

Na prawach rękopisu

03
INSTYTUT METROLOGII ELEKTRYCZNEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Komunikat nr 130

ZAGADNIENIE AUTOMATYZACJI
WYZNACZANIA MODELI METROLOGICZNYCH
OBIEKTÓW STATYCZNYCH
NA PRZYKŁADZIE WYZNACZANIA MODELI
METROLOGICZNYCH ELEKTRONICZNYCH
SIECI STAŁOPRĄDOWYCH

Stefan Giżewski

Praca doktorska

Słowa kluczowe: Model metrologiczny, system pomiarowy,
minikomputer, metoda analizy regresyjnej

Promotor:

Prof. dr inż. Andrzej Jellonek

Wrocław 1977.

Nr 3520

Mgr inż. Stefan Giżewski
Instytut Metrologii Elektrycznej
Politechniki Wrocławskiej
50-370 Wrocław ul. B. Prusa 53/55

W pracy dokonano analizy możliwości automatyzacji wyznaczania modeli metrologicznych obiektów statycznych.

Zaproponowano dwa algorytmy procesu modelowania metrologicznego; algorytm przedziałowy, oparty na formalizacji powszechnie stosowanych, intuicyjnych metod pomiaru modeli, oraz zmodyfikowany iteracyjny algorytm regresyjny. Na podstawie metrologicznej oceny wybrano do praktycznej realizacji algorytm regresyjny, który sprawdzono za pomocą opracowanego i skonstruowanego systemu pomiarowego z minikomputerem MERA-302.

Spis treści

| | str. |
|---|------|
| 1. Wstęp | 5 |
| 1.1 Modelowanie - cel i definicja | 5 |
| 1.2 Modele naukowe - definicje i podział | 6 |
| 1.3 Modele metrologiczne - definicja i podział | 9 |
| 1.4 Modelowanie metrologiczne | 11 |
| 1.5 Algorytmizacja i automatyzacja procesu modelowania metrologicznego | 16 |
| 1.6 Cel i teza pracy | 19 |
| 2. Algorytm przedziałowy wyznaczania modeli metrologicznych obiektów quasistatycznych, quasi-stacjonarnych, ciągłych | 20 |
| 2.1 Wprowadzenie | 20 |
| 2.2 Ograniczenie klasy obiektów | 24 |
| 2.3 Konstrukcja początkowego modelu obiektu | 25 |
| 2.4 Wyznaczanie błędu modelu | 30 |
| 2.5 Poprawa dokładności modelu drogą zwiększenia liczby punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym | 33 |
| 2.6 Poprawa dokładności modelu drogą zwielokrotnienia liczby pomiarów w uprzednio wyznaczonych punktach obszaru eksperymentalnego | 39 |
| 2.7 Schemat blokowy algorytmu | 41 |
| 2.8 Zalety i wady algorytmu | 48 |
| 3. Algorytm regresyjny wyznaczania modeli metrologicznych obiektów quasistatycznych, quasistacjonarnych, ciągłych | 50 |
| 3.1 Definicja funkcji regresji | 50 |
| 3.2 Metoda analizy regresyjnej drugiego rodzaju | 52 |
| 3.3 Wyznaczanie parametrów modelu metodą iteracyjną | 58 |

| | str. |
|--|------|
| 3.4 Adekwatność modelu regresyjnego | 64 |
| 3.5 Wybór punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym | 66 |
| 4. Stanowisko pomiarowe Analizator Elektronicznych Sieci Stałoprądowych - struktura hardware'owa | 67 |
| 4.1 Klasa modelowanych sieci | 68 |
| 4.2 Matryca krzyżowa | 70 |
| 4.3 Matryca pomiarowa | 71 |
| 4.4 Miernik napięcia analizatora elektronicznych sieci stałoprądowych | 73 |
| 4.5 Programowane źródła wielkości wejściowych obiektu | 76 |
| 4.6 Regulowane źródła zasilające | 77 |
| 4.7 Struktura sterująca | 78 |
| 4.7.1 Minikomputer MERA-302 | 78 |
| 4.7.1.1 Interface minikomputera MERA-302 | 80 |
| 4.7.1.2 Jednostki sterujące | 83 |
| 4.7.2 Adapter odbiorczy AESS | 87 |
| 4.7.3 Adapter nadawczy AESS | 88 |
| 4.7.4 Blok sterujący I | 89 |
| 4.7.5 Blok sterujący II | 90 |
| 4.7.6 Blok sterujący III | 92 |
| 5. Oprogramowanie AESS | 92 |
| 5.1 Możliwości software'owe minikomputera MERA-302 | 94 |
| 5.2 Zdekomponowana struktura oprogramowania AESS | 99 |
| 5.2.1 Obliczanie wartości wielkości wejściowych badanej sieci | 99 |
| 5.2.2 Sterowanie przebiegiem procesu pomiarowego i rejestracja wyników pomiarów | 102 |
| 5.2.3 Wyznaczanie początkowego modelu badanej sieci stałoprądowej | 111 |
| 5.2.4 Wyznaczanie końcowego modelu metrologicznego badanej sieci stałoprądowej | 115 |

| | str. |
|--|------|
| 6. Praktyczny przykład realizacji procesu modelowania | 118 |
| 7. Zakończenie | 130 |
| 8. Literatura | 135 |
| 9. Dodatki | |
| A - Instrukcje i operacje wejścia/wyjścia KMP | |
| B - Program obliczania wartości wielkości wejściowych badanej sieci stałoprądowej | |
| C - Program sterujący pracą stanowiska AESS | |
| D - Program wyznaczania początkowego modelu badanej sieci stałoprądowej | |
| E - Program wyznaczania końcowego modelu metrologicznego badanej sieci stałoprądowej | |

1. Wstęp

1.1 Modelowanie - cel i definicja

Celem nauk przyrodniczych jest poznawanie obiektywnej rzeczywistości. Obserwacje wykonywane w ramach tych nauk pozwalają w zasadzie na jakościowe poznanie badanych zjawisk. Dopiero pomiar umożliwia przyporządkowanie badanym zjawiskom obrazów abstrakcyjnych metamorficznych względem tych zjawisk [3]. Obrazy te nazywane są modelami metrologicznymi i służą do gromadzenia i przekazywania wiedzy na temat różnych aspektów rzeczywistości. Modelowanie intuicyjnie stosowane jest od bardzo dawna. Starożytni filozofowie tłumaczyli zjawiska za pomocą modeli czego przykładem mogą być wyobrażenia Demokryta i Epikura o budowie materii czy też Ptolomeusza o budowie układu geocentrycznego. Tym niemniej do naszych czasów zagadnienia budowy modeli w ogólności a modeli metrologicznych w szczególności nie zostały w sposób jednoznaczny rozwiązane. Wśród metrologów istnieją aktualnie rozbieżności dotyczące nawet podstawowych problemów modelowania metrologicznego jak np.: definicji modelu metrologicznego, definicji procedury pomiarowej, udziału metrologii w procesie poznawczym itp. [2].

Pojęciem, które przede wszystkim wymaga wyjaśnienia jest "modelowanie", słowniki Granata, Brockhousa i Jefrona z końca XIX i początku XX wieku nie zawierają tego sformułowania, nie podają go również "Der Grosse Brockhaus" z 1955r. i "Der Neue Brockhaus" z 1960r., a słownik "Webster's New Dictionary of

the English Language" z 1960r. zawiera wyraz modelowanie przytoczony jako pochodny bez wyjaśnienia.

Współczesna angielska i amerykańska literatura używa z reguły przy opisach modelowania sformułowania "simulation" lub "imitation" [4], [20], które w wydawnictwach encyklopedycznych wyjaśnione są tylko pobieżnie. Pewną, jak się wydaje trafną próbę zdefiniowania pojęcia "modelowanie" podają Bratko A.A., Wołkow P.P. i inni [5] mówiąc, że: "jest to naukowa metoda poznania różnych układów działająca przez budowanie modeli zachowujących pewne podstawowe właściwości badanego przedmiotu, a także poprzez badanie funkcjonowania modeli oraz przenoszenia uzyskiwanych dzięki temu informacji na przedmiot badań. Bardzo zbliżona jest również definicja sformułowana w encyklopedii [15].

Natomiast słowo model powstało od łacińskiego modus, modulus - miara obraz sposób itp i pierwotnie oznaczało wzorzec, pierwowzór lub wtórny obiekt podobny do innego pierwotnego obiektu.

Z biegiem czasu klasa zagadnień, które związane były z tym słowem rozszerzała się i w tej chwili każda nauka, każda dziedzina a nawet różni badacze uprawiający daną dziedzinę interpretują je w wygodny dla siebie sposób [1], [5], [6], [7], [13].

1.2 Modele naukowe - definicje i podział

Spośród pełnego zbioru modeli interesujący jest podzbiór modeli naukowych. W literaturze najczęściej spotyka się opisowe definicje modeli naukowych i tak np. Ackoff [6] pod pojęciem

modelu naukowego rozumie: "jedno twierdzenie lub zbiór twierdzeń na temat rzeczywistości, twierdzenia te mogą dotyczyć faktów, mieć charakter praw lub być koncepcjami teoretycznymi". Nieco inaczej sformułowana jest przyjęta za podstawę do dalszych rozważań definicja Sztoffa [1], uważa on za model naukowy: "taki dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować układ, który odzwierciedlając lub odtwarzając obiekt badania zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nowych informacji o obiekcie".

Z punktu widzenia sposobu oraz środków realizacji procesu modelowania można modele naukowe podzielić na spekulatywne /myślowne/ i substancjalne /materialne/ /rys.1.2-1/.

Modele substancjalne są to struktury materialne, które stanowią źródło wiadomości o obiekcie rzeczywistym; należą do nich:

- modele fizyczne charakteryzujące się taką samą naturą fizyczną jak badany obiekt, mogą być budowane w naturalnej skali lub w skali zmienionej np. makiety, modele próbne maszyn itp.;
- modele analogowe zbudowane z elementów jakościowo innych niż obiekt, łatwiejszych do konstrukcji i pomiarów np. maszyny analogowe, maszyny cyfrowe, analizatory polowe, analizatory sieci itp. Modele te mogą być oparte na niezmienionej lub zmienionej skali czasowej.

Modele spekulatywne są odbiciem obiektu w świadomości człowieka; opisują one w sposób abstrakcyjny właściwości obiektów rzeczywistych. Z punktu widzenia środków stosowanych do opisu można je podzielić na:

- słowne zbudowane z odpowiednich konstrukcji językowych wyrażających w sposób opisowy właściwości obiektu modelowanego, graficzne, które stanowią konstrukcje graficzne odzwierciedlające w sposób obrazowy lub symboliczny właściwości obiektu modelowanego, należą do nich: wykresy, mapy, szkice, grafiki, wzory strukturalne chemii itp.;
- matematyczne rozumiane [11] jako: "zestaw formuł matematycznych opisujących dany obiekt".

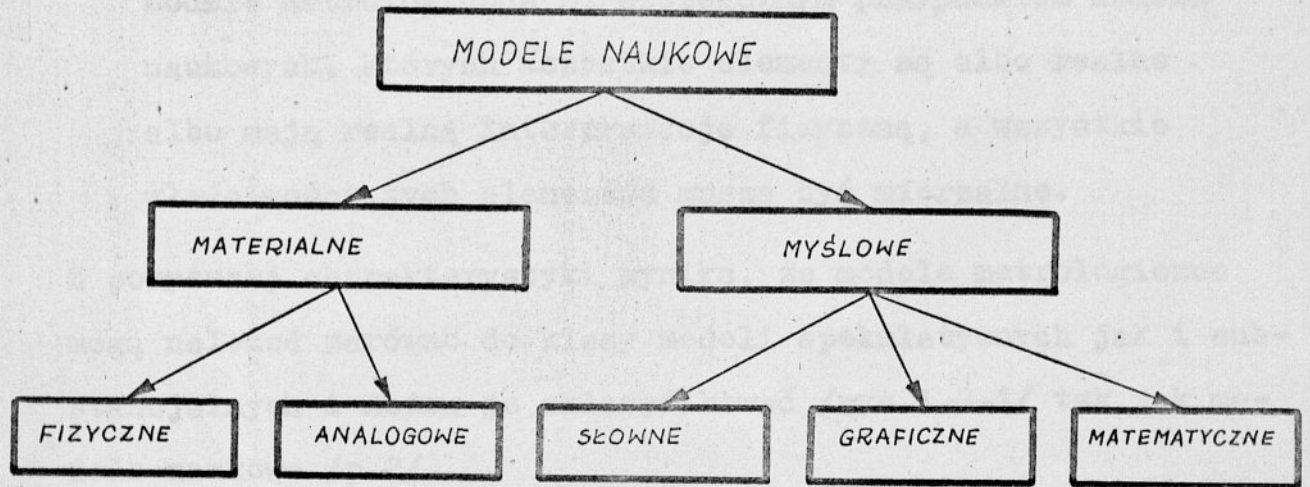
Modele matematyczne w zasadzie stanowią podzbiór modeli graficznych - symbolicznych, jednakże ze względu na ich podstawową rolę w procesach badawczych potraktowano je jako oddzielną grupę.

Często przy realizacji eksperymentów myślowych w ramach nauk matematycznych przyjmuje się za podstawę definicję logiczno-matematyczną [12]: "przez model matematyczny rozumie się dziedzinę matematyczną

$$D = \langle \mathbb{M}, r_1, r_2, \dots, r_n \rangle$$

gdzie \mathbb{M} jest pewnym niepustym zbiorem nazywanym teorią, $r_1, r_2 \dots r_n$ są relacjami zachodzącymi w zbiorze zdań Z przy czym $Z \subset E(D)$ oznacza, że wszystkie zdania zbioru Z są prawdziwe w dziedzinie D .

Definicja ta aczkolwiek poprawna z formalnego punktu widzenia jest mało przydatna w praktyce inżynierskiej ze względu na wąskie rozumienie pojęcia "modelowanie".



Rys.1.2-1. Klasyfikacja modeli naukowych.

W praktyce często można spotkać modele tak substancjalne jak i spekulatywne, które mogą być zaliczane do klas mieszanych fizyczno-analogowych, matematyczno-słownych, matematyczno-graficznych itp.

1.3 Modele metrologiczne - definicja i podział

Każda nauka posiada własną specyfikę modelowania. Spośród dziedziny modeli naukowych można więc wyróżnić pewien podzbiór charakterystyczny dla metrologii zwany zbiorem modeli metrologicznych.

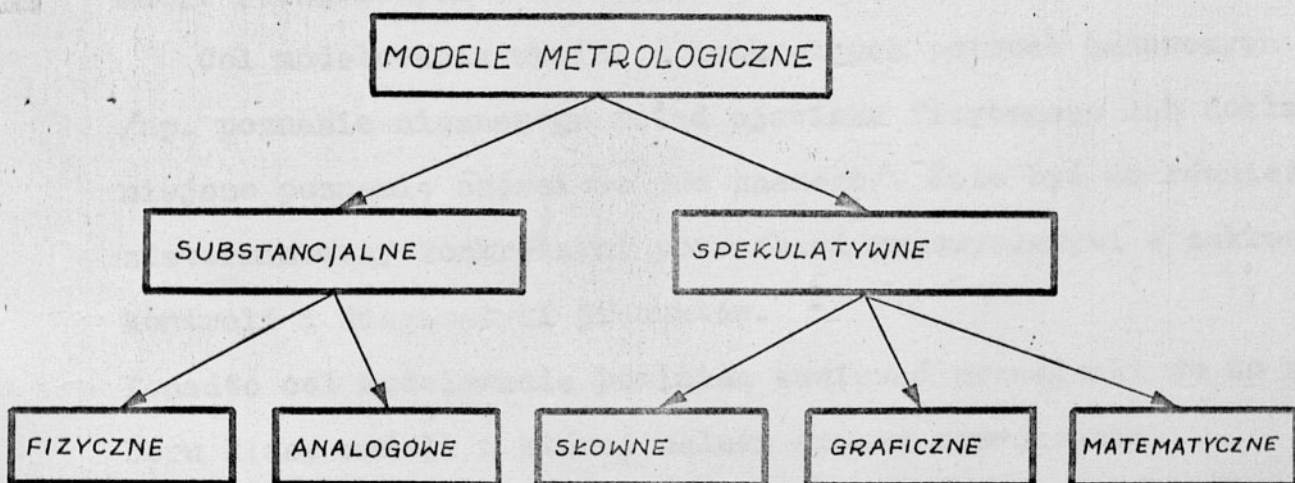
Dotychczas podejmowano tak w kraju [3], [17], [18] jak i za gra-

nicą [6] próby ścisłego zdefiniowania lub określenia pojęcia modele metrologiczne.

Z prób tych można wyciągnąć następujący wniosek przyjęty za podstawę do dalszych rozważań:

modele metrologiczne są szczególnym przypadkiem modeli naukowych, których wszystkie elementy są albo realne albo mają realną interpretację fizyczną, a wszystkie właściwości tych elementów muszą być mierzalne.

Z powyższej charakterystyki wynika, że modele metrologiczne mogą należeć zarówno do klasy modeli spekulatywnych jak i substancjalnych i można je sklasyfikować /rys.1.3-1/ tak jak modele naukowe /p.2/.



Rys. 1.3.-1. Klasyfikacja modeli metrologicznych.

Nie wszystkim rzeczywistym obiektom da się przyporządkować modele metrologiczne albo w ogóle, albo aktualnie ponieważ przy

danym stanie techniki mogą nie istnieć środki do pomiaru pewnych wielkości fizycznych występujących w obiekcie [16], [19]. Stan taki może wynikać z braku możliwości dostępu do źródeł niosących informację pomiarową o obiekcie lub ich względnie niskiego poziomu energii w stosunku do wymaganego przez istniejące przyrządy pomiarowe. Do dalszych rozważań przyjęto, że dana wielkość niosąca informacje o obiekcie rzeczywistym jest mierzalna jeżeli można jej na drodze doświadczenia realnego przyporządkować liczbę i określić jej charakter fizyczny symbolem.

1.4 Modelowanie metrologiczne

Proces modelowania metrologicznego jest wieloetapowy. Rozpoczyna się on od określenia celu modelowania i zebrania informacji początkowych o obiekcie.

Cel modelowania wynika z konkretnych potrzeb badawczych /np. poznanie nieznanego dotąd zjawiska fizycznego lub dokładniejsze poznanie częściowo już znanego/. Może być on również zdeterminowany konkretnymi potrzebami przemysłowymi w zakresie kontroli i diagnostyki produktów.

Ponadto cel modelowania powinien zawierać przesłanki co do wyboru klasy modeli w której należy szukać rozwiązania.

W dalszej części pracy ograniczono się do poszukiwania modeli metrologicznych obiektów pośród modeli spekulatywnych, ze szczególnym uwzględnieniem klasy modeli matematycznych, jak się wydaje najbardziej ogólnych, a co za tym idzie dających najszersze możliwości syntezy i analizy.

W pracach badawczych źródłem informacji początkowych o obiekcie jest doświadczenie i intuicja eksperymentatora, w kontroli jakości normy techniczne producenta i doświadczenie eksperymentatora. Informacje początkowe o obiekcie powinny pozwolić określić:

- zbiór wielkości wejściowych obiektu, za pomocą których otoczenie w sposób intuicyjnie istotny oddziałuje na obiekt modelowany;
- zbiór wielkości wyjściowych obiektu, za pomocą których obiekt oddziałuje na otoczenie;
- zbiór wielkości wpływowych zakłócających pracę obiektu np. temperatura, zakłócenia radioelektryczne;
- oczekiwany obszar zmian wartości wielkości wejściowych i wyjściowych obiektu;
- geometryczne rozmieszczenie wejść i wyjść oraz dodatkowych punktów zasilania i koniecznych do poprawnej pracy obiektu.

Znane są w zasadzie dwie metody wyznaczania modelu metrologicznego [21]:

- metoda eksperymentu biernego, kiedy proces pomiarowy prowadzi się w warunkach normalnej eksploatacji obiektu;
- metoda eksperymentu czynnego, kiedy eksperymentator decyduje o sposobie "sprzężenia" obiektu z otoczeniem oraz o doborze wartości wielkości wejściowych obiektu.

W dalszym ciągu pracy ograniczono się do przypadku eksperymentu

czynnego.

Ponieważ celem procesu poznawczego jest poznanie badanych zjawisk w "czystej" postaci, dlatego w kolejnym etapie procesu modelowania należy w oparciu o cel modelowania wyodrębnić interesujące właściwości obiektu oraz określić warunki względnego odosobnienia obiektu od zakłócającego wpływu otoczenia [18]. Względne odosobnienie otrzymuje się drogą odizolowania obiektu od otoczenia za pomocą wszelkiego rodzaju ekranów elektromagnetycznych, komór klimatyzacyjnych ultratermostatów itp.

