. Będąc gazem zupełnie obojętnym CO_2 może być wdychany bez niebezpieczeństwa, dopóki w powietrzu pozostaje dostateczna ilość tlenu. Dopiero nasycenie dwutlenkiem węgla zamkniętego pomieszczenia obniża tak silnie zawartość tlenu, że jakkolwiek proces palenia jest uniemożliwiony.

Metoda stosowania CO_2 do celów gaśniczych polega na wtłoczeniu go pod ciśnieniem, wystarczającym do przeprowadzenia go w stan ciekły, do butli stalowych wypróbowanych na 190 atm., w których przechowuje się w tym stanie. Butle

rywa momentalnie pożar, a odcinając jednocześnie dostęp tlenu dusi ogień, wzgl. przy nasyceniu niem w dostatecznej ilości zamkniętego pomieszczenia np. w celach transformatorowych, uniemożliwia wogóle proces palenia.

Stale instalacje stosują się tam, gdzie należy zużyć do ugaszenia od razu większych ilości dwutlenku tak, że ilość CO_2 , którą są w stanie dostarczyć gaśnice ręczne lub aparaty śniegowe przewoźne, mogłaby okazać się niedostateczna, np. wielkie objekty na otwartym powietrzu, wielkie generatory i t. d., a także wszędzie tam, gdzie utrudniony jest dostęp, t. j. gdzie gaszenie z zewnątrz bezpośrednio jest niemożliwe, np. zamknięte cele transformatorowe, zamknięte pomieszczenia, w których znajdują się objekty łatwopalne, benzolownie i t. d.

Podstawą stałych instalacji śniegowych jest odpowiednia do potrzeby pod względem wielkości bateria butli z CO₂ i rurociąg zakończony dyszami do wypuszczania CO₂. Do tego dochodzi system wentyli regulacyjnych, pozwalający na jednoczesne uruchamianie bądź wszystkich butli z CO₂ od razu, bądź ich części a także przy instalacjach automatycznych odpowiednie urządzenie, zapewniające niezwłoczne samoczynne uruchomienie instalacji, jak również zastosowanie specjalnych urządzeń alarmowych.

Dzięki stosowaniu CO₂ unika się strat związanych z zatrzymaniem maszyn, nieuniknionem przy innych środkach gaśniczych, gdyż objekty ugaszone dwutlenkiem węgla są zdolne do natychmiastowej dalszej pracy, CO₂ bowiem nie pozostawia żadnych śladów.

Jak wielkie są straty wywołane beczynnością maszyn, uprzytamnia obliczenie, dokonane w jednym z czasopism elektrotechnicznych niemieckich. Obliczono mianowicie, że strata dzienna na prądzie wywołana przez unieruchomienie generatora o 12 000 kVA wynosi około 10 000 marek, przy cenie prądu 10 fenigów kWh, spólczyn-

niku zużycia mocy 0,5 po odliczeniu 1,5 fen. oszczędności na węglu, a taka sama strata przy generatorze 40 000 kVA — 32 500 marek dziennie.

To obliczenie stwierdza, że same straty jednodniowe wywołane zatrzymaniem maszyn, przewyższają koszt instalacji gaśniczej śniegowej, mogącej zgasić ogień w zarodku.

Teraz zastanówmy się, czy przy generatorach jest potrzebna instalacja gaśnicza, albowiem wielu twierdzi, że w generatorze o powietrzu stałym ogień i tak zgaśnie sam z powodu braku tlenu. Jest to możliwe, ale dla wypalenia się tlenu zawartego w generatorze i chłodnicy potrzeba kilku minut, a wiemy przecież, że w wypadku pożaru straty rosną w stosunku geometrycznym do ułamka sekundy. Tymczasem użycie instalacji automatycznej na CO₂ redukuje czas pożaru do kilku sekund dzięki specjalnym urządzeniom uruchamiającym instalację w momencie jakiegokolwiek nagłego spadku lub wzrostu obciążenia, względnie nagłego wzrostu temperatury.

Bliższych informacji udziela Specjalna Fabryka Gaśnic i Urządzeń Przeciwożarowych „OMEGA“, Warszawa, Zielna 30, tel. 653-62.

DZIAŁALNOŚĆ PROPAGANDOWA ELEKTROWNI OKRĘGU WARSZAWSKIEGO Sp. Akc.

Elektrownia Okręgu Warszawskiego Sp. Akc. przystąpiła w roku 1932 do intensywniejszej propagandy stosowania elektryczności w gospodarstwach domowych. Rozpoczęta w tym celu sprzedaż na raty wszelkich aparatów elektrycznych domowego użytku, silników, zakładania instalacji, przy jednoczesnym wprowadzeniu nowoczesnych taryf, dała następujące wyniki:

W czasie od 20.II.1932 r. do 17.III.1934 r. sprzedano około

5500 grzejników o łącznej mocy	2800 kW
25 silników	110 kW
510 instalacji o 2500 punktach	
150 armatur i świeczników.	

Podział odbiorców na całym terenie według taryf i ich średnie zużycie przedstawia się następująco:

Rodzaj taryfy	Ilość odbiorców	%	Średnie zużycie kWh/rok
Dawna gospodarcza	2237	11.7	140
Blokowa	2227	11.7	
Z licznikiem odliczającym . .	143	0.7	108
Zwykła taryfa uprawnieniowa .	14498	75.9	
Razem . .	19105	100.0	115

Akcja propagandowa prowadzona jest również w kierunku uświadomienia odbiorców o możliwościach i korzyściach stosowania energii elektrycznej w gospodarstwach domowych. W tym celu EOW rozsyła swoim odbiorcom bezpłatnie, wydawane przez Związek Elektrowni Polskich, czasopismo „Elektryczność w domu“, oraz urządza co pewien czas, w różnych miejscowościach zebrania informacyjne.

W celu nawiązania bezpośredniego kontaktu z odbiorcami EOW zorganizowała cykl zebrań dla przedstawicieli miejscowości zasilanych hurtowo, na których wygłoszone były przez inżynierów-fachowców odczyty z dziedziny wytwarzania i rozdziału prądu, gospodarki w zakładach elektrycznych, zasad taryfikacji, zasad działania i budowy aparatów grzejnych i t. d.

Dotychczas osiągnięte wyniki, pozwalają przypuszczać, że elektryfikacja zasilanych przez EOW terenów będzie się nadal rozwijać pomysłnie, obejmując nowe zastosowania energii elektrycznej i dając odbiorcom w coraz większym zakresie możliwość wyręczania się energią elektryczną, przez co elektrownia przyczynia się do podniesienia ogólnej kultury oraz higieny życia.