W trakcie całego procesu modelowania eksperymentator przyjmuje wiele przybliżeń, które mają prowadzić do uproszczeń matematycznych modelu przy zachowaniu określonych warunków dokładnościowych. Wydaje się, że w rozwiązywaniu tych zagadnień nie jest w stanie zastąpić doświadczenia i intuicji eksperymentatora. Podstawowymi stosowanymi przybliżeniami [9] są:

- pomijanie w modelu wielkości fizycznych, które w małym stopniu wpływają na właściwości obiektu. Założenie to prowadzi do zmniejszenia liczby wielkości wejściowych obiektu mających odzwierciedlenie w modelu, co po uwzględnieniu faktu że nakłady na realizację operacji pomiarowo-obliczeniowych rosną z kwadratem wymiarowości rozpatrywanych zagadnień, daje wyraźne korzyści ekonomiczne i czasowe;
- założenie, że obiektowi można przyporządkować model o stałych skupionych daje model w postaci równań różniczkowych zwyczajnych, łatwiejszy do wyznaczenia i analizy niż model w postaci równań różniczkowych o pochodnych cząstkowych;

- założenie, że obiektowi można przyporządkować model liniowy o stałych współczynnikach pozwala na wykonywanie operacji pomiarowych bez konieczności uwzględniania parametru czasu; upraszcza procedury obliczeniowe, które pomimo stosowania ETO i tak są złożone nawet dla modeli liniowych względem wielkości wejściowych;
- założenie, że obiektowi można przyporządkować model statyczny i deterministyczny pozwala zmniejszyć liczbę pomiarów, a w związku z tym i uprościć obliczenia.

Na podstawie danych uzyskanych w poprzednich etapach można określić postać opisu modelu [11], [21], [20], [22], [23], [25]. Główną rolę w trakcie rozwiązywania tego zagadnienia pełni doświadczenie i intuicja inżynierska, w tym przypadku eksperymentator musi starać się tak dobrać postać opisu, aby na jej bazie możliwie łatwo wyznaczyć model metrologiczny prosty do zastosowań i wystarczająco dokładny.

W kolejnym etapie projektowania eksperymentu pomiarowego należy opracować metody pomiaru wyróżnionych wielkości wejściowych i wyjściowych obiektu, zaprojektować strukturę pomiarową, dobrać przyrządy pomiarowe wchodzące w skład tej struktury oraz zaplanować eksperyment pomiarowy.

Planowanie eksperymentu polega na odpowiednim wyborze wartości wielkości wejściowych obiektu. Wybór ten może być podyktowany różnymi względami np. /prostotą realizacji operacji obliczeniowych, minimalizacją liczby pomiarów przy założeniu dokładności modelu itp./.

Po zaplanowaniu eksperymentu należy wykonać zaprojektowaną strukturę pomiarową i przeprowadzić zbiór elementarnych pomiarów na obiekcie rzeczywistym. Uzyskane wyniki pomiarowe są operandami operacji przetwarzania danych pomiarowych, której wynikiem jest matematyczny model metrologiczny. Model ten znany jest z dokładnością wynikającą z dokładności użytych środków pomiarowo-informacyjnych oraz z dokładności estymacji.

Trudnym zagadnieniem jest weryfikacja poprawności uzyskanego modelu; można ją wykonać dwoma sposobami: drogą eksperymentu realnego lub drogą eksperymentu spekulatywnego.

Eksperyment realny polega na wykonaniu syntezy metrologicznego modelu substancjalnego na podstawie modelu spekulatywnego a następnie na porównaniu wyników pomiarów na obiekcie rzeczywistym z wynikami równoważnych pomiarów na modelu. Proces porównania musi być przeprowadzony tak aby obiekt i jego model znajdowały się w tych samych warunkach zewnętrznych i poddane były tym samym wymuszeniom.

Użyty do porównania metrologiczny model substancjalny nie musi mieć tej samej natury fizycznej co obiekt rzeczywisty; może to być model analogowy. Powinien on jednak z bardzo dużą dokładnością odtwarzać model spekulatywny.

Eksperyment spekulatywny polega na porównaniu wyników pomiarów na obiekcie rzeczywistym z wynikami równoważnymi obliczonymi z modelu. W trakcie jego realizacji należy wykorzystać znajomość charakterystyk metrologicznych stosowanych przyrządów pomiarowych oraz znajomość błędów estymacji modelu, celem określenia jego dokładności.

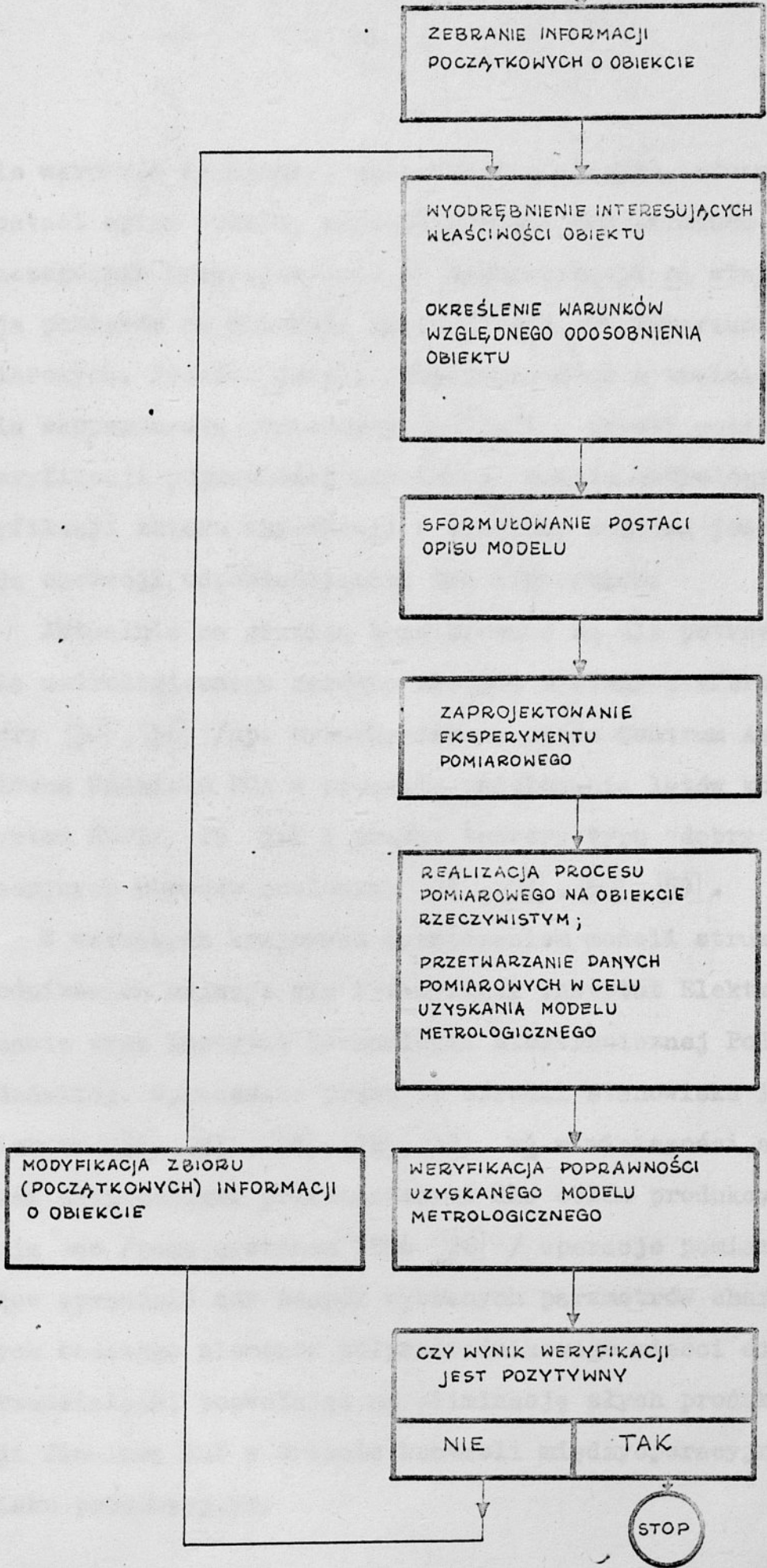
Wynikiem procesu weryfikacji jest najczęściej wskaźnik liczbowy będący miarą jakości przybliżenia obiektu rzeczywistego przez model. Zwykle uzyskany model metrologiczny przyjmuje się jako wystarczająco dokładny jeżeli wartość wspomnianego wskaźnika jest mniejsza od wartości założonej przez eksperymentatora. Negatywny wynik porównania pociąga za sobą konieczność modyfikacji zbioru /początkowych/ informacji o obiekcie. Przesłanki co do sposobu modyfikacji wynikają z łańcucha przeprowadzonych operacji modelowania.

1.5 Algorytmizacja i automatyzacja procesu modelowania metrologicznego

Szczegółowe badanie coraz bardziej skomplikowanych zjawisk fizycznych pociąga za sobą wzrost złożoności przyporządkowanych im modeli metrologicznych, wyznaczenie których wymaga przeprowadzenia dużej liczby pomiarów. Wieloelementowy zbiór uzyskanych wyników pomiarowych wymaga przetworzenia w myśl nieraz bardzo złożonych algorytmów obliczeniowych. Konieczna więc jest algorytmizacja i automatyzacja procesu modelowania, jako jedyny środek szybszego uzyskania dokładnego modelu metrologicznego badanego zjawiska.

Aktualnie nie jest możliwa pełna algorytmizacja i automatyzacja wszystkich etapów modelowania /rys. 1.4-1/. Etapami trudnymi do zalgorytmizowania, w których konieczna jest decyzja eksperymentatora są: zebranie informacji początkowych o obiekcie, wyodrębnienie interesujących właściwości obiektu, określe-

START



Rus.14-1 schemat blokowy procesu modelowania metrologicznego.

nie warunków względnego odosobnienia obiektu, sformułowanie postaci opisu modelu, zaprojektowanie eksperymentu pomiarowego. Szczególnie predysponowane do automatyzacji są etapy: realizacja pomiarów na obiekcie rzeczywistym, przetwarzanie danych pomiarowych. Ponadto jeżeli eksperymentator w trakcie projektowania eksperymentu pomiarowego potrafi a priori podać algorytmy weryfikacji poprawności uzyskanego modelu metrologicznego i modyfikacji zbioru informacji o obiekcie możliwa jest automatyzacja operacji odpowiadających tym algorytmom.

Aktualnie za granicą konstruowane są dla potrzeb modelowania metrologicznego zarówno złożone systemy zawierające komputery [30], [56] /np. wykorzystywany przez Centrum Astroelektroniczne Oddziału RCA w procesie modelowania lotów kosmicznych system RUDI/ 29 jak i proste testery typu "dobry - zły" kombinacyjnych obwodów scalonych [31], [57], [58], [59].

W warunkach krajowych wyznaczaniem modeli struktur półprzewodnikowych zajmuje się Przemysłowy Instytut Elektroniki w Warszawie oraz Instytut Technologii Elektronicznej Politechniki Gdańskiej. Opracowane przez te ośrodki stanowiska i systemy pomiarowe [26], [27], [28], [32], [33] są w większości specjalizowanymi urządzeniami przeznaczonymi dla celów produkcyjnych. Realizują one /poza systemem 1E06 [28] / operacje pomiarowe pozwalające sprawdzić czy zespół wybranych parametrów charakterystycznych badanego elementu półprzewodnikowego mieści się w zadanych przedziałach, pozwalając na eliminację złych produktów z populacji finalnej lub w trakcie kontroli międzyoperacyjnej na stanowisku produkcyjnym.

Krajowy stan badań w zakresie opracowywania nowych metod pomiarów i konstrukcji aparatury pomiarowej do wyznaczania modeli metrologicznych obiektów jest niezadowalający. Przyczynił się do tego brak zainteresowania powyższą problematyką do końca lat sześćdziesiątych. Aktualnie bazowanie na wzorach zagranicznych jest silnie utrudnione ze względu na tajemnicę z jaką poszczególne firmy strzegą swoich rozwiązań.

1.6 Cel i teza pracy

Z rozważań zawartych w poprzednich rozdziałach wynikają następujące wnioski:

- proces modelowania metrologicznego jest procesem subiektywnym, nie ma więc uniwersalnych algorytmów wyznaczania modeli metrologicznych obiektów;
- o powodzeniu procesu modelowania metrologicznego decyduje szybkość otrzymania modelu jego dokładność i łatwość analizy;
- na szybkość uzyskania modelu metrologicznego mają wpływ intuicja i wiadomości eksperymentatora oraz środki pomiarowo informacyjne zastosowane w procesie modelowania.

Powszechnie znane algorytmy w zasadzie nie uwzględniają metrologicznych aspektów procesu modelowania wynikających z występowania błędów przyrządów uczestniczących w procesie pomiarowym [11], [21], [23], [25], [35], [36].

Używane najczęściej modele graficzne w postaci charakterystyk są łatwe w konstrukcji, poglądowe i proste w wykorzystaniu

dla przypadków pojedynczych wielkości wejściowych modelu, przy wzroście ich liczby modelowanie się komplikuje i staje się nierozwiązalne dla trzech i więcej zmiennych wielkości wejściowych obiektu. W klasie modeli matematycznych najczęściej używa się do określenia właściwości obiektu pewnych charakterystycznych wartości wielkości fizycznych skojarzonych z tym obiektem; ograniczając tym samym znacznie możliwości uzyskiwania z modelu wiadomości o zachowaniu się obiektu w większych obszarach zmian wartości jego wielkości wejściowych.

Na tle przedstawionych problemów niniejsza praca jest próbą opracowania algorytmu procesu modelowania metrologicznego dla celów automatyzacji.

Złożoność zagadnień występujących w procesie modelowania spowodowała, że ograniczono zakres pracy do modeli ciągłych, statycznych, stacjonarnych o charakterystykach jednoznacznych. W pracy dąży się do takiej konstrukcji algorytmu modelowania aby udział eksperymentatora ograniczyć do początkowego etapu procesu modelowania, uwzględnić aspekty metrologiczne w procesie planowania eksperymentu oraz weryfikacji poprawności uzyskanego modelu. Wynikającą stąd tezę można sformułować następująco:

Istnieje możliwość zautomatyzowania większości etapów procesu modelowania metrologicznego przy dostatecznym zawężeniu klasy modelowanych obiektów.

Dla osiągnięcia celu pracy i udowodnienia tezy pracy przedstawione zostaną dwa algorytmy. Konstrukcję pierwszego z nich wykonano na podstawie analizy i sformalizowania powszechnie stosowanych metod pomiaru charakterystyk. Dodatkowo wprowadzono

w algorytmie zagadnienie planowania eksperymentu uwzględniające metrologiczne kryterium rozmieszczania punktów pomiarowych w obszarze zmian wartości wielkości wejściowych obiektu. W wyniku końcowym takiego procesu modelowania uzyskuje się model przedziałowy /model "B"/ w postaci wstęgi w obszarze której mieści się rzeczywista charakterystyka statyczna obiektu. Pomimo swojej niewątpliwej zalety jaką jest metrologiczne uzasadnienie jego procedur składowych, algorytm jest trudny w praktycznym stosowaniu. Dlatego porzeczano na jego teoretycznym przedstawieniu poszukując rozwiązania bardziej przydatnego praktycznie. Jak się wydaje rozwiązaniem takim jest należący do klasy algorytmów stochastycznych algorytm regresyjny drugiego rodzaju [11], [21], [23], [25], [35], [36], [66].

Algorytm ten pozwala na realizację sekwencyjnego eksperymentu wyznaczania modelu metrologicznego, zakłada równomierne rozłożenie punktów pomiarowych w obszarze zmian wielkości wejściowych obiektu, daje model metrologiczny w postaci zależności funkcyjnej wielkości wyjściowych obiektu, od zbioru wielkości wejściowych obiektu.

W celu praktycznego sprawdzenia poprawności algorytmu regresyjnego drugiego zaprojektowano i wykonano stanowisko pomiarowe współpracujące "on-line" z minikomputerem MERA-302 dostępnym w warunkach naszego instytutu. Stanowisko to pozwala na wyznaczanie modeli metrologicznych elektronicznych sieci stałoprądowych rozumianych jako jedno lub wieloelementowe struktury elektryczne pracujące w zakresie małych napięć i prądów.

2. Algorytm przedziałowy wyznaczania modeli metrologicznych obiektów quasistatycznych, quasistacjonarnych, ciągłych

2.1 Wprowadzenie

Powszechnie stosowane metody wyznaczania modeli metrologicznych w postaci charakterystyk statycznych oparte są na:

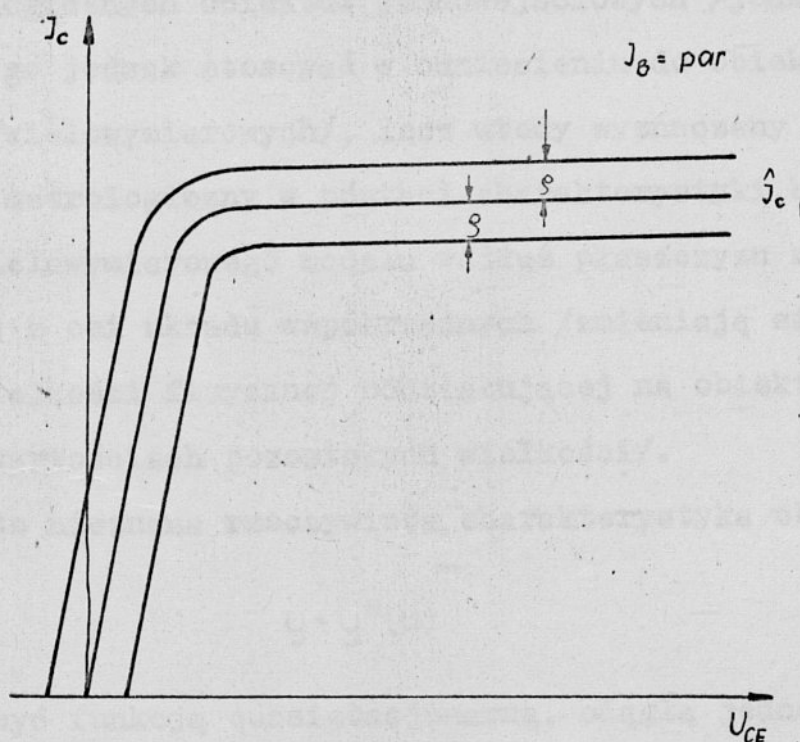
- znajomości dopuszczalnych przedziałów zmian wielkości fizycznych skojarzonych z obiektem;
- jakościowej znajomości charakterystyki modelowanego obiektu, co pozwala na zaplanowanie czynnego eksperymentu modelowania tak aby najwięcej pomiarów wykonywać w obszarze największych nieliniowości charakterystyki;
- założeniu, że pomiędzy kolejnymi punktami pomiarowymi występują małe zmiany nachyleń charakterystyki co umożliwia stosowanie metod interpolacji i aproksymacji.

W przypadku kiedy przyjęcie ostatniego założenia nie ma praktycznego uzasadnienia wymagany jest pomiar różniczkowych właściwości charakterystyki rzeczywistego obiektu. I tak jeżeli idealna charakterystyka rzeczywistego obiektu spełnia warunek Lipschitza ^{x/} to obiektowi można przyporządkować tzw. model "B" [23].

x/ Funkcja $y(u)$ spełnia w przedziale $\langle U_0, U_m \rangle$ warunek Lipschitza jeżeli jest ograniczona i jeżeli istnieje taka stała K , że dla dowolnych $u_1, u_2 \in \langle U_0, U_m \rangle$ zachodzi nierówność

$$|y(u_2) - y(u_1)| \leq K |u_2 - u_1|$$

Pod pojęciem modelu "B" rozumie się kulę domkniętą^{*/} o promieniu niezerowym umieszczoną w przestrzeni wielkości wejściowych i wielkości wyjściowej obiektu. Kula ta zawiera nieskończenie wiele funkcji, z których każda jest jednakowo dobrym modelem rzeczywistego obiektu. I tak dla przykładu graficznym modelem "B" tranzystora odzwierciedlającym cząstkowo jego właściwości jest jego charakterystyka wyjściowa /rys.2.1-1/.



Rys.2.1-1 Graficzny model "B" tranzystora w postaci charakterystyki wyjściowej /gdzie: I_C -prąd kolektora; I_B -prąd bazy; U_{CE} -napięcie kolektor emiter; \hat{I}_C -estymator punktowy charakterystyki otrzymany z pomiarów; ϵ -miara dokładności modelu/.

*/ Pod pojęciem kuli domkniętej o środku w punkcie \hat{y} i promieniu ϵ należy rozumieć zbiór punktów w przestrzeni \mathcal{V} , taki że

$$\| \hat{y} - y \| \leq \epsilon \quad \text{dla} \quad y \in \mathcal{V}$$

Rzeczywista charakterystyka tranzystora zawarta jest w przedziale $\langle \hat{J}_c - \varrho, \hat{J}_c + \varrho \rangle$. A wartość wskaźnika ϱ będącego miarą dokładności modelu jest funkcją dokładności przyjętego sposobu estymacji oraz dokładności poszczególnych pomiarów.

2.2 Ograniczenie klasy obiektów

Algorytm w zasadzie jest przewidziany do wyznaczania modeli metrologicznych obiektów jednoweściowych /jednowymiarowych/, można go jednak stosować w odniesieniu do obiektów wieloweściowych /wielowymiarowych/, lecz wtedy wyznaczany jest cząstkowy model metrologiczny w postaci charakterystyki będącej przekrojem wielowymiarowego modelu wzdłuż płaszczyzn równoległych do jednej z osi układu współrzędnych /zmieniają się wartości jednej wielkości fizycznej oddziałującej na obiekt przy ustalonych wartościach pozostałych wielkości/.

Ponadto nieznaną rzeczywistą charakterystyką obiektu

$$y = y^*(u) \quad / 2.2-1 /$$

musi być funkcją quasistacjonarną, ciągłą jednoznacznie spełniającą warunek Lipschitza.

Przedstawiony algorytm będzie więc można stosować np. do wyznaczania charakterystyk statycznych struktur elektronicznych w postaci, wzmacniaczy prądu stałego, bezhisterezowych komparatorów napięcia i prądu, scalonych regulatorów napięcia, kombinacyjnych elementów logicznych, przetworników pomiarowych itp.

Etap zebrania wstępnych informacji o obiekcie powinien dać informacje dotyczące obszaru D_0 dopuszczalnych zmian wartości wielkości fizycznych skojarzonych z obiektem, a sformułowanie celu modelowania powinno pozwolić określić obszar eksperymentalny D_u , w którym należy prowadzić proces pomiarowy na obiekcie. Oczywiście jest, że ze względu na poprawną pracę obiektu bez groźby jego uszkodzenia obszar eksperymentalny powinien należeć w całości do obszaru dopuszczalnego.

$$D_0 \wedge D_u = D_u \quad / 2.2-2 /$$

2.3 Konstrukcja początkowego modelu obiektu

W rozpatrywanym dalej przypadku modelu metrologicznego jednowymiarowego obszar eksperymentalny jest odcinkiem:

$$D_u = \langle u_a, u_z \rangle \quad / 2.3-1 /$$

Pierwszy etap procesu modelowania polega na wyznaczeniu pomiarowym punktów u_j , które spełniają równość:

$$\left. \frac{\partial y(u)}{\partial u} \right|_{u=u_j} = 0 \quad \text{przy } j=1,2,\dots,m-1. \quad / 2.3-2 /$$

dzielą one obszar eksperymentalny na zbiór przedziałów rozłącznych, w których charakterystyka obiektu jest funkcją monotoniczną.

Po uwzględnieniu oznaczeń

$$u_0 = u_a ; u_m = u_z$$

w punktach tych dokonuje się pomiaru wartości

$$y_0 = y(u_0) ; y_1 = y(u_1) ; \dots y_m = y(u_m) \quad / 2.3-3 /$$

Natomiast w przedziałach

$$\langle u_{j-1}, u_j \rangle \quad j=1,2,\dots,m \quad / 2.3-4 /$$

dokonuje się pomiaru ekstremalnej wartości pochodnej wielkości wyjściowej po wielkości wejściowej obiektu.

$$\dot{y}_j = \operatorname{sgn} \frac{\partial y(u)}{\partial u} \cdot \max \left| \frac{\partial y(u)}{\partial u} \right| \quad u_{j-1} \leq u < u_j \quad / 2.3-5 /$$

Ponieważ każdy z wykonywanych pomiarów obarczony jest błędem, zatem nieznanne rzeczywiste wartości wyników pomiarów spełniają nierówności

$$\begin{aligned} u_j - \Delta u_j &\leq u_j^* \leq u_j + \Delta u_j & j=0,1,2,\dots,m \\ y_j - \Delta y_j &\leq y_j^* \leq y_j + \Delta y_j & j=0,1,2,\dots,m \\ \dot{y}_j - \Delta \dot{y}_j &\leq \dot{y}_j^* \leq \dot{y}_j + \Delta \dot{y}_j & j=1,2,3,\dots,m \end{aligned} \quad / 2.3-6 /$$

gdzie: $\Delta u_j, \Delta y_j, \Delta \dot{y}_j$ - błędy graniczne pomiarów odpowiednio wielkości wejściowej u_j , wielkości wyjściowej y_j , pochodnej \dot{y}_j , wyznaczone z charakterystyk metrologicznych stosowanych przyrządów pomiarowych.

Dla każdego przedziału określony więc jest następujący zbiór wartości:

$$\langle u_{j-1}, \Delta u_{j-1}, u_j, \Delta u_j, y_{j-1}, \Delta y_{j-1}, y_j, \Delta y_j, \dot{y}_j, \Delta \dot{y}_j \rangle \quad j=1,2,\dots,m \quad / 2.3-7 /$$

Zbiór ten pozwala znaleźć początkowy cząstkowy model obiektu

B_j /rys.2.3-1; rys.2.3-2/, którego brzegami są proste o równaniach

$$y_{j1} = \{\dot{y}_j + \Delta \dot{y}_j \operatorname{sgn} \dot{y}_j\} \cdot \{u - u_{j-1} + \Delta u_{j-1}\} + y_{j-1} + \Delta y_{j-1} \operatorname{sgn} \dot{y}_j \quad / 2.3-8 /$$

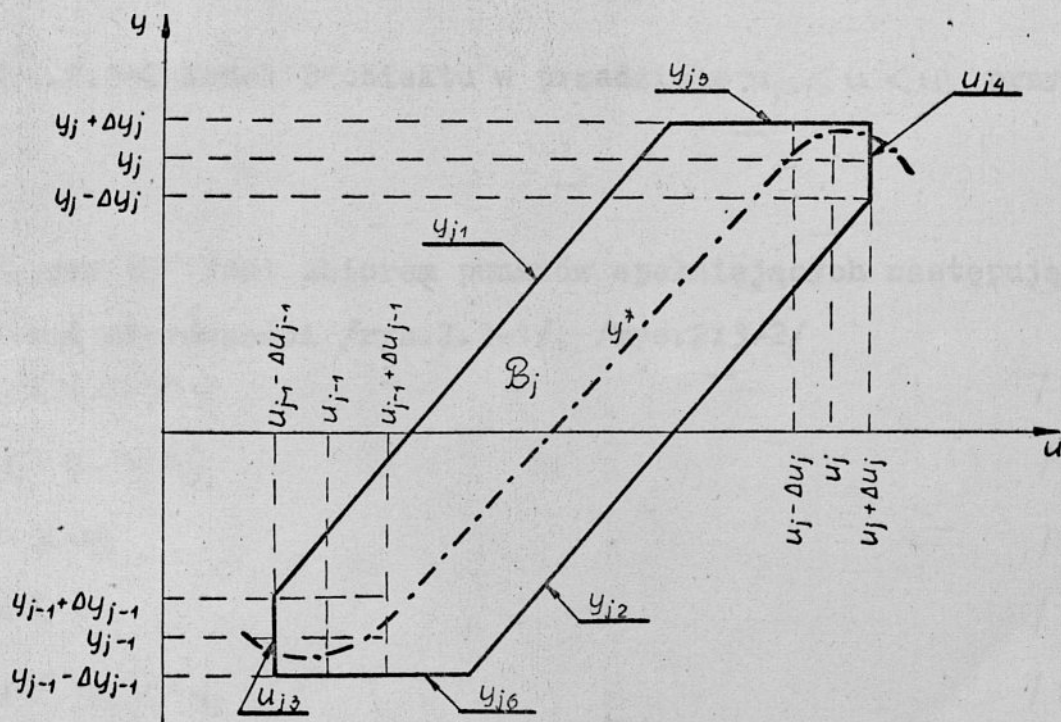
$$y_{j2} = \{\dot{y}_j + \Delta \dot{y}_j \operatorname{sgn} \dot{y}_j\} \cdot \{u - u_j - \Delta u_j\} + y_j - \Delta y_j \operatorname{sgn} \dot{y}_j \quad / 2.3-9 /$$

$$u_{j3} = u_{j-1} - \Delta u_{j-1} \quad / 2.3-10 /$$

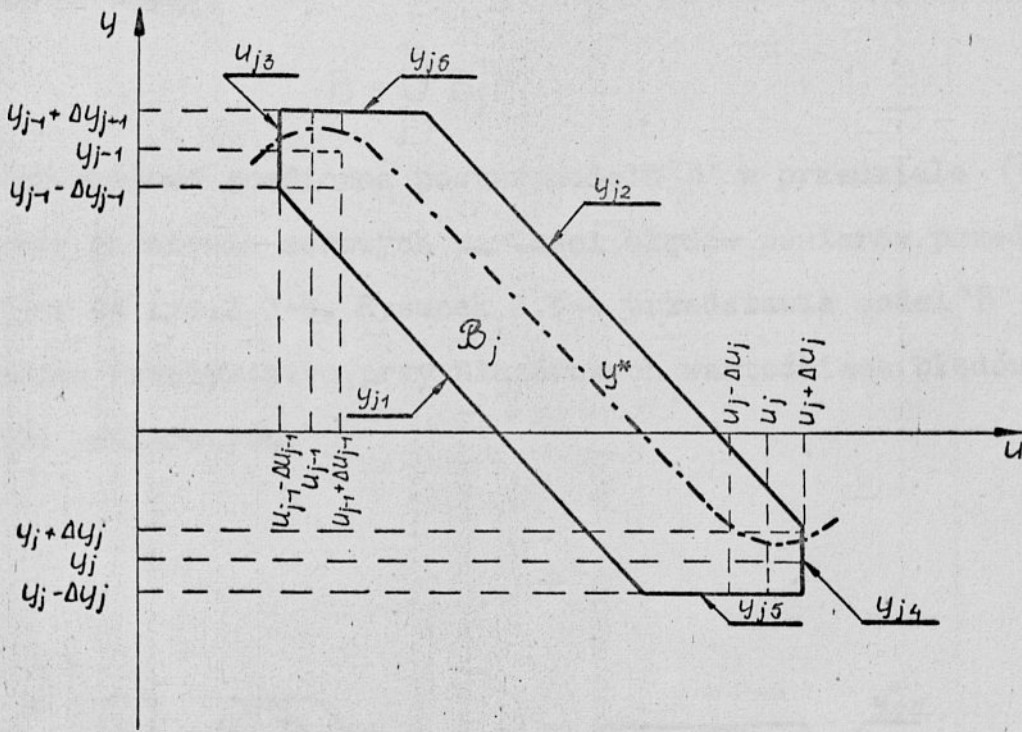
$$u_{j4} = u_j + \Delta u_j \quad / 2.3-11 /$$

$$y_{j5} = y_j + \Delta y_j \operatorname{sgn} \dot{y}_j \quad / 2.3-12 /$$

$$y_{j6} = y_{j-1} - \Delta y_{j-1} \operatorname{sgn} \dot{y}_j \quad / 2.3-13 /$$



Rys.2.3-1 Model "B" obiektu w przedziale $u_{j-1} \leq u < u_j$ przy $\operatorname{sgn} \dot{y}_j = 1$



Rys.2.3-2 Model "B" obiektu w przedziale $u_{j-1} \leq u < u_j$ przy $\text{sgn } \dot{y}_j = 1$

Obszar B_j jest zbiorem punktów spełniających następujący układ nierówności /rys.2.3-1/, /rys.2.3-2/

$$y \leq y_{j1} \cdot \text{sgn } \dot{y}_j \quad / 2.3-14 /$$

$$y \geq y_{j2} \cdot \text{sgn } \dot{y}_j \quad / 2.3-15 /$$

$$u \geq u_{j3} \quad / 2.3-16 /$$

$$u \leq u_{j4} \quad / 2.3-17 /$$

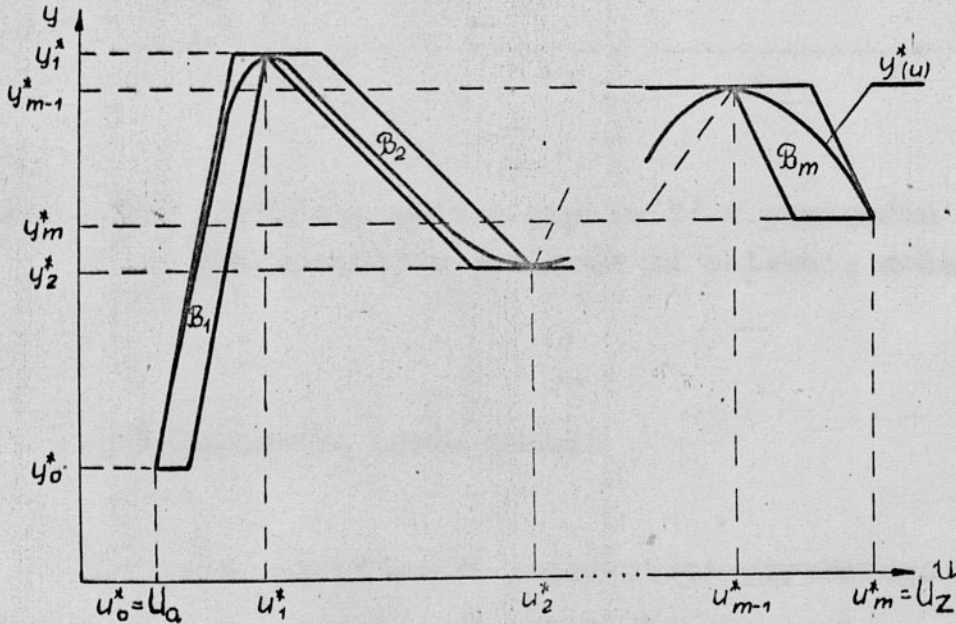
$$y \leq y_{j5} \cdot \text{sgn } \dot{y}_j \quad / 2.3-18 /$$

$$y \geq y_{j6} \cdot \text{sgn } \dot{y}_j \quad / 2.3-19 /$$

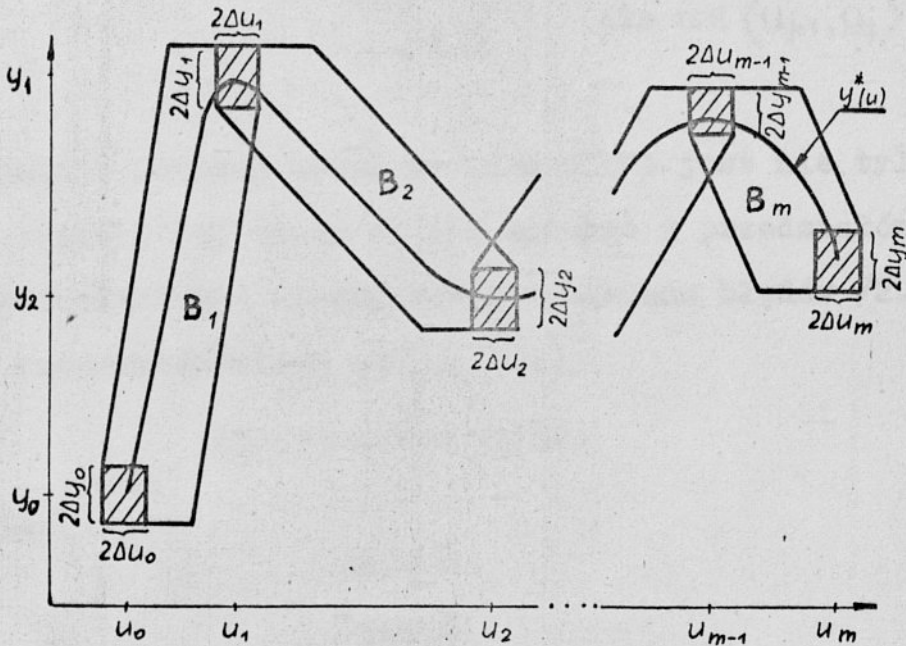
Początkowy model obiektu w przedziale $\langle u_a, u_z \rangle$ dany jest zależnością:

$$B = \bigcup_{j=1}^m B_j \quad /2.3-20/$$

Przykładowa graficzna postać modelu "B" w przedziale $\langle u_a, u_z \rangle$, przy założeniu zerowych wartości błędów pomiarów, przedstawiona jest na rys.2.3-3. Rysunek 2.3-4 przedstawia model "B" w przypadku rzeczywistym, przy niezerowych wartościach błędów przyrządów pomiarowych.



Rys.2.3-3 Graficzna postać modelu "B" w przypadku idealnych pomiarów w obiekcie modelowanym /zerowe błędy pomiarów/.



Rys.2.3-4 Graficzna postać modelu "B" w przypadku wykonania rzeczywistych pomiarów na obiekcie modelowanym.

2.4 Wyznaczenie błędu modelu

Dla celów weryfikacji poprawności uzyskanego modelu "B" wymagana jest znajomość rozkładu błędu modelu w obszarze eksperymentalnym. Konieczne jest więc określenie miary błędu. Z pomiarowego punktu widzenia najbardziej uzasadniona wydaje się miara Czebyszewa [11], [23], [38], zdefiniowana następująco w odniesieniu do modelu cząstkowego \$B_j\$

$$\epsilon_j = \max_{u \in \langle u_{j-1}, u_j \rangle} \{ \sup G_j(u) - \inf D_j(u) \}$$

Gdzie $G_j(u)$ i $D_j(u)$ są punktami spełniającymi zależności:

$$\left. \begin{array}{l} G_j(u) \in B_j \\ D_j(u) \in B_j \end{array} \right\} \text{ dla } u \in \langle u_{j-1}, u_j \rangle \quad / 2.4-2 /$$

W trakcie procesu modelowania możliwe jest nie tylko wyznaczenie pojedynczej oceny ϵ_j dla każdego z przedziałów, lecz również znalezienie szczegółowego rozkładu błędów /2.4-3/ w obszarze eksperymentalnym $u \in \langle u_a, u_z \rangle$

$$\epsilon(u) = \sup G(u) - \inf D(u) \quad / 2.4-3 /$$

gdzie:

$$G(u) \in B$$

$$D(u) \in B$$

W praktyce zależność /2.4-1/ można sprowadzić do dwóch przypadków. Jeżeli spełniony jest warunek:

$$y_{j1}(u_{j0}) \cdot \operatorname{sgn} \dot{y}_j < y_{j5} \quad / 2.4-4 /$$

gdzie u_{j0} jest wartością wielkości wejściowej modelu uzyskaną z rozwiązania równania

$$y_{j6} = y_{j2}(u_{j0})$$

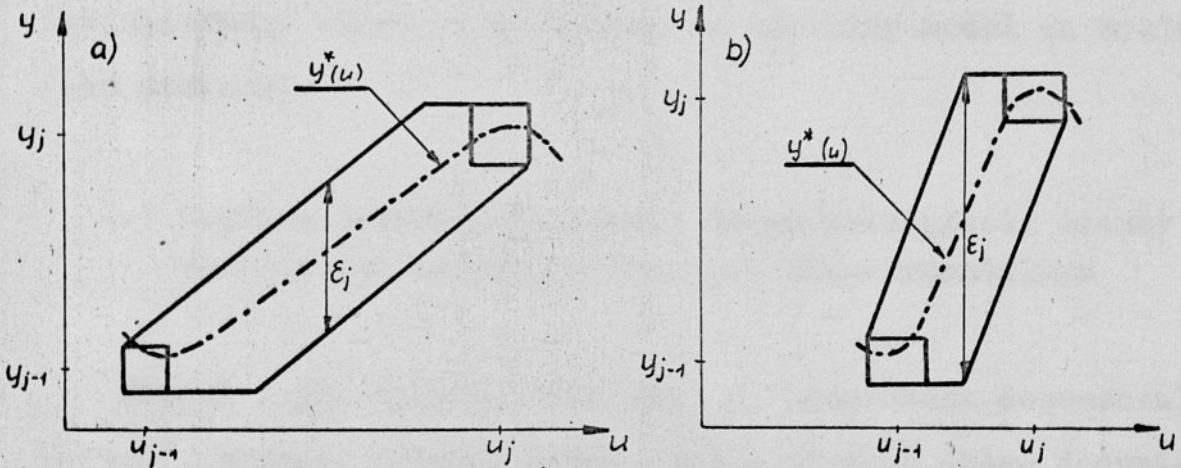
a y_{j1} , y_{j2} , y_{j5} , y_{j6} dane są zależnościami /2.3-8/, /2.3-9/, /2.3-12/, /2.3-13/.

ϵ_j wyraża się /rys.2.4-1a/ następująco:

$$\begin{aligned} \epsilon_j = & \{ \dot{y}_j \operatorname{sgn} \dot{y}_j + \Delta \dot{y}_j \} \cdot \{ u_j - u_{j-1} + \Delta u_{j-1} + \Delta u_j \} + \{ \Delta y_{j-1} + \Delta y_j \} + \\ & + \{ y_{j-1} - y_j \} \operatorname{sgn} \dot{y}_j \end{aligned} \quad / 2.4-5 /$$

Niespełnienie warunku /2.4-4/ /rys.2.4-1b/ prowadzi do zależności:

$$\varepsilon_j = \{y_{j5} - y_{j6}\} \cdot \operatorname{sgn} y_j \quad / 2.4-6 /$$



Rys.2.4-1 Wyznaczenie ε_j przy a/ spełnionym, b/ niespełnionym warunku /2.4-4/.

Weryfikacja poprawności uzyskanego modelu metrologicznego polega na sprawdzeniu czy spełniona jest nierówność

$$\varepsilon(u) < \varepsilon^*(u) \quad \text{przy } u \in \langle u_0, u_m \rangle \quad / 2.4-7 /$$

gdzie $\varepsilon^*(u)$ jest zadana przez eksperymentatora, a wynikającą z celu modelowania metrologicznego funkcją błędu modelu.

W większości praktycznie spotykanych przypadków pomiarowych

zależność /2.4-7/ można sprowadzić do postaci

$$\varepsilon_j < \varepsilon^* \quad \text{przy } j=1,2,\dots,m \quad / 2.4-8 /$$

gdzie ε^* jest dopuszczalną wartością błędu modelu zadaną przez eksperymentatora.

Jeżeli po zbudowaniu początkowego modelu obiektu warunek /2.4-8/ jest spełniony dla $j = 1, 2 \dots m$, można proces modelowania metrologicznego uznać za zakończony a uzyskany model za wystarczająco dokładny.

2.5 Poprawa dokładności modelu drogą zwiększenia liczby punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym

Jeżeli w przedziale i -tym błąd ε_i przekracza dopuszczalną wartość, poprawę jakości modelu można uzyskać drogą dodania punktu pomiarowego $u_r : (u_{i-1} < u_r < u_i)$, który dzieli ten przedział na dwa nowe.

Dokonanie następującej zmiany indeksów:

$$j=j \quad \text{przy} \quad j < i \quad / 2.5-1 /$$

$$j=j+1 \quad \text{przy} \quad j > i \quad / 2.5-2 /$$

$$u_i = u_r \quad / 2.5-3 /$$

pozwała dla dwu nowych przedziałów i -tego oraz $/i+1/-$ ego zapisać następujący związek /rys.2.5-1/

$$Q = \max \{ \varepsilon_{i(\text{nowe})}, \varepsilon_{i+1(\text{nowe})} \} \leq \varepsilon_{i(\text{stare})} \quad / 2.5-4 /$$

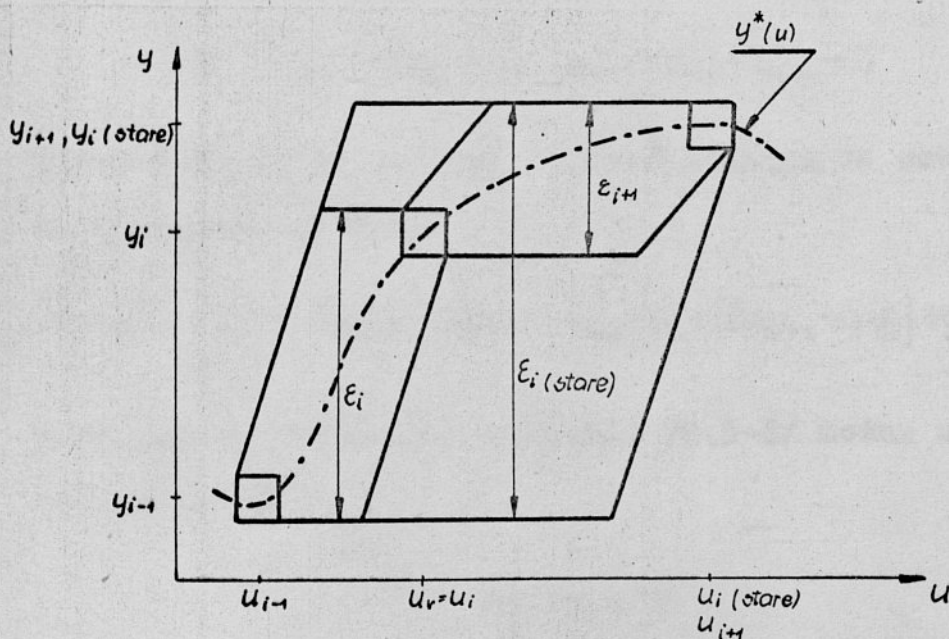
Uzasadnionym jest więc taki wybór punktu u_i aby zminimalizować wartość kryterium /2.5-4/

$$Q^* = \min_{u_i} \max \{ \varepsilon_i, \varepsilon_{i+1} \} \quad / 2.5-5 /$$

a w konsekwencji aby u_i było rozwiązaniem równania

$$\varepsilon_i(u_i) - \varepsilon_{i+1}(u_i) = 0 \quad / 2.5-6 /$$

W ogólnym przypadku równanie to może być rozwiązane tylko w sposób przybliżony z koniecznością przeprowadzenia eksperymentów pomiarowych na obiekcie rzeczywistym.



Rys.2.5-1 Poprawa dokładności modelu drogą dodania punktu pomiarowego.

Spełnienie warunku /2.4-4/ oraz uwzględnienie zależności

$$\operatorname{sgn} \dot{y}_i = \operatorname{sgn} \dot{y}_{i+1} \quad / 2.5-7 /$$

pozwała sprowadzić równanie /2.5-6/ do postaci

$$\begin{aligned} & \dot{y}_i \operatorname{sgn} \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \cdot \{u_i - u_{i-1} + \Delta u_{i-1} + \Delta u_i\} + \Delta y_{i-1} + \{y_{i-1} - y_i\} \operatorname{sgn} \dot{y}_i + \\ & \quad / 2.5-8 / \\ & - \{\dot{y}_{i+1} \operatorname{sgn} \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_{i+1}\} \cdot \{u_{i+1} - u_i + \Delta u_i + \Delta u_{i-1}\} - \Delta y_{i+1} - \{y_i - y_{i+1}\} \operatorname{sgn} \dot{y}_i = 0 \end{aligned}$$

W praktycznie spotykanych przypadkach małe wartości błędów względnych pomiarów poszczególnych wielkości pozwalają uprościć wyrażenie /2.5-8/ do postaci

$$\dot{y}_i \{u_i - u_{i-1}\} + y_{i-1} - 2y_i - \dot{y}_{i+1} \{u_{i+1} - u_i\} - y_{i+1} = 0 \quad / 2.5-9 /$$

Niespełnienie zależności /2.4-4/ pociąga za sobą konieczność rozwiązania równania

$$y_i - y_{i-1} + \{\Delta y_i + \Delta y_{i+1}\} \operatorname{sgn} \dot{y}_i = y_{i+1} - y_i + \{\Delta y_{i+1} + \Delta y_i\} \operatorname{sgn} \dot{y}_i \quad / 2.5-10 /$$

które analogicznie jak równanie /2.5-8/ można uprościć i sprowadzić do /2.5-11/

$$2y_i - y_{i-1} - y_{i+1} = 0 \quad / 2.5-11 /$$

W równaniach /2.5-8/, /2.5-10/ \dot{y}_i , \dot{y}_{i+1} , y_i są zmiennymi zależnymi poprzez właściwości obiektu od doboru u_j .

Jedną ze znanych, bardziej efektywnych metod znalezienia rozwiązania jest iteracyjna metoda badania zmiany znaku zależności /2.5-6/, /2.5-8/, /2.5-9/, /2.5-10/ lub /2.5-11/ w trakcie re-

alizacji dychotomicznego podziału odcinka $\langle u_{i-1}, u_i \rangle$. W iteracyjnym procesie pomiarowo-obliczeniowym wartość wielkości wejściowej $u_i := u_{i,n}$ wyznacza się następująco

$$u_{i,n} = \frac{1}{2} \{u_{i-1,n} + u_{i+1,n}\} \quad /2.5-12/$$

gdzie $n \geq 1$ określa kolejny numer iteracji, natomiast wartości początkowe

$$u_{i-1,0} = u_{i-1} ; u_{i+1,0} = u_{i+1}$$

Następnie na wejście modelowanego obiektu rzeczywistego podaje się liniowo w czasie narastający sygnał $u(t)$ o wartościach należących do przedziału $\langle u_{i-1}, u_{i,n} \rangle$ i dokonuje się pomiaru wartości wielkości y_i , \dot{y}_i . Pomiaru \dot{y}_{i+1} dokonuje się podczas dalszego zwiększania wartości sygnału $u(t)$ w zakresie $\langle u_{i,n}, u_{i+1} \rangle$. W oparciu o uzyskane wyniki pomiarów oblicza się z zależności /2.5-6/ dla n -tej iteracji wartość różnicy

$$R_{i,n} = \varepsilon_i(u_{i,n}) - \varepsilon_{i+1}(u_{i,n}) \quad /2.5-13/$$

W kolejnym kroku $/n := n+1/$ nową wartość $u_{i,n}$ wyznacza się ze wzoru /2.5-12/ uwzględniając

$$\left. \begin{array}{l} u_{i+1,n} := u_{i+1,n-1} \\ u_{i-1,n} := u_{i-1,n-1} \end{array} \right\} \quad \text{jeżeli } \text{sgn}\{R_{i,n-1}\} = -1 \quad /2.5-14/$$

$$\left. \begin{array}{l} u_{i+1,n} := u_{i,n-1} \\ u_{i-1,n} := u_{i-1,n-1} \end{array} \right\} \quad \text{jeżeli } \text{sgn}\{R_{i,n-1}\} = 1 \quad /2.5-15/$$

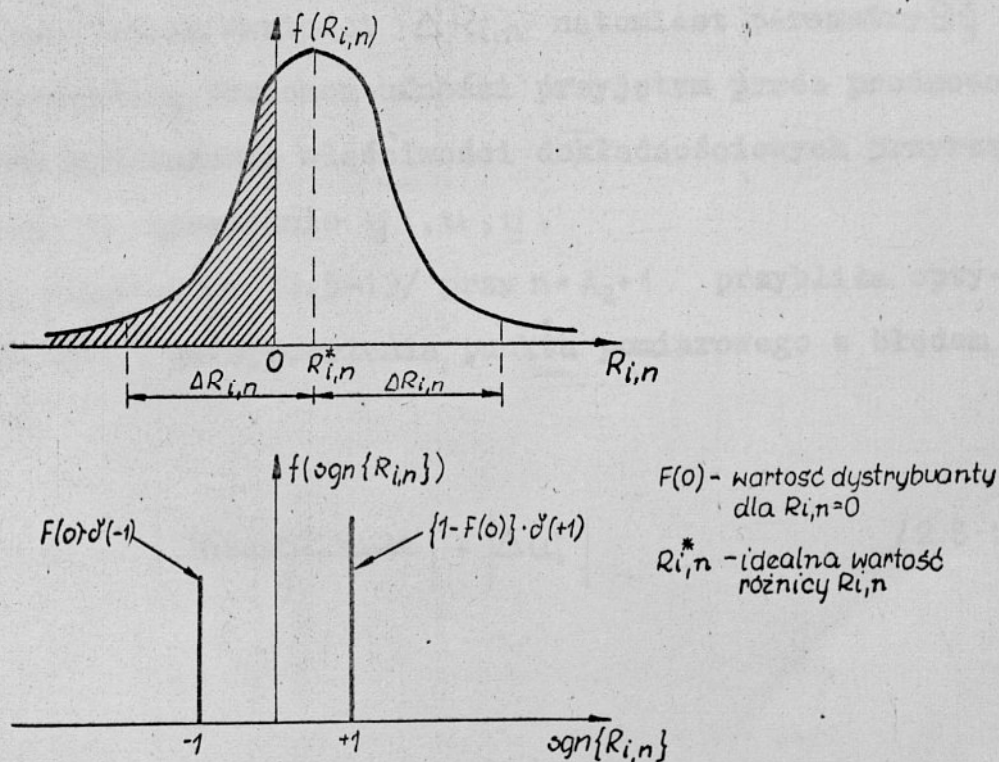
Zakończenia procedury wyznaczenia wartości $u_i := u_{i,n}$ można dokonać w iteracji $n = \lambda_1$, kiedy zostanie spełniona nierówność

$$|R_{i,\lambda_1}| \leq \beta \quad /2.5-15/$$

gdzie: β jest dokładnością zadaną przez eksperymentatora. Można również przerwać proces obliczeniowy w iteracji $n = \lambda_2$, kiedy procedura zacznie mieć zdecydowanie losowy charakter. Źródłem losowości jest składowa przypadkowa $\Delta R_{i,n}$ wyznaczenia wartości $R_{i,n}$. Można przyjąć, że składowa ta nie wpływa na iteracyjną procedurę poszukiwania wartości u_i aż do kroku $n = \lambda_2$, w którym zostanie spełniona nierówność

$$|R_{i,\lambda_2}| \leq \Delta R_{i,\lambda_2} \quad /2.5-16/$$

Przykładowy rozkład prawdopodobieństwa decyzji o znaku $R_{i,n}$ dla $n > \lambda_2$ przedstawiono na rys./2.5-2/.



Rys.2.5-2 Rozkład prawdopodobieństwa decyzji o znaku $R_{i,n}$.

Z rysunku tego widać, że prawdopodobieństwo podjęcia prawidłowej decyzji (+1) aczkolwiek większe jest jednak porównywalne z prawdopodobieństwem podjęcia błędnej decyzji alternatywnej. Ponieważ w trakcie wykonywania procesu pomiarowego prawdopodobieństwo popełnienia granicznych wartości błędów przez wszystkie przyrządy pomiarowe jest bliskie zeru. Dlatego najbardziej celowym wydaje się przyjęcie statystycznego oszacowania błędu $\Delta R_{i,n}$ z zależności:

$$\Delta R_{i,n} = \Theta \cdot \left[\left\{ (u_{i,n} - u_{i-1,n}) \cdot \frac{\Delta \dot{y}_{i,n}}{\Theta \dot{y}} \right\}^2 + \left\{ (u_{i+1,n} - u_{i,n}) \cdot \frac{\Delta \dot{y}_{i+1,n}}{\Theta \dot{y}} \right\}^2 + \left\{ \dot{y}_{i,n} \frac{\Delta u_{i-1,n}}{\Theta u} \right\}^2 + \left\{ (\dot{y}_{i,n} + \dot{y}_{i+1,n}) \cdot \frac{\Delta u_{i,n}}{\Theta u} \right\}^2 + \left\{ \dot{y}_{i+1,n} \frac{\Delta u_{i+1,n}}{\Theta u} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta y_{i-1,n}}{\Theta y} \right\}^2 + \left\{ 2 \frac{\Delta y_{i,n}}{\Theta y} \right\}^2 + \left\{ \frac{\Delta y_{i+1,n}}{\Theta y} \right\}^2 \right]^{1/2}$$

/2.5-17/

gdzie Θ jest parametrem odpowiadającym przyjętemu poziomowi ufności wyznaczenia wartości $\Delta R_{i,n}$ natomiast parametry $\Theta \dot{y}$, Θu , Θy odpowiadają poziomom ufności przyjętym przez producentów za podstawę wyznaczenia właściwości dokładnościowych przyrządów do pomiaru odpowiednio \dot{y} , u , y .

Wartość u_i wyznaczona /2.5-13/ przy $n = \lambda_2 + 1$ przybliża optymalną wartość u_i^* umiejscowienia punktu pomiarowego z błędem granicznym

$$\Delta \hat{u}_i = \left| \frac{u_{i(\lambda_2-1)} - u_{i,\lambda_2}}{2} \right| + \left| \Delta u_i \right|$$

/2.5-18/

2.6 Poprawa dokładności modelu drogą zwielokrotnienia liczby pomiarów w uprzednio wyznaczonych punktach pomiarowych obszaru eksperymentalnego

Zależność /2.4-1/ na błąd modelu można przedstawić w postaci sumy

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{ie} + \varepsilon_{ip} \quad / 2.6-1 /$$

gdzie: - ε_{ie} jest składową estymacyjną błędu modelu,

$$\varepsilon_{ie} = \{ \dot{y}_i (u_i - u_{i-1}) + (y_{i-1} - y_i) \} \operatorname{sgn} \dot{y}_i \quad / 2.6-2 /$$

przy spełnionym warunku /2.4-4/

lub

$$\varepsilon_{ie} = (y_i - y_{i-1}) \cdot \operatorname{sgn} \dot{y}_i \quad / 2.6-3 /$$

w przeciwnym przypadku,

- ε_{ip} jest składową pomiarową błędu modelu, której źródłem jest niedokładność przyrządów pomiarowych

$$\varepsilon_{ip} = y_i \{ \Delta u_{i-1} + \Delta u_i \} \operatorname{sgn} \dot{y}_i + \{ \Delta y_{i-1} + \Delta y_i \} + \Delta \dot{y}_i \{ u_i - u_{i-1} + \Delta u_{i-1} + \Delta u_i \} \quad / 2.6-4 /$$

przy spełnionym warunku /2.4-4/

lub

$$\varepsilon_{ip} = \Delta y_i + \Delta y_{i-1} \quad / 2.6-5 /$$

w przeciwnym przypadku.

Sposób zmniejszenia składowej estymacyjnej ε_{ie} podano w rozdziale 2.5. Składową pomiarową można zmniejszyć poprzez wymia-

nę przyrządów pomiarowych biorących udział w procesie modelowania na dokładniejsze oraz poprzez zwielokrotnienia liczby pomiarów w wyznaczonych w poprzednich etapach punktach pomiarowych obszaru eksperymentalnego. Powyższe rozwiązanie ma sens kiedy składowa pomiarowa jest nie mniejsza od składowej estymacyjnej błędu modelu

$$\varepsilon_{ip} \geq \varepsilon_{ie}$$

co występuje szczególnie w pomiarach precyzyjnych.

Jeżeli zatem w i -tym przedziale dokona się K -krotnego

($l=1,2,\dots,K$) pomiaru wielkości: $u_{i-1,l}$; $y_{i-1,l}$; $\dot{y}_{i,l}$; $u_{i,l}$; $y_{i,l}$; a jako wyniki pomiaru przyjmie wartości średnie:

$$\bar{u}_{i-1} = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K u_{i-1,l} \qquad \bar{y}_{i-1} = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K y_{i-1,l} \qquad / 2.6-7 /$$

$$\bar{\dot{y}}_i = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K \dot{y}_{i,l} \qquad / 2.6-8 /$$

$$\bar{u}_i = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K u_{i,l} \qquad \bar{y}_i = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K y_{i,l} \qquad / 2.6-9 /$$

to zgodnie z prawami statystyki matematycznej błędy przypadkowe z jakimi wartości średnie przybliżają wartości rzeczywiste mierzonych wielkości są następujące

$$\Delta \bar{u}_{i-1} = \frac{1}{\sqrt{K}} \Delta u_{i-1} \qquad \Delta \bar{y}_{i-1} = \frac{1}{\sqrt{K}} \Delta y_{i-1} \qquad / 2.6-10 /$$

$$\Delta \bar{\dot{y}}_i = \frac{1}{\sqrt{K}} \Delta \dot{y}_i \qquad / 2.6-11 /$$

$$\Delta \bar{u}_i = \frac{1}{\sqrt{K}} \Delta u_i \qquad \Delta \bar{y}_i = \frac{1}{\sqrt{K}} \Delta y_i \qquad / 2.6-12 /$$

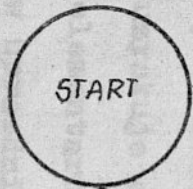
W konsekwencji po uwzględnieniu nowych wartości błędów /2.6.10/, /2.6-11/, /2.6-12/ w zależnościach /2.6-4/, /2.6-5/ uzyskuje się wnioski, że przeprowadzenie serii K-pomiarów \sqrt{K} krotnie zmniejsza składową pomiarową ϵ_{ip} błędu modelu.

2.7 Schemat blokowy algorytmu

Schemat blokowy /diagram przepływowo/ przedstawiony na rys./2.7-1/ uwzględnia powiązania podstawowych elementów procesu wyznaczania modeli metrologicznych obiektów statycznych, możliwych do zautomatyzowania. Ze względu na konieczność udziału eksperymentatora pominięto operacje: zebrania informacji początkowych o obiekcie, wyodrębnienia interesujących właściwości obiektu, określania warunków względnego odosobnienia obiektu, sformułowania postaci opisu modelu, zaprojektowania i konstrukcji struktury pomiarowej.

Wszystkie procedury pomiarowo-obliczeniowe przedstawiono na schemacie zgodnie z informacjami zawartymi w punktach 1-6 rozdziału 2.

W algorytmie po etapie konstrukcji początkowego modelu "B" obiektu oraz wyznaczenia jego dokładności ϵ_j /przy $j=1,2,\dots,m$ / następuje weryfikacja poprawności modelu, którą przeprowadza się indywidualnie w odniesieniu do każdego cząstkowego modelu "B_i". Negatywny wynik weryfikacji /niespełnienie zależności /2.4-8/ pociąga za sobą konieczność poprawy dokładności modelu. Wybór Sposobu poprawy zależny jest od tego czy dominującą składową w błędzie ϵ_i jest składowa estymacyjna ϵ_{ie} czy pomia-



Zadaj granice obszaru
eksperymentalnego
 $\langle U_a, U_z \rangle$

Zadaj dopuszczalną wartość
błędu modelu
 ϵ^*

Zadaj dokładność
 β

$j := 0$

$u_j := U_a$

Podaj na wejście obiektu
 $u = u_j$

Dokonaj pomiaru
wielkości wyjściowej obiektu
 $y_j = y$

$j := j + 1$

Zwiększaj wartości wielkości
 u ,
dokonuj pomiaru
 y_j

Czy
 $u_j = U_z$
N | T

Czy
 $\frac{\partial y(u)}{\partial u} = 0$
N | T

Przerwij zwiększanie
wartości u

Zmierz wielkości
 $u_j = u$
 $y_j = y$

Czy
 $y_H(u_{j0}) \cdot \text{ogn} y_j < y_{j0}$
T | N

Oblicz
 $\epsilon_j = \epsilon_{je} + \epsilon_{jp}$

Oblicz
 ϵ_{je} z zależności (2.6-2)
 ϵ_{jp} z zależności (2.6-4)

Oblicz
 $\epsilon_j = \epsilon_{je} + \epsilon_{jp}$

Oblicz
 ϵ_{je} z zależności (2.6-3)
 ϵ_{jp} z zależności (2.6-5)

$m := j$

$j := 1$

Czy
 $\epsilon_j < \epsilon^*$
T | N

$i := j$

$\epsilon_{ie} \leq \epsilon_{ip}$
T | N

Zwiększ o „1” numery
wszystkich przedziałów
o indeksach większych od „1”

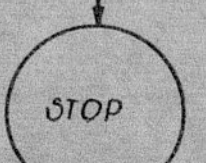
Konstrukcja początkowego modelu obiektu

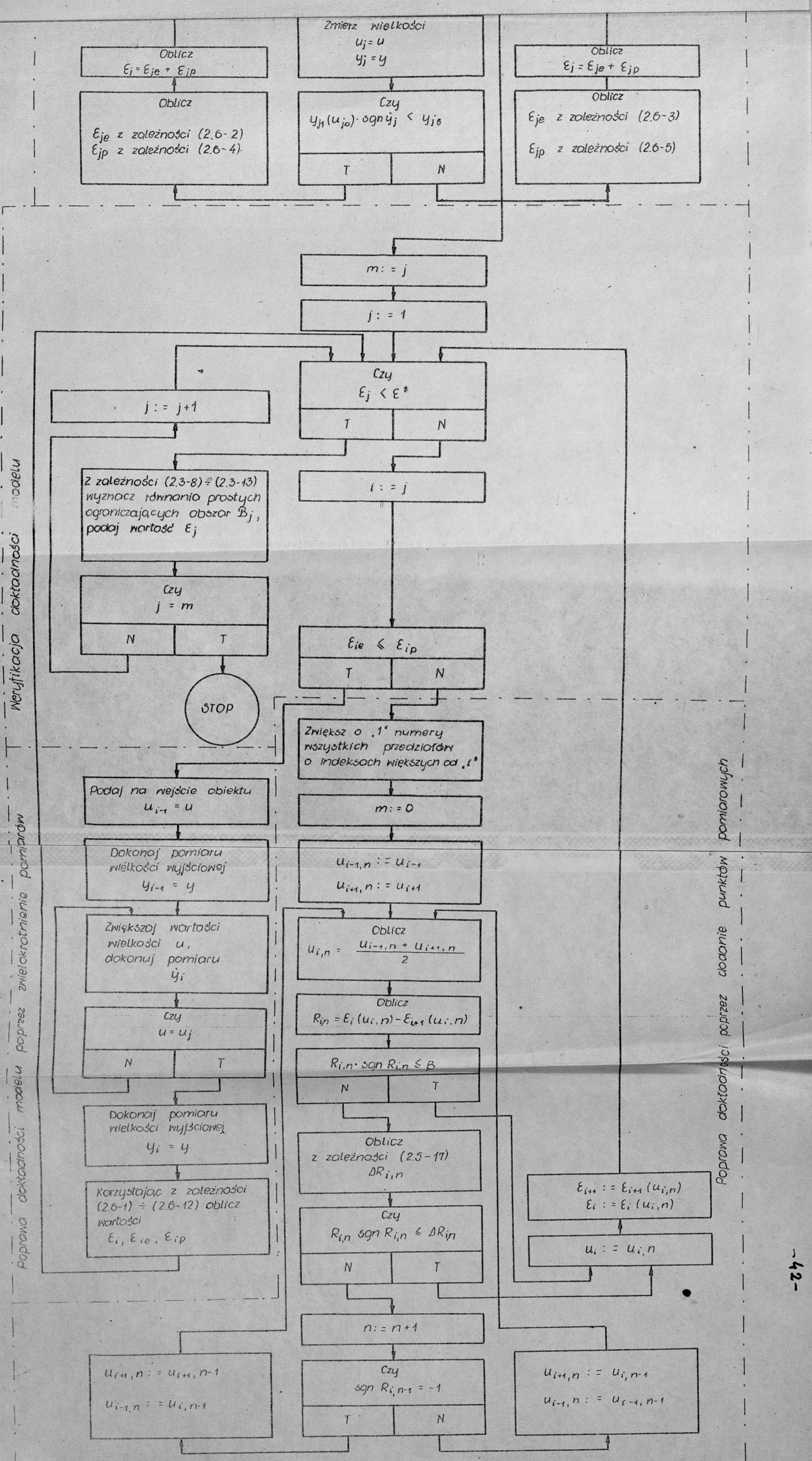
Weryfikacja dokładności modelu

$j := j + 1$

Z zależności (2.3-8) i (2.3-13)
wyznacz idmowania prostych
ograniczających obszar B_j ,
podaj wartość ϵ_j

Czy
 $j = m$
N | T





Rys. 2.7-1 Schemat blokowy algorytmu wyznaczenia modelu „B” obiektu

rowa ϵ_{ip} .

Zmniejszenie wartości składowej estymacyjnej ϵ_{ie} uzyskuje się poprzez umieszczenie w przedziale i -tym dodatkowego punktu pomiarowego u_i , który dzieli go na dwa nowe przedziały i -ty oraz $(i+1)$ -szy. Sposób wyboru punktu u_i podyktowany jest dążeniem do jak największej poprawy dokładności modelu i następuje w myśl zależności /2.5-5/, /2.5-6/.

Dominująca rola składowej pomiarowej błędu modelu wymaga poprawy dokładności pomiarów. Oprócz wymiany przyrządów pomiarowych na dokładniejsze /nieuwzględnionej na schemacie blokowym/ uzyskuje się ją w odniesieniu do składowej przypadkowej błędu elementarnego pomiaru poprzez zwielokrotnienie liczby pomiarów w uprzednio wyznaczonych punktach pomiarowych.

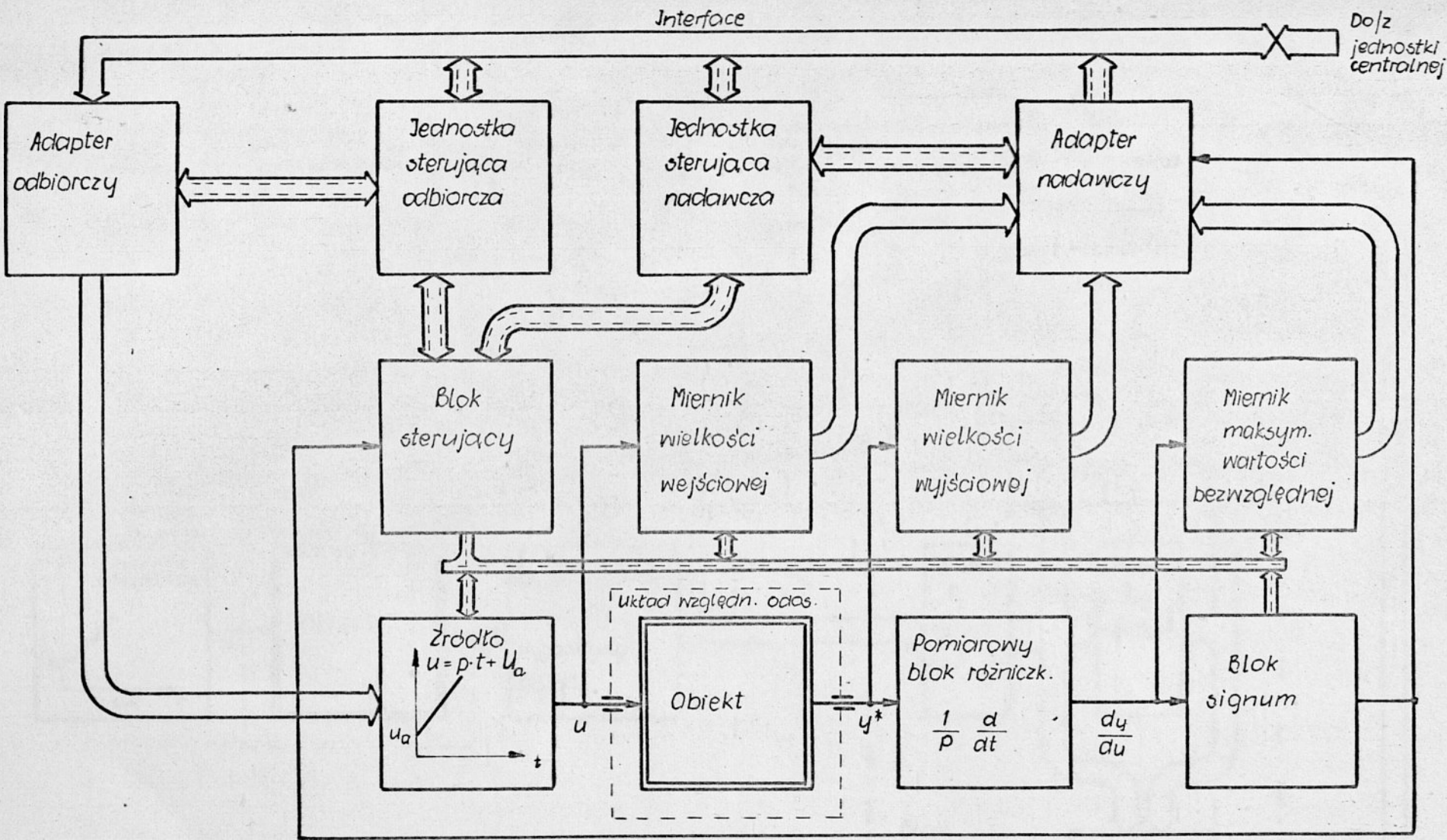
Identyfikację modelu metrologicznego obiektu można uznać za zakończoną w chwili, kiedy dla wszystkich przedziałów z obszaru eksperymentalnego spełniony jest warunek /2.4-8/.

Na rysunkach /2.7-2/, /2.7-3/ przedstawiono przykładowe struktury pomiarowe, które współpracują poprzez interface z maszyną cyfrową i realizują opisany algorytm.

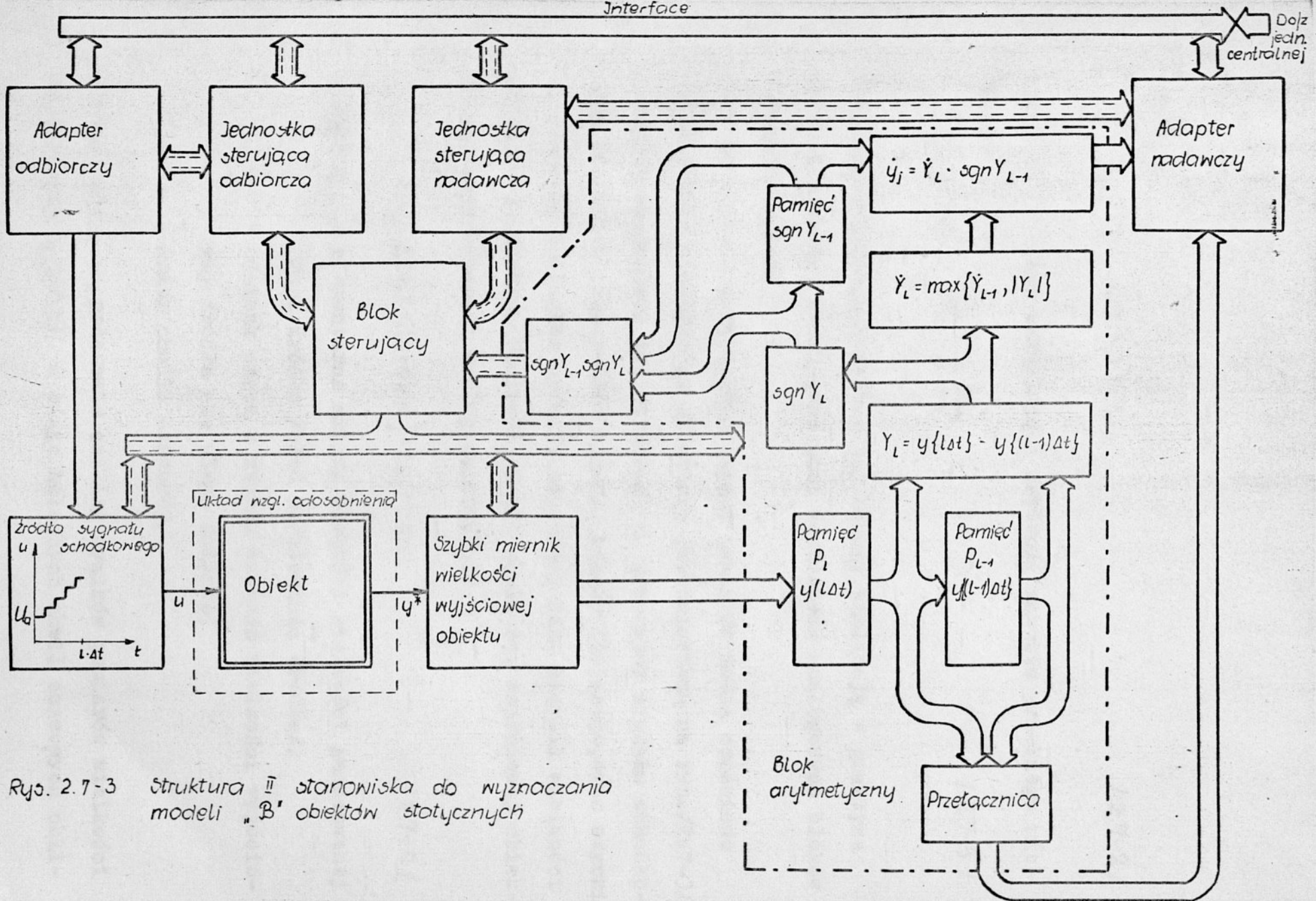
W pierwszym przypadku informacje pomiarowe uzyskuje się w wyniku badania odpowiedzi obiektu na liniowo w czasie narastający sygnał identyfikujący $u(t)$ o wartościach należących do przedziału $\langle u_a, u_z \rangle$.

Operację różniczkowania przeprowadza się w dziedzinie czasu korzystając z zależności:

$$\frac{dy}{du} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{du}{dt}} \quad / 2.7-1 /$$



Rys. 2.7-2 struktura I stanowiska do wyznaczania modeli "B" obiektów statycznych



Rys. 2.7-3 Struktura II stanowiska do wyznaczania modeli „B” obiektów statycznych

Ponieważ

$$u(t) = p \cdot t + U_a \quad / 2.7-2 /$$

gdzie p - stała określająca szybkość narostu przebiegu $u(t)$
przeto

$$\frac{dy}{du} = \frac{1}{p} \frac{dy}{dt} \quad / 2.7-3 /$$

Urządzenia pracujące według tej zasady posiadają w praktyce podstawową wadę, którą jest mała dokładność analogowych bloków różniczkujących.

Wadę tą kosztem zwiększenia liczby pomiarów można częściowo wyeliminować konstruując strukturę przedstawioną na rys./2.7-3/. Głównymi elementami tej struktury są generator sygnału schodkowego, pracujący jako źródło sygnału identyfikującego, oraz szybki przetwornik analogowo-cyfrowy, pracujący jako miernik wielkości wyjściowej obiektu. Ponieważ źródło wielkości wejściowej obiektu generuje wartości według zależności:

$$u\{l \cdot \Delta t \leq t < (l+1) \Delta t\} = U_a + l \cdot \Delta u \quad / 2.7-4 /$$

gdzie: Δu - elementarna zmiana wartości wielkości generowanej przez źródło /błąd kwantowania źródła/;

Δt - odcinek czasu w którym wartość wielkości wyjściowej źródła nie ulega zmianie;

l - numer chwili czasowej.

dlatego można na podstawie analizy wyników pomiarów wielkości wyjściowych $y(l \cdot \Delta t)$ w ciągu kolejnych chwil czasowych obli-

czyć \dot{y}_j

$$\dot{y}_j = \frac{1}{\Delta u} \left[\max_l \left| \left\{ y[l \cdot \Delta t] - y[(l-1)\Delta t] \right\} \right| \right] \cdot \operatorname{sgn} \left\{ y[l \cdot \Delta t] - y[(l-1)\Delta t] \right\} \quad / 2.7-5/$$

przy $\left[E \left(\frac{u_{j-1} - u_a}{\Delta u} \right) \leq l \leq E \left(\frac{u_j - u_a}{\Delta u} \right) \right]$ (E-operator entier)

W odniesieniu do etapu wyznaczania początkowego modelu obiektu, można określić w obszarze eksperymentalnym wartości wielkości wejściowych $u_j = u(l \cdot \Delta t)$, przy których charakterystyka obiektu osiąga ekstremum. Jest to równoznaczne ze spełnieniem warunku $\operatorname{sgn} [y\{l \cdot \Delta t\} - y\{(l-1)\Delta t\}] \cdot \operatorname{sgn} [y\{(l+1)\Delta t\} - y\{l \cdot \Delta t\}] = -1$ / 2.7-6/

Dla obu struktur pomiarowych /I i II/ sterowanie procesem pomiarowym wykonywanym na obiekcie rzeczywistym realizuje jednostka centralna poprzez jednostki sterujące /nadawczą i odbiorczą/ stanowiska i blok sterujący. Dane o wartości nastawy początkowej źródła sygnału identyfikującego transmitowane są z pamięci operacyjnej jednostki centralnej poprzez adapter odbiorczy do źródła.

Wyniki pomiarów przesyłane są zwrotnie poprzez adapter nadawczy do pamięci operacyjnej jednostki centralnej, gdzie następuje dalsze ich przetwarzanie w myśl opisanego uprzednio algorytmu.

Obecność w strukturze II stanowiska przełącznicy tłumaczy się tym, że występuje konieczność przesłania wyniku pomiaru z dwóch różnych punktów bloku arytmetycznego. I tak podczas sprawdzenia warunku /2.7-6/ zachodzi potrzeba transmisji do

pamięci jednostki centralnej zawartości pamięci P_{l-1} jako wartości wielkości wyjściowej obiektu w punkcie ekstremalnym. Natomiast w pozostałych przypadkach wynik pomiaru znajduje się w pamięci P_l i stąd jest przesyłany do jednostki centralnej.

2.8 Zalety i wady algorytmu

Przedstawiony sposób wyznaczania modelu metrologicznego obiektu jest optymalny jeżeli warunek /2.4-8/ zostanie spełniony poprzez umieszczenie w każdym z przedziałów ograniczonych zależnością /2.3-1/ po jednym dodatkowym punkcie pomiarowym. W przeciwnym przypadku aby zapewnić pełną optymalność należy dla danego przedziału algorytm rozpocząć od nowa zwiększając liczbę punktów pomiarowych o jeden do momentu spełnienia /2.4-8/. Wyznaczenie $\mu \geq 2$ punktów pomiarowych w i -tym przedziale obszaru eksperymentalnego wykonuje się w myśl zależności /2.8-1/

$$Q^* = \min_{u_i, u_{i+1}, \dots, u_{i+\mu}} \left[\max \{ \varepsilon_i, \varepsilon_{i+1}, \dots, \varepsilon_{i+\mu+1} \} \right] \quad / 2.8-1 /$$

i sprowadza się do eksperymentalnego rozwiązania układu równań

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i+1} = \varepsilon_{i+2} = \dots = \varepsilon_{i+\mu+1} \quad / 2.8-2 /$$

Rozwiązywanie układu /2.8-2/ jest procesem złożonym ze względu na konieczność przeprowadzenia dużej liczby pomiarów i obliczeń. Wadę tą można ominąć rezygnując z pełnej optymalności rozumianej w sensie /2.8-1/ i prowadząc operacje suboptymalnie

dzieląc przedział i -ty na dwa nowe aż do momentu spełnienia warunku dokładnościowego /2.4-8/ /rys.2.7-1/.

Podstawową zaletą algorytmu jest możliwość empirycznie uzasadnionego rozmieszczenia punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym, co jest szczególnie ważne w dziedzinie badań dokładności pomiarów złożonych wykonywanych w systemach pomiarowych. Zaleta ta została okupiona koniecznością wykonania dużej liczby pomiarów a co za tym idzie i wykonania dużej liczby obliczeń. Wiąże się to z czasochłonnością procesu modelowania utrudniającą stosowanie algorytmu w odniesieniu do wyznaczania modeli metrologicznych obiektów quasistacjonarnych.

Podobnie rozszerzenie algorytmu na przypadek modelowania obiektów wielowymiarowych powoduje wzrost w przybliżeniu w postępie geometrycznym liczby pomiarów i operacji obliczeniowych w funkcji wymiarowości obiektu.

Kłopotliwa jest również modyfikacja algorytmu w kierunku wyznaczania modeli metrologicznych klasy obiektów, których właściwości na skutek działania zakłóceń zmieniają się w sposób przypadkowy. Dla przykładu jeżeli zakłócenia mają rozkład normalny o nieznannej wariancji to w celu uzyskania szukanego modelu metrologicznego obiektu zachodzi konieczność rozwiązania równań przestępnych [23], [63].

Nasuwa się więc wniosek, że dla celów będących przedmiotem pracy należy zastosować ogólniejszy algorytm, prostszy do zastosowań w rozwiązywaniu zagadnień modelowania obiektów wielowymiarowych, których właściwości zmieniają się w sposób przypadkowy.

3. Algorytm regresyjny wyznaczania modeli metrologicznych obiektów quasistatycznych, quasistacjonarnych, ciągłych

3.1 Definicja funkcji regresji

W większości praktycznie spotykanych przypadków poszukuje się modelu metrologicznego obiektu w postaci jednoznacznej zależności

$$\hat{y} = \hat{y}(\underline{u}) \quad /3.1-1/$$

gdzie: \hat{y} - jest wielkością wyjściową modelu, metromorficzną z wielkością wyjściową obiektu y ,
 \underline{u} - jest wektorem wielkości wejściowych modelu obiektu.

Ze względu na losowy charakter y oraz \underline{u} interesująca eksperymentatora zależność /3.1-1/ nie jest zależnością funkcyjną w sensie analizy matematycznej lecz jest zależnością stochastyczną^{*/}.

Źródłem losowości wielkości \underline{u} są przypadkowe zmiany właściwości źródeł służących do generacji sygnałów identyfikujących model obiektu. Losowość wielkości wyjściowej y jest wynikiem stochastycznych zmian:

- wartości wielkości wymuszających,
- właściwości obiektu modelowanego,

*/ Zmienna losowa Y jest stochastycznie zależna od zmiennej losowej \underline{u} jeżeli jej rozkład prawdopodobieństwa zależy w sposób jednoznaczny od rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej \underline{u} .

- właściwości przyrządu pomiarowego mierzącego wielkość wyjściową obiektu.

Pod pojęciem funkcji regresji zmiennej losowej Y względem zmiennej losowej u rozumie się [11], [21], [25], [35], [36], [66] funkcję

$$E(Y/u) = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot f(y/u) dy \quad / 3.1-2 /$$

gdzie: E jest operatorem uśredniania, $f(y/u)$ jest warunkowym rozkładem prawdopodobieństwa zmiennej losowej Y pod warunkiem, że zmienna losowa u przyjmie wartość u .

Funkcja regresji jest więc wyrazem zależności funkcyjnej tkwiącej w zależności stochastycznej.

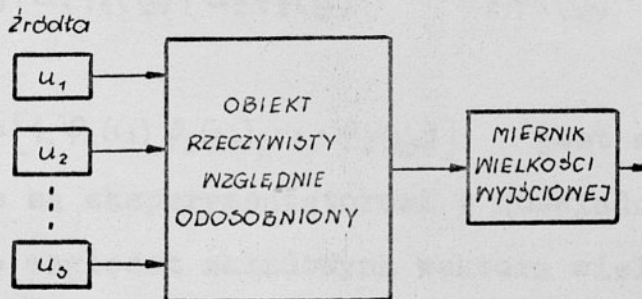
Ponieważ w praktyce eksperymentator dysponuje ograniczoną liczbą pomiarów wykonanych na obiekcie rzeczywistym, dlatego trudne lub wręcz niemożliwe jest wyznaczenie funkcji regresji w myśl zależności /3.1-2/. Najczęściej korzysta się z empirycznej funkcji regresji zwanej funkcją regresji drugiego rodzaju [21], [23], [40], [41], [42]. Pomimo bogatej literatury dotyczącej podstaw teoretycznych wykorzystania funkcji regresji w procesie identyfikacji rozumianej w sensie ogólnym, występują braki w dziedzinie opracowania zastosowań praktycznych metody do automatycznego rozwiązywania zagadnień modelowania metrologicznego obiektów w systemach pomiarowych. Niniejszy rozdział zawiera propozycje rozwiązania tego problemu z uwzględnieniem wpływu składowej przypadkowej błędu elementarnego pomiaru na błąd modelu.

3.2 Metoda analizy regresyjnej drugiego rodzaju

Rozpoczęcie procesu wyznaczania modelu metrologicznego obiektu metodą analizy regresyjnej drugiego rodzaju wymaga wcześniejszego określenia:

- celu modelowania,
- zbioru wielkości wejściowych i wyjściowych obiektu rzeczywistego,
- sposobu eliminacji lub stabilizacji wielkości wpływowych, których występowanie w modelu ze względu na cel modelowania jest niepożądane,
- obszaru eksperymentalnego D_u ; w którym należy wykonywać eksperyment pomiarowy na obiekcie rzeczywistym,
- wymagań na dokładność modelu.

Uzyskane informacje pozwalają na opracowanie metod pomiaru wyróżnionych wielkości fizycznych skojarzonych z obiektem /rys.3.2-1/. Ponadto dają podstawę do zaprojektowania, skonstruowania i oprogramowania struktury pomiarowo-informacyjnej pracującej według algorytmu regresyjnego drugiego rodzaju.



Rys.3.2-1 Schemat blokowy struktury do pomiaru zależności wejście-wyjście obiektu.

Charakterystycznym dla metody regresyjnej drugiego rodzaju jest arbitralne przyjęcie matematycznego opisu modelu, postaci funkcji regresji

$$y = y(\underline{a}, \underline{u}) \quad / 3.2-1 /$$

gdzie: $\underline{a}^T = [a_0, a_1, \dots, a_k]$ - wektor niezależnych od czasu, nieznanymi parametrów funkcji regresji,

$\underline{u}^T = [u_1, u_2, \dots, u_s]$ - wektor wielkości wejściowych modelu.

W postępowaniu tym nieunikniony jest subiektywizm eksperymentatora, pomimo możliwości wykorzystania przez niego informacji dotyczących budowy fizycznej modelowanego obiektu. W złożonych przypadkach znajomość pełnej postaci zależności /3.2-1/ wyznaczonej na drodze analizy właściwości rzeczywistego obiektu jest nieprzydatna ze względu na formalne trudności wyznaczenia wartości składowych wektora \underline{a} oraz analizy uzyskanego modelu /występuje konieczność rozwiązywania złożonych układów równań nieliniowych/ [6], [21], [23], [25], [35], [40], [41], [43]. Najczęściej korzysta się więc z liniowej względem wektora parametrów postaci funkcji regresji:

$$y = a_0 + a_1 \varphi_1(\underline{u}) + a_2 \varphi_2(\underline{u}) + \dots + a_k \varphi_k(\underline{u}) \quad / 3.2-2 /$$

gdzie: $\underline{\varphi}^T = [1, \varphi_1(\underline{u}), \varphi_2(\underline{u}), \dots, \varphi_k(\underline{u})]$ jest wektorem, którego składowe znane są eksperymentatorowi z doświadczenia, mogą one być nieliniowe względem składowych wektora wielkości wejściowych modelu lecz muszą spełniać warunek liniowej niezależności.

Przyjęta początkowo postać funkcji regresji nie zawsze poprawnie odzwierciedla właściwości modelowanego obiektu w obszarze eksperymentalnym.

Zgodność modelu regresyjnego z danymi doświadczalnymi ocenia się na podstawie testów statystycznych znanych w literaturze pod nazwą "testów adekwatności modelu" [21], [23], [25], [35], [40], [41]. Zagadnienie to krótko zostanie naszkicowane w dalszej części pracy. Dla pełności rozważań należy jednakże nadmienić, że poprawę zgodności funkcji regresji z wynikami pomiarów można uzyskać drogą:

- modyfikacji oraz zwiększenia liczby nieliniowych funkcji $\varphi(\underline{u})$,
- rozbitcia obszaru eksperymentalnego $D_{\underline{u}}$ na zbiór podobszarów rozłącznych $D_{\underline{u}_{\omega}}$ ($\omega=1,2,\dots$)

$$D_{\underline{u}} = \bigcup_{\omega} D_{\underline{u}_{\omega}} \quad / 3.2-3 /$$

i wyznaczenie dla każdego z tych podobszarów cząstkowego modelu metrologicznego obiektu.

Powyższe stwierdzenia pozwalają przyjąć postać /3.2-2/ równania regresji jako wyjściową do dalszych rozważań.

Przeprowadzenie na obiekcie rzeczywistym N -elementowego zbioru pomiarów par $\langle \underline{u}_i, y_i \rangle$, ($i=1,2,\dots,N$) pozwala utworzyć równanie macierzowe

$$\underline{y} = \underline{M}\underline{a} + \underline{f} \quad / 3.2-4 /$$

W równaniu tym:

- $\underline{y}^T = [y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N]$ jest wektorem wartości wielkości wyjściowej obiektu uzyskanym w serii N -pomiarów;

$\underline{f}^T = [\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_i, \dots, \Delta y_N]$ jest wektorem, którego składowe są błędami przypadkowymi kolejnych pomiarów wielkości wyjściowej obiektu;

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} 1 & , & \varphi_1(\underline{u}_1) & , & \varphi_2(\underline{u}_1) & , & \dots & , & \varphi_k(\underline{u}_1) \\ \vdots & & & & & & & & \\ 1 & , & \varphi_1(\underline{u}_i) & , & \varphi_2(\underline{u}_i) & , & \dots & , & \varphi_k(\underline{u}_i) \\ \vdots & & & & & & & & \\ 1 & , & \varphi_1(\underline{u}_N) & , & \varphi_2(\underline{u}_N) & , & \dots & , & \varphi_k(\underline{u}_N) \end{bmatrix} \quad / 3.2-5 /$$

jest macierzą planu eksperymentu [21], [23], [25], [35].

Jeżeli poprzez dobór odpowiedniej metody pomiarowej oraz poprzez wprowadzenie poprawek do wyników pomiarów wielkości wyjściowej obiektu da się wyeliminować składowe systematyczne błędów pomiarów, to składowe wektora błędów pomiarowych \underline{f} można traktować jako niezależne zmienne losowe o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa

$$W(\Delta y_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{(\Delta y_i)^2}{\sigma_i^2} \right\} \quad / 3.2-6 /$$

Łączny rozkład prawdopodobieństwa błędów N pomiarów jest N -wymiarowym rozkładem Gaussa

$$W(\underline{f}) = \frac{1}{\sqrt{\det \underline{R}} (\sqrt{2\pi})^N} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \underline{f}^T \underline{R}^{-1} \underline{f} \right\} \quad / 3.2-7 /$$

W równaniu tym \underline{R} jest macierzą kowariancji błędów pomiarowych

$$\underline{R} = E(\underline{f} \cdot \underline{f}^T) = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \sigma_i^2 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \sigma_N^2 \end{bmatrix} \quad / 3.2-8 /$$

Zależność /3.2-7/ po uwzględnieniu równości /3.2-4/ sprowadza się do postaci

$$W(\underline{f}) = \frac{1}{\sqrt{\det \underline{R}} (\sqrt{2\pi})^N} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\underline{y} - \underline{M}\underline{a})^T \cdot \underline{R}^{-1} (\underline{y} - \underline{M}\underline{a}) \right\} \quad / 3.2-9 /$$

Metoda największej wiarygodności zastosowana względem rozkładu prawdopodobieństwa /3.2-9/ daje estymator $\hat{\underline{a}}$ parametrów funkcji regresji wyrażający się za pomocą następującej zależności

$$\hat{\underline{a}} = \{ \underline{M}^T \underline{R}^{-1} \underline{M} \}^{-1} \cdot \{ \underline{M}^T \underline{R}^{-1} \underline{y} \} \quad / 3.2-10 /$$

Wartość parametrów modelu obliczona z równania /3.2-10/ daje największą gęstość prawdopodobieństwa uzyskania takiego wektora \underline{f} jaki faktycznie otrzymano w wyniku pomiarów.

Jest to równoznaczne z minimalizacją kryterium, które jest sumą ważonych kwadratów błędów poszczególnych pomiarów.

$$L = \underline{f}^T \underline{R}^{-1} \underline{f} = \frac{(\Delta y_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(\Delta y_2)^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{(\Delta y_N)^2}{\sigma_N^2} \quad /3.2-11/$$

Wagę każdego pomiaru jest jego wariancja.

Jeżeli wszystkie błędy pomiarowe mają jednakowe wariancje

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_N^2 = \sigma^2$$

to macierz kowariancji /3.2-8/ redukuje się do postaci

$$\underline{R} = \sigma^2 \cdot \underline{I}_N$$

gdzie: \underline{I}_N jest N wymiarową macierzą jednostkową.

W konsekwencji równanie /3.2-10/ sprowadza się do powszechnie znanej zależności uzyskiwanej metodą "najmniejszych kwadratów".

$$\underline{\hat{a}} = (\underline{M}^T \underline{M})^{-1} \cdot \underline{M}^T \underline{y}$$

Wyznaczenie wektora $\underline{\hat{a}}$ jest możliwe jeżeli na obiekcie rzeczywistym zostanie wykonanych co najmniej $(k+1)$ pomiarów dla istotnie różnych składowych wektorów wielkości wejściowych obiektu^{*/}. Podstawową wadą przedstawionego sposobu estymacji wektora $\underline{\hat{a}}$ jest jego niesekwencyjność, a w konsekwencji brak możliwości oszacowania wpływu kolejnych pomiarów na poprawę dokładności modelu.

Ponadto niesekwencyjność pociąga za sobą przy wzroście liczby pomiarów wzrost wymiarowości macierzy \underline{M} , \underline{R} oraz wektora \underline{y} co jest szczególnie niepożądane przy zastosowaniu do sterowania

*/ Składowe wektorów wielkości wejściowej obiektu powinny być tak dobrane aby $\det [\underline{M}^T \underline{R}^{-1} \underline{M}] \neq 0$

procesem pomiarowym i przetwarzania wyników pomiarów minikomputerów o małych pojemnościach pamięci.

3.3 Wyznaczanie parametrów modelu metodą iteracyjną

W wielu przypadkach na drodze analizy danych technicznych producenta modelowanego obiektu, bądź na drodze analizy zjawisk fizycznych zachodzących w obiekcie eksperymentator potrafi określić przybliżone wartości składowych wektora \hat{a}_0 parametrów funkcji regresji. Wykorzystanie tego faktu jest możliwe jeżeli równanie /3.2-10/ przekształci się do postaci rekurencyjnej [44], [45], [60], [68].

$$\hat{a}_n = \hat{a}_{n-1} + \frac{p_n \cdot \varphi_n}{\sigma_n^2} \{y_n - \varphi_n^T \hat{a}_{n-1}\} \quad / 3.3-1 /$$

$$p_n = p_{n-1} - p_{n-1} \varphi_n (\varphi_n p_{n-1} \varphi_n + \sigma_n^2)^{-1} \varphi_n^T p_{n-1} \quad / 3.3-2 /$$

$$p_{n-1} = (M_{n-1}^T R_{n-1}^{-1} M_{n-1})^{-1} \quad / 3.3-3 /$$

$$\varphi_n^T = [1, \varphi_1(\underline{u}_n), \varphi_2(\underline{u}_n), \dots, \varphi_k(\underline{u}_n)] \quad / 3.3-4 /$$

gdzie: \hat{a}_n - jest estymatorem parametrów modelu uzyskanym po n-pomiarach,

σ_n^2 - jest wariancją błędu n-tego pomiaru wielkości wyjściowej obiektu,

\underline{M}_n - jest macierzą planu eksperymentu dla n-pomiarów,

\underline{R}_n - jest macierzą kowariancji błędów n-pomiarów,

\underline{P}_n - jest macierzą kowariancji wektora $\hat{\underline{a}}_n$

$$\underline{P}_n = E[\{\hat{\underline{a}}_n - E(\hat{\underline{a}}_n)\} \cdot \{\hat{\underline{a}}_n - E(\hat{\underline{a}}_n)\}^T] = (\underline{M}_n^T \underline{R}_n^{-1} \underline{M}_n)^{-1} \quad / 3.3-5 /$$

Estymator $\hat{\underline{a}}_n$ uzyskany z zależności /3.3-1/ jest nieobciążony

$$E[\hat{\underline{a}}_n] = \underline{a} \quad / 3.3-6 /$$

co pozwala wyciągnąć wniosek, że macierz \underline{P}_n jest równa macierzy kowariancji błędu szacowania zdefiniowanego następująco

$$\Delta \underline{a}_n = \hat{\underline{a}}_n - \underline{a} \quad / 3.3-7 /$$

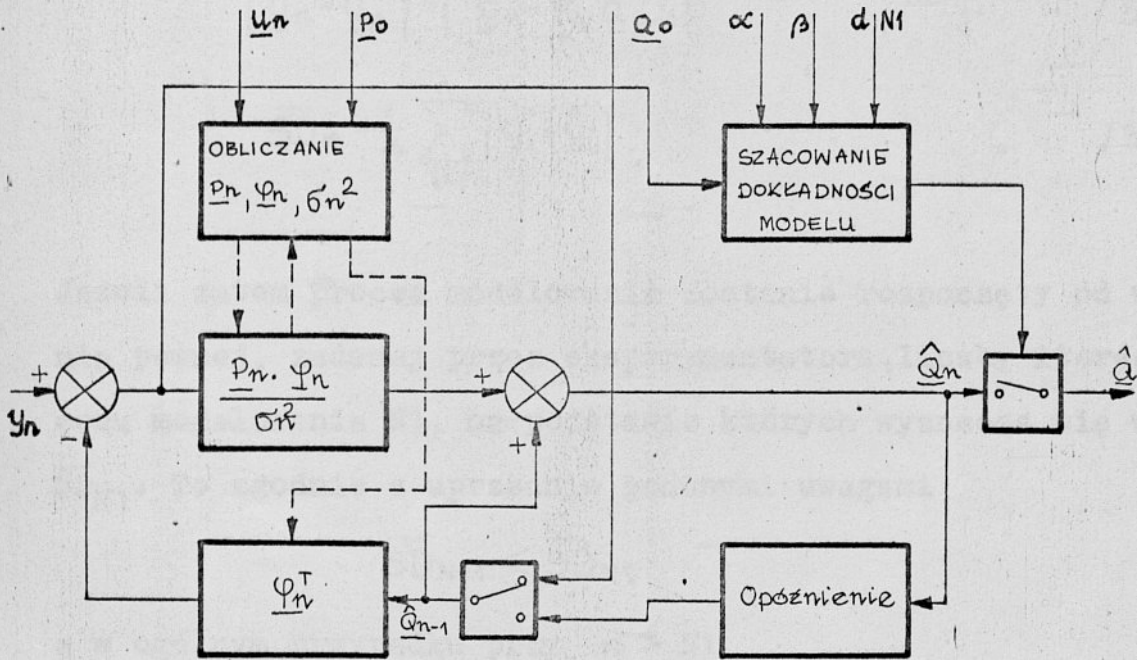
Z równania /3.3-1/ /rys.3.3-1/ wynika, że każde nowe oszacowanie $\hat{\underline{a}}_n$ wektora parametrów modelu jest równe staremu oszacowaniu zmodyfikowanemu drogą wprowadzenia wektora poprawki.

Składowe wektora poprawki są wprost proporcjonalne do odpowiednich elementów macierzy błędu szacowania \underline{P}_n oraz do różnicy pomiędzy wartością y_n wielkości wyjściowej uzyskanej z pomiaru a wartością wyznaczoną z modelu przy $\underline{u} = \underline{u}_n$ i $\hat{\underline{a}} = \hat{\underline{a}}_{n-1}$.

Współczynnikiem wagowym każdej poprawki jest wariancja błędu pomiaru y_n .

Poszukiwania literaturowe rozwiązania zagadnienia oceny dokładności modelu [11], [21], [23], [36], [38], [39], [41], [42], [67], [68], [69], [70] nie dały zadowalających rezultatów.

Zagadnienie to wymaga szczegółowego opracowania matematycznego



Rys.3.3.-1 Struktura blokowa układu do wyznaczania modelu regresyjnego metodą iteracyjną.

co jednak uznano za wykraczające poza zakres pracy. Przedstawiona poniżej propozycja rozwiązania oparta została na formalizacji przesłanek intuicyjnych i sprawdzona praktycznie. Podstawą do jej sformułowania jest spostrzeżenie, że wykonywane sekwencyjnie operacje pomiarowo-obliczeniowe procesu modelowania zmniejszają wartość błędu estymacji /3.3-7/, a w konsekwencji zgodnie z prawami statystyki matematycznej, w stosunku do adekwatnych opisów modeli, zmniejszają wartość średnią /3.3-8a/ różnicy /3.3-8/. Graniczny minimalny poziom wartości średniej /3.3-8a/ jest większy od zera i zależy od stopnia nieadekwatności opisu modelu oraz od wartości wariancji wyników poszczególnych pomiarów.

$$|y_n - \hat{y}_n| = |y_n - \underline{\varphi}_n^T \underline{a}_{n-1}| \quad /3.3-8/$$

$$\overline{SD}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad /3.3-8a/$$

Jeżeli zatem proces modelowania zostanie rozpoczęty od wykonania pewnej, zadanej przez eksperymentatora, liczby iteracji procesu modelowania N_1 , na podstawie których wyznacza się wartość \overline{SD}_{N_1} . To zgodnie z uprzednio podanymi uwagami

$$\overline{SD}_{N+1} < \overline{SD}_{N_1}$$

a w ogólnym przypadku przy $n > N_1$

$$\overline{SD}_n < \overline{SD}_{n-1}$$

co jest równoznaczne ze spełnieniem warunku

$$|y_n - \hat{y}_n| < \overline{SD}_{n-1} \quad /3.3-8b/$$

Wykonywanie iteracyjnych procedur procesu modelowania ma sens do takiego kroku $n = N_2$, w którym:

- zostanie spełniony warunek

$$\overline{SD}_n < \frac{d}{2} \quad /3.3-8c/$$

gdzie d jest maksymalnym dopuszczalnym odchyleniem wyniku pomiaru od wartości obliczonej z modelu,

- nie zostanie spełniony warunek /3.3-8b/.

Wystąpienie dowolnego z obu przypadków stanowi podstawę do końcowego statystycznego przetestowania dokładności modelu. Wydaje się, że najbardziej do tego celu nadaje się opracowany przez Statystyczną Grupę Badawczą Uniwersytetu Columbia "dwustronny test średniej w stosunku do wartości normalnej" [42]. Podstawową wadą tego testu jest milcząco założona równość wariancji wyników poszczególnych pomiarów, wada ta ograniczyła ogólność testu i narzuciła konieczność wyznaczania wartości średniej wariancji serii dotychczas wykonanych wyników pomiarów.

Sprawdzenie dokładności modelu rozpoczyna się od przyjęcia:

- maksymalnego dopuszczalnego odchylenia d wyniku pomiaru od wartości obliczonej z modelu,
- maksymalnego ryzyka α błędnego przyjęcia hipotezy o nieadekwatności modelu,
- maksymalnego ryzyka β błędnego przyjęcia hipotezy wystarczającej dokładności modelu.

Następnie dla każdego wyniku kolejno wykonywanego pomiaru wyznacza się górną H i dolną L granicę testu korzystając z zależności:

$$H_n = \left\{ \left(\ln \frac{1-\beta}{\alpha} + \ln 2 \right) \cdot \frac{1}{n-N_2+1} \cdot \sum_{i=N_2}^n \sigma_i^2 \right\} \cdot d^{-1} + \frac{d}{2} \cdot (n-N_2+1) \quad / 3.3-9 /$$

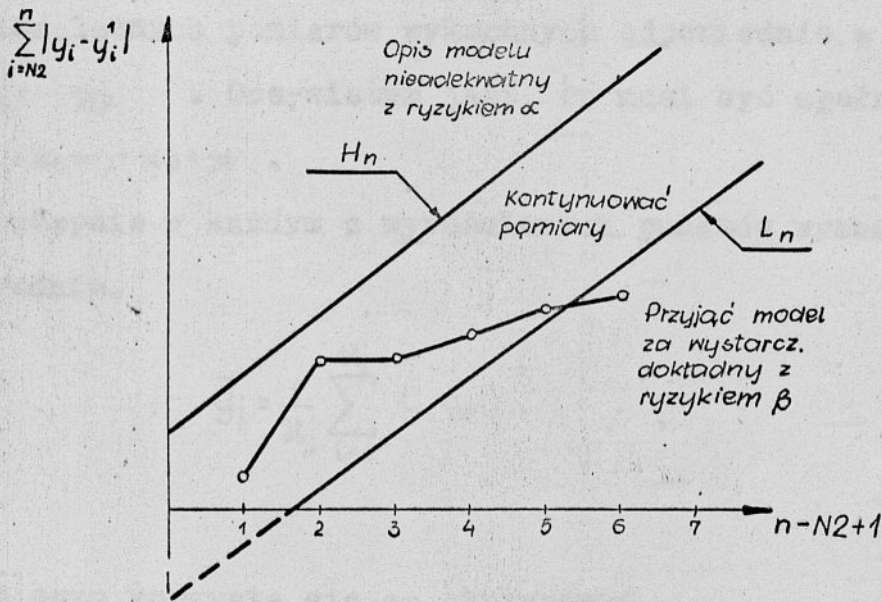
$$L_n = \left\{ \left(\ln \frac{1-\alpha}{\beta} - \ln 2 \right) \cdot \frac{1}{n-N_2+1} \cdot \sum_{i=N_2}^n \sigma_i^2 \right\} \cdot d^{-1} + \frac{d}{2} \cdot (n-N_2+1) \quad / 3.3-10 /$$

oraz oblicza sumę bezwzględnych wartości odchyień

$$SD_n = \sum_{i=N_2}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad /3.3-11/$$

Uzyskany po n-tym kroku pomiarowym model można, z założonymi ryzykami, uważać za wystarczająco dokładny /rys.3.3-2/ jeżeli zostanie spełniony warunek.

$$L_n > SD_n \quad /3.3-12/$$



Rys.3.3-2 Zasada sekwencyjnego testu dokładności modelu regresyjnego.

3.4 Adekwatność modelu regresyjnego

Różnica pomiędzy wartością wielkości wyjściowej obiektu a wartością wyjściową modelu może być wykorzystana do budowy testu statystycznego [25], który pozwoli ocenić czy założona postać opisu modelu /3.2-2/ z zadaniem prawdopodobieństwem przybliży rzeczywisty kształt zależności wejście-wyjście obiektu. W tym celu w p punktach obszaru eksperymentalnego należy wykonać \mathcal{N} pomiarów ($\mathcal{N} > p$) gdzie $\mathcal{N}_1, \mathcal{N}_2, \dots, \mathcal{N}_p$ są liczbami niezależnych pomiarów wykonanych odpowiednio w punktach $u_1, u_2, u_3, \dots, u_p$. Oczywiście jest, że musi być spełniony warunek $\mathcal{N}_1 + \mathcal{N}_2 + \dots + \mathcal{N}_p = \mathcal{N}$.

Następnie w każdym z wyróżnionych punktów wyznacza się wartości średnie.

$$\bar{y}_j = \frac{1}{\mathcal{N}_j} \sum_{l=1}^{\mathcal{N}_j} y_{lj}(u_j) \quad / 3.4-1 /$$

Po czym korzysta się ze statystyki

$$S = \sum_{j=1}^p \sum_{l=1}^{\mathcal{N}_j} \{y_{lj} - \hat{y}_j\}^2 \quad / 3.4-2 /$$

która daje się sprowadzić do postaci

$$S = \sum_{j=1}^p \sum_{l=1}^{\mathcal{N}_j} \left\{ (y_{lj}(u_j) - y_j) + (\bar{y}_j - \hat{y}_j) \right\}^2 \quad / 3.4-3 /$$

Oznaczając

$$S_1 = \sum_{j=1}^p \sum_{l=1}^{x_j} \{y_l(\underline{u}_j) - \bar{y}_j\}^2 \quad / 3.4-4 /$$

$$S_2 = \sum_{j=1}^p x_j (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2 \quad / 3.4-5 /$$

po przekształceniach uzyskuje się zależność

$$S = S_1 + S_2 \quad / 3.4-6 /$$

która pozwala skonstruować statystykę

$$F_{(p-k+1, x-p)} = \frac{\frac{S_2}{p-k+1}}{\frac{S_1}{x-p}} = \frac{x-p}{p-k+1} \frac{\{S-S_1\}}{S_1} \quad / 3.4-7 /$$

Jeżeli wybrany opis modelu poprawnie odtwarza właściwości obiektu to statystyka F ma rozkład F - Snedecora z $(p-k+1, \alpha-p)$ stopniami swobody. Przyjęcie wartości poziomu istotności α_F pozwala wyznaczyć z tablic rozkładu F wartość krytyczną F_{kr} . Jeżeli obliczona dla przeprowadzonych wyników pomiarów wartość $F_{(p-k+1, \alpha-p)}$ spełnia nierówność

$$F_{(p-k+1, \alpha-p)} < F_{kr} \quad / 3.4-8 /$$

to przyjętą postać opisu modelu można uważać za zgodną z wynikami doświadczalnymi. W przeciwnym przypadku w celu poprawy zgodności funkcji regresji z danymi doświadczalnymi należy dokonać zmian opisanych w rozdziale 3.2.

3.5 Wybór punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym

Ze względu na ograniczoną znajomość charakterystyki rzeczywistego obiektu dla eksperymentatora proponuje się przyjęcie sekwencyjnego, quasirównomiernego rozkładu punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym. Jak wykazał H. Steinhaus [64] największą równomierność rozkładu punktów pomiarowych można uzyskać biorąc za podstawę podziału liczby:

- złotą $Z = \frac{1}{2} \{ \sqrt{5} - 1 \} \approx 0,61803399 \quad / 3.5-1 /$

lub

- srebrną $S = \frac{1}{2} \{ 3 - \sqrt{5} \} \approx 0,38196601 \quad / 3.5-2 /$

Dla obszaru eksperymentalnego D_u w postaci kostki

$$U_{a,i} \leq u_i < U_{z,i}$$

/gdzie i jest numerem składowej wektora wielkości wejściowych $i=1,2,\dots,5$ / generacja wartości i -tej składowej wektora wielkości wejściowych obiektu w n -tym kroku pomiarowym dokonywana jest według zależności:

$$u_{i,n} = U_{a,i} + (U_{z,i} - U_{a,i}) \cdot \left\{ \left(n \cdot z + \frac{u_i^* - U_{a,i}}{U_{z,i} - U_{a,i}} \right) - E \left(n \cdot z + \frac{u_i^* - U_{a,i}}{U_{z,i} - U_{a,i}} \right) \right\} \quad / 3.5-3 /$$

lub

$$u_{i,n} = U_{z,i} - (U_{z,i} - U_{a,i}) \cdot \left\{ \left(n \cdot s + \frac{U_{z,i} - u_i^*}{U_{z,i} - U_{a,i}} \right) - E \left(n \cdot s + \frac{U_{z,i} - u_i^*}{U_{z,i} - U_{a,i}} \right) \right\} \quad / 3.5-4 /$$

gdzie: u_i^* - jest wartością i -tej składowej wektora wielkości wejściowych obiektu od której rozpoczyna się rozmieszczanie punktów pomiarowych,

$$U_{a,i} \leq u_i^* \leq U_{z,i} \quad / 3.5-5 /$$

E - jest operatorem entier.

Istnieje również możliwość wykorzystania generatorów liczb pseudolosowych o rozkładzie równomiernym [46], [47] do wyznaczania wartości $u_{i,n}$. Generatory te jednakże dają rozkład wystarczająco równomierny tylko dla długiego ciągu generowanych wartości. Zatem przy małej liczbie punktów pomiarowych mogą wystąpić zagęszczenia punktów pomiarowych w pewnych przedziałach obszaru eksperymentalnego, co w przedstawionym algorytmie jest niepożądane.

4. Stanowisko pomiarowe Analizator Elektronicznych Sieci Stałoprądowych - struktura hardware'owa

Analizator elektronicznych sieci stałoprądowych wchodzi w skład laboratoryjnego systemu pomiarowego SPES-M, współpracującego z minikomputerem MERA-302, skonstruowanego w IME.

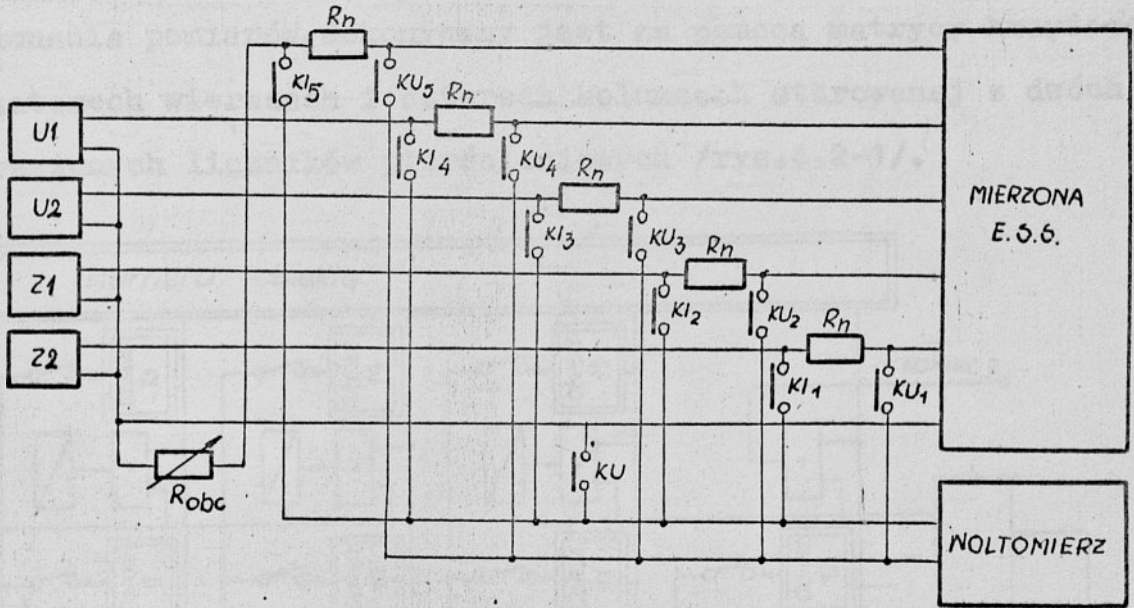
Jest urządzeniem służącym do automatycznego wyznaczania metodą regresyjną modeli metrologicznych statycznych elementów i układów elektronicznych. Brak doświadczenia w dziedzinie konstruowania systemów pomiarowych współpracujących z maszynami cyfrowymi, bogaty zbiór problemów konstrukcyjnych koniecznych do rozwiązania, ograniczone możliwości wykonawcze spowodowały, że postawiono sobie za cel skonstruowanie urządzenia, które nie posiada ekstremalnych parametrów metrologicznych pozwala jednak na doświadczalne sprawdzenie opisanej w rozdziale 3 metodyki modelowania. Przewidziano możliwość poprawy parametrów metrologicznych analizatora poprzez późniejsze dokonstruowanie i wymianę poszczególnych bloków urządzenia, w tym celu całość analizatora wykonano na zunifikowanych, wymiennych płytkach drukowanych.

4.1 Klasa modelowanych sieci

Analizator elektronicznych sieci stałoprądowych pozwala na wykonywanie pomiarów modeli: stacjonarnych, bezhisterezowych elementów i struktur elektronicznych czynnych i biernych, liniowych i nieliniowych o maksymalnie sześciu wyprowadzeniach /rys.4.1-1/. Poszczególnym wyprowadzeniom przypisano następujące funkcje:

- zasilanie dodatnim napięciem polaryzującym ze źródła Z_1 ,
- zasilanie ujemnym napięciem polaryzującym ze źródła Z_2 ,
- podawanie prądowego lub napięciowego sygnału wejściowego ze źródła u_1 ,
- podawanie prądowego lub napięciowego sygnału wejściowego ze źródła u_2 ,

- wyprowadzenie z modelowanej sieci do układu pomiarowego napięcia lub prądu wyjściowego obiektu,
- masa układu.



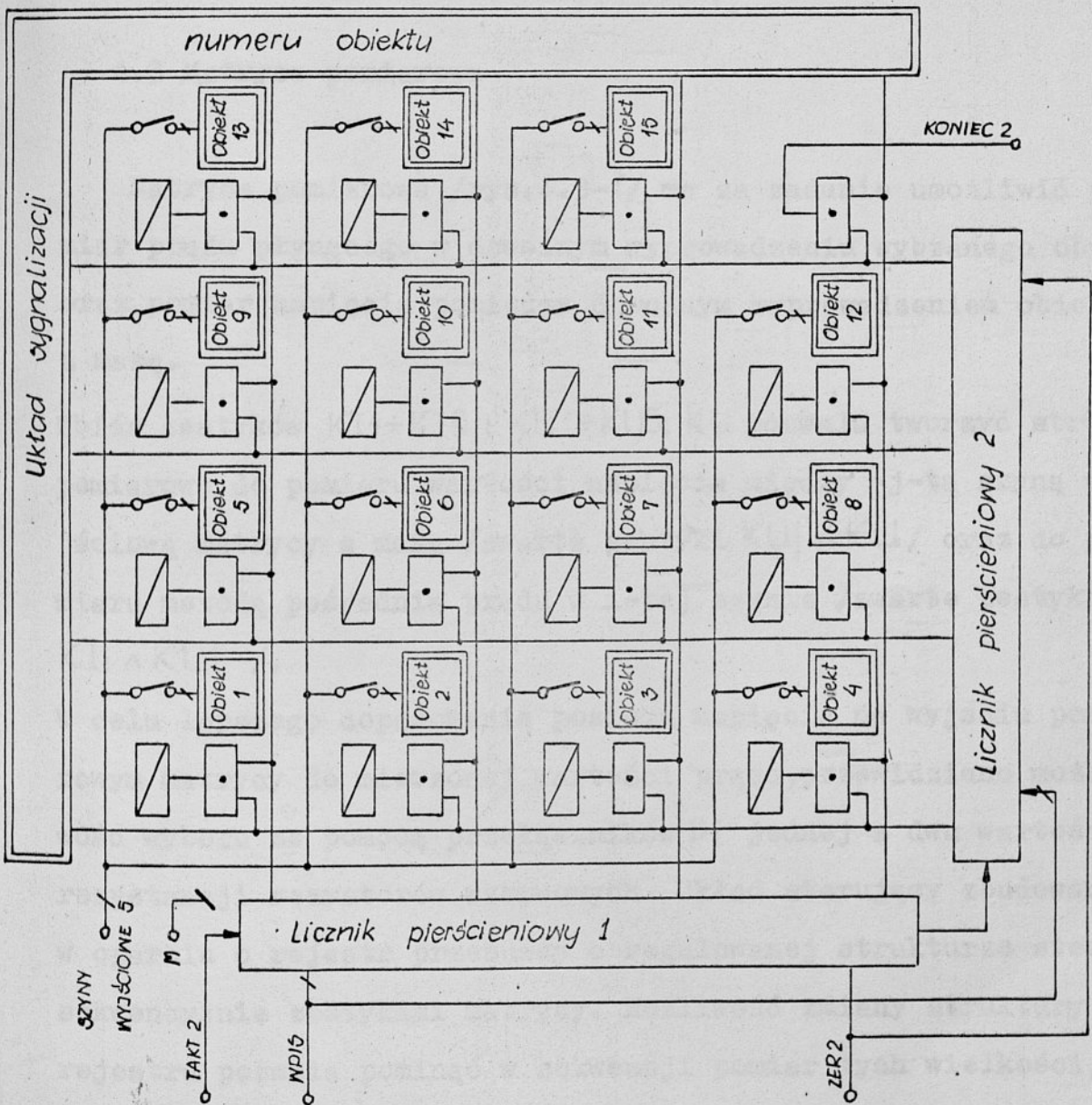
Rys.4.1-1 Zasada wykonywania pomiarów w stanowisku AESS.

Klasa badanych sieci obejmuje więc: diody, tranzystory, bramki logiczne, wzmacniacze operacyjne, komparatory, regulatory napięcia, przetworniki pomiarowe, przetworniki linearyzujące i inne struktury elektroniczne pracujące w zakresie napięć i prądów ograniczonych parametrami źródeł napięć i prądów wejściowych oraz źródeł zasilających.

Możliwość jednoczesnego dołączenia do AESS piętnastoelementowej próby badanych sieci pozwala na pomiar modeli metrologicznych odzwierciedlających statystycznie właściwości populacji tych sieci.

4.2 Matryca krzyżowa

Wybór pojedynczej sieci z piętnastoelementowej próby w celu wykonania pomiarów, dokonywany jest za pomocą matrycy krzyżowej o czterech wierszach i czterech kolumnach sterowanej z dwóch sprzężonych liczników pierścieniowych /rys.4.2-1/.



Rys.4.2-1 Schemat blokowo-funkcyjny matrycy krzyżowej.

Zawartość liczników można zmieniać sekwencyjnie impulsami z wejścia TAKT2 lub poprzez zadanie na wejście WPIS sygnału określającego numer obiektu. Zakończenie sekwencyjnego wyboru obiektu sygnalizowane jest na wyjściu oznaczonym KONIEC2. Napięcia zasilające, napięcia i prądy wejściowe, wielkości będące odpowiedzią wybranej sieci stałoprądowej przesyłane są drogą: obiekt - zestyki przełączające - SZYNY WYJŚCIOWE matrycy.

4.3 Matryca pomiarowa

Matryca pomiarowa /rys.4.3-1/ ma za zadanie umożliwić pomiar prądu płynącego w dowolnym wyprowadzeniu wybranego obiektu oraz pomiar napięcia pomiędzy dowolnym wyprowadzeniem obiektu a masą.

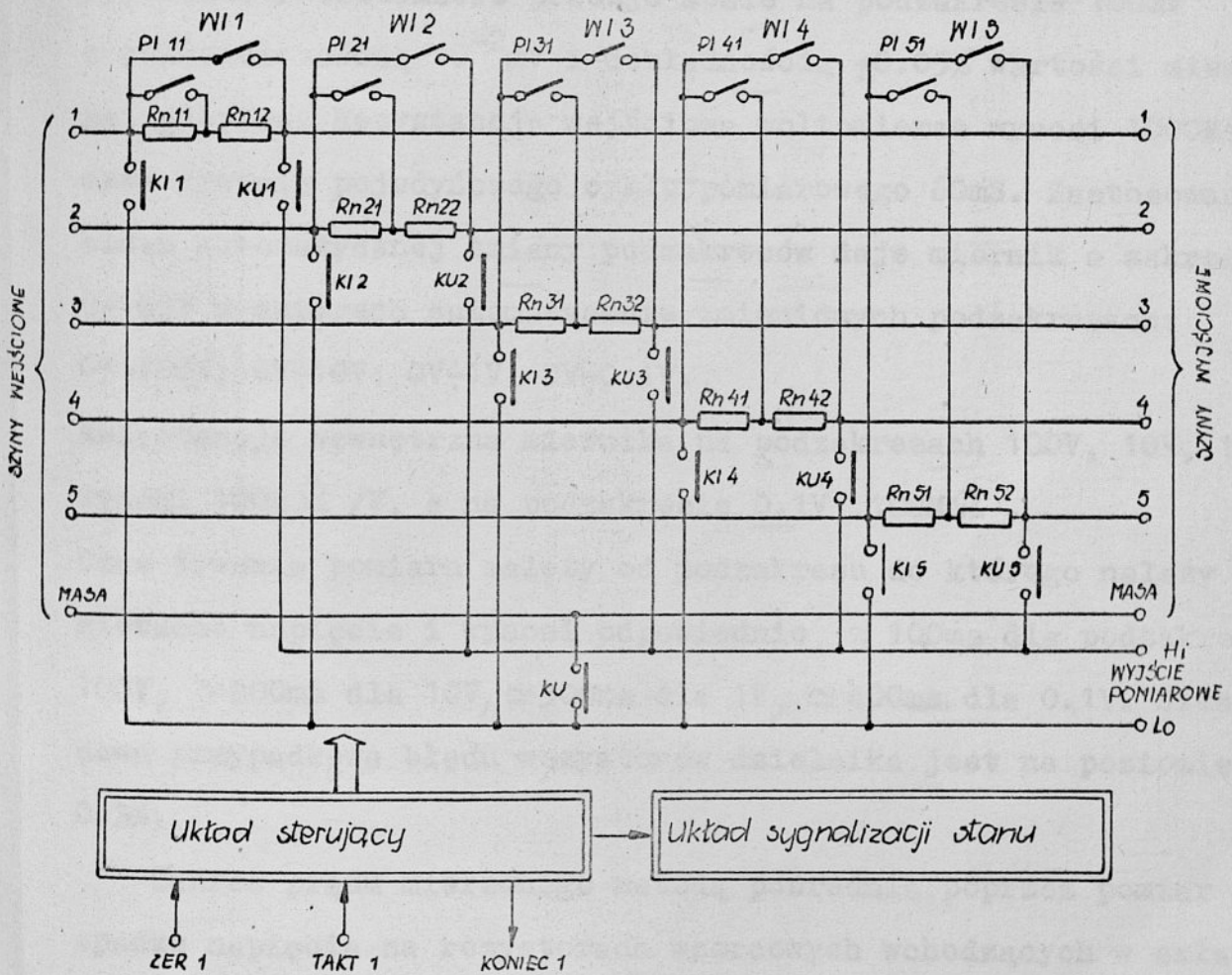
Zbiór zestyków $KI1 \div KI5$; $KU1 \div KU5$; KU pozwala tworzyć struktury pomiarowe do pomiaru wartości napięcia między j -tą szyną wyjściową matrycy a masą /zwarte zestyki $KU_j \wedge KU$ / oraz do pomiaru metodą pośrednią prądu w i -tej szynie /zwarte zestyki $KI_i \wedge KU_i$ /.

W celu lepszego dopasowania poziomu napięcia na wyjściu pomiarowym matrycy do mierzonej wartości prądu, przewidziano możliwość wyboru za pomocą przełączników DI jednej z dwu wartości rezystancji rezystorów wzorcowych. Układ sterujący zbudowany w oparciu o rejestr przesuwany o regulowanej strukturze steruje sekwencyjnie zestykami matrycy. Możliwość zmiany struktury rejestru pozwala pominąć w sekwencji pomiar tych wielkości, znajomość wartości których nie jest potrzebna w procesie wyzna-

czania modelu metrologicznego badanej sieci. Zakończenie każdej sekwencji pomiarów sygnalizowane jest na wyjściu KONIEC2.

Przełączniki WI1-WI5 wyłączają rezystory wzorcowe z obwodu pomiarowego w przypadku rezygnacji z pomiaru prądu w odpowiadającej im szynie.

Blok sygnalizacji stanu matrycy informuje jakiej mierzonej wielkości fizycznej odpowiada zespół aktualnie zwartych zestyków.



Rys.4.3-1 Schemat blokowo-funkcyjny matrycy pomiarowej.

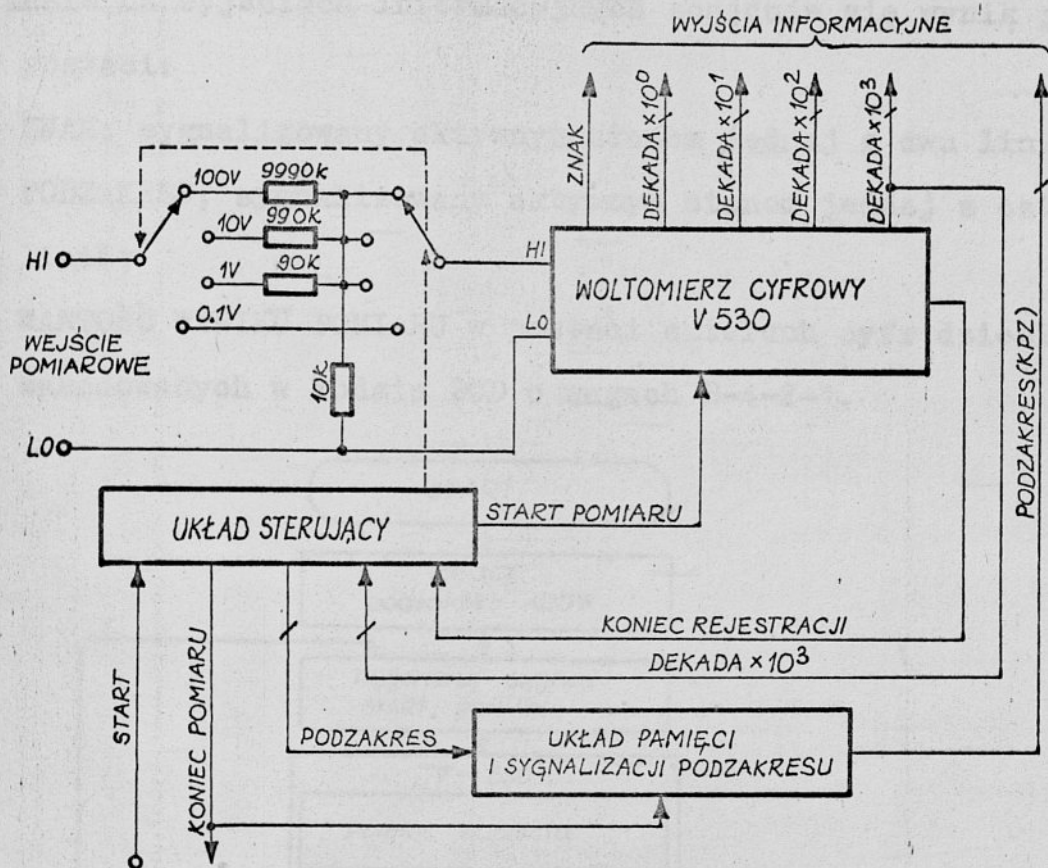
4.4 Miernik napięcia analizatora elektronicznych sieci stałoprądowych

Jedynym przyrządem wskazującym wartości wielkości mierzonych zastosowanym w AESS jest fabryczny woltomierz cyfrowy z podwójnym całkowaniem typu V-530. Woltomierz ten nie posiada programowanej ani automatycznej możliwości zmiany podzakresów. W celu usunięcia tej niedogodności skonstruowano blok automatycznej zmiany podzakresów. W układzie ze wspomnianym blokiem /rys.4.4-1/ woltomierz pracuje stale na podzakresie 100mV z rozdzielczością 10^{-2} mV i dokładnością $\pm 0.05\%$ wartości mierzonej ± 1 cyfra. Rezystancja wejściowa woltomierza wynosi $1000M\Omega$, czas trwania pojedynczego cyklu pomiarowego 60ms. Zastosowanie bloku automatycznej zmiany podzakresów daje miernik o zakresie 0÷100V w czterech automatycznie zmienianych podzakresach: 0V÷100V; 0V÷10V; 0V÷1V; 0V÷0.1V.

Rezystancja wewnętrzna miernika na podzakresach 100V, 10V, 1V wynosi $100k\Omega/V$, a na podzakresie 0.1V $100M\Omega$.

Czas trwania pomiaru zależy od podzakresu do którego należy mierzone napięcie i wynosi odpowiednio $\approx 100ms$ dla podzakresu 100V, $\approx 200ms$ dla 10V, $\approx 300ms$ dla 1V, $\approx 400ms$ dla 0.1V. Składowa przypadkowa błędu rezystorów dzielnika jest na poziomie 0.3%.

Zakres prądu mierzonego metodą pośrednią, poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorach wzorcowych wchodzących w skład matrycy pomiarowej, wynosi 100mA.

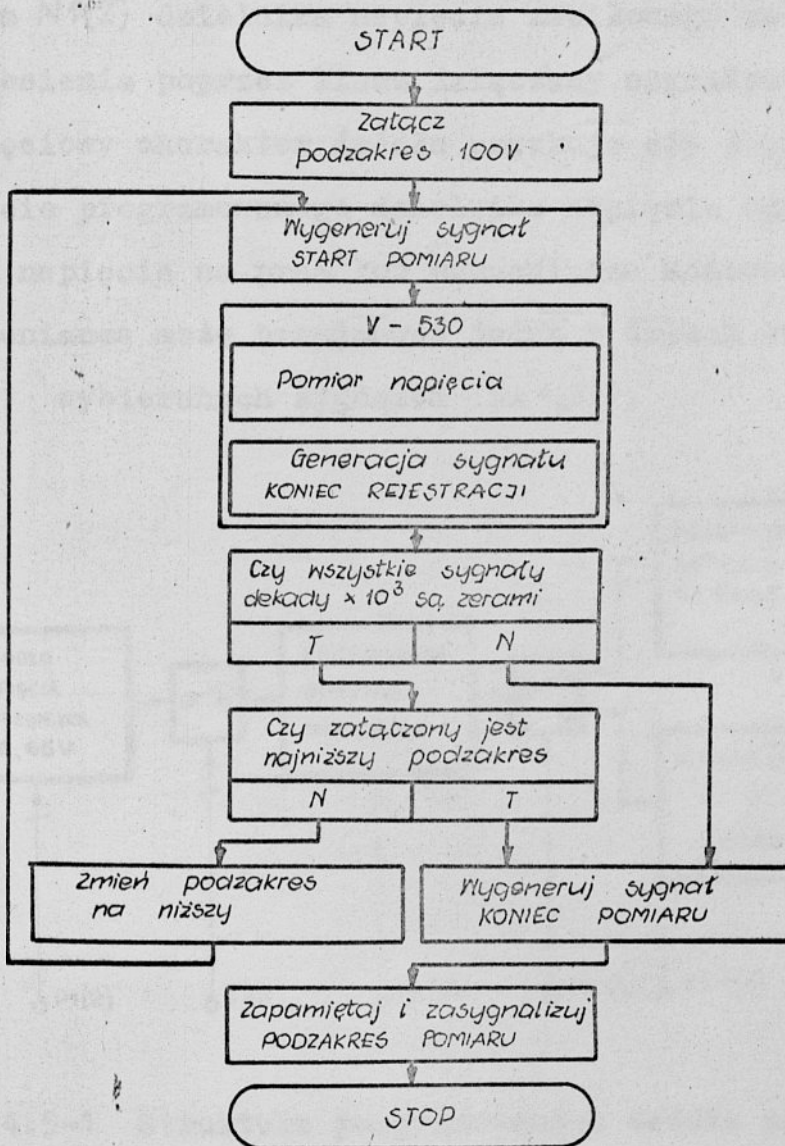


Rys.4.4-1 Schemat blokowo funkcjonalny miernika napięcia stanowiska AESS.

Całością miernika napięcia steruje w myśl algorytmu przedstawionego na /rys.4.4-2/ układ sterujący, zbudowany w oparciu o rejestr przesuwany. Proces pomiaru napięcia rozpoczyna się od podzakresu 100V i po każdej zmianie podzakresu jest powtarzany do chwili kiedy stan najstarszej dekady woltomierza V-530 jest różny od zera lub kiedy załączony został najniższy podzakres dzielnika. Zakończenie procesu pomiarowego jest sygnalizowane na wyjściu KONIEC POMIARU układu sterującego, w tym

czasie na wyjściach informacyjnych znajduje się wynik pomiaru w postaci:

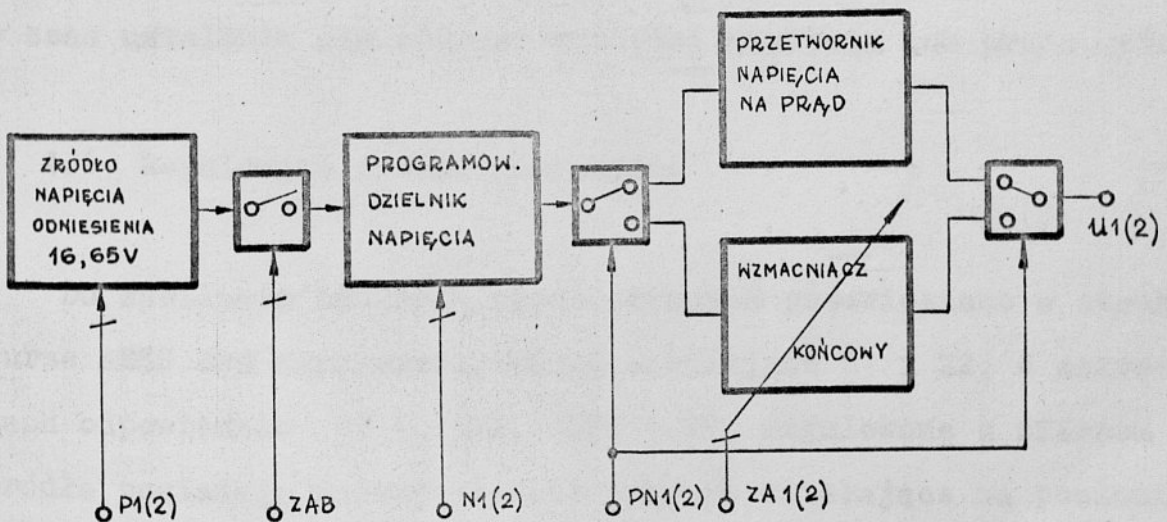
- ZNAK; sygnalizowany aktywnym stanem jednej z dwu linii;
- PODZAKRES; sygnalizowany aktywnym stanem jednej z czterech linii;
- WARTOŚĆ WYNIKU POMIARU w postaci czterech cyfr dziesiętnych zakodowanych w kodzie BCD o wagach 8-4-2-1.



Rys.4.4-2 Schemat blokowy algorytmu pracy miernika napięcia.

4.5 Programowane źródła wielkości wejściowych obiektu

Dwa identyczne programowane źródła napięcia lub prądu pełnią w strukturze AESS funkcje źródeł wielkości wejściowych dla obiektu. Każde z nich posiada typową powszechnie znaną strukturę /rys.4.5-1/; składa się ze źródła napięcia odniesienia o programowanej sygnałem $P1(2)$ polaryzacji, programowanego sygnałem $N1(2)$ dzielnika napięcia zasilonego ze źródła napięcia odniesienia poprzez klucz załączany sygnałem ZAB. Prądowy lub napięciowy charakter źródła uzyskuje się poprzez załączenie na wyjście programowanego dzielnika napięcia odpowiednio przetwornika napięcia na prąd lub wzmacniacza końcowego. Wzmocnienie wzmacniacza może przyjmować jedną z trzech wartości $x1$, $x0.1$, $x0.01$ wybieranych sygnałem $ZA 1(2)$.



Rys.4.5-1 Struktura programowanego źródła napięcia lub prądu.

Wartość napięcia lub prądu wyjściowego programowana jest w kodzie BCD o wagach 8-4-2-1 w zakresie trzech dekad. Łącznie z możliwością programowania polaryzacji źródła i wartości wzmocnienia wzmacniacza końcowego, daje to następujące parametry źródła:

- zakresy programowanych napięć:

| | | | | |
|-----|-------------|------------|-----------|-------------|
| III | -0.1V ÷ 0V; | 0V ÷ +0.1V | z ziarnem | 10^{-4} V |
| II | -1V ÷ 0V; | 0V ÷ +1V | z ziarnem | 10^{-3} V |
| I | -10V ÷ 0V; | 0V ÷ +10V | z ziarnem | 10^{-2} V |

- zakresy programowanych prądów

- 10mA ÷ 0mA; 0mA ÷ + 10mA z ziarnem 10 μ A,

- wydajność prądowa źródła napięciowego 100mA,

- maksymalne napięcie wyjściowe źródła prądowego 17V,

- błąd odtworzenia zaprogramowanej wartości napięcia lub prądu $\approx 0.2\%$,

- czas ustalenia się zadanej wartości napięcia lub prądu ≈ 1 ms.

4.6 Regulowane źródła zasilające

Do zasilania badanych sieci czynnych przewidziano w strukturze AESS dwa napięciowe źródła zasilające Z1 i Z2, o zakresach odpowiednio 0V ÷ +30V; -30V ÷ 0V, regulowane z ziarnem 1V. Źródła posiadają zabezpieczenie prądowe działające na poziomie 100mA. Dokładność odtworzenia nastawionej wartości napięcia w warunkach laboratoryjnych wynosi $\approx 0.3\%$.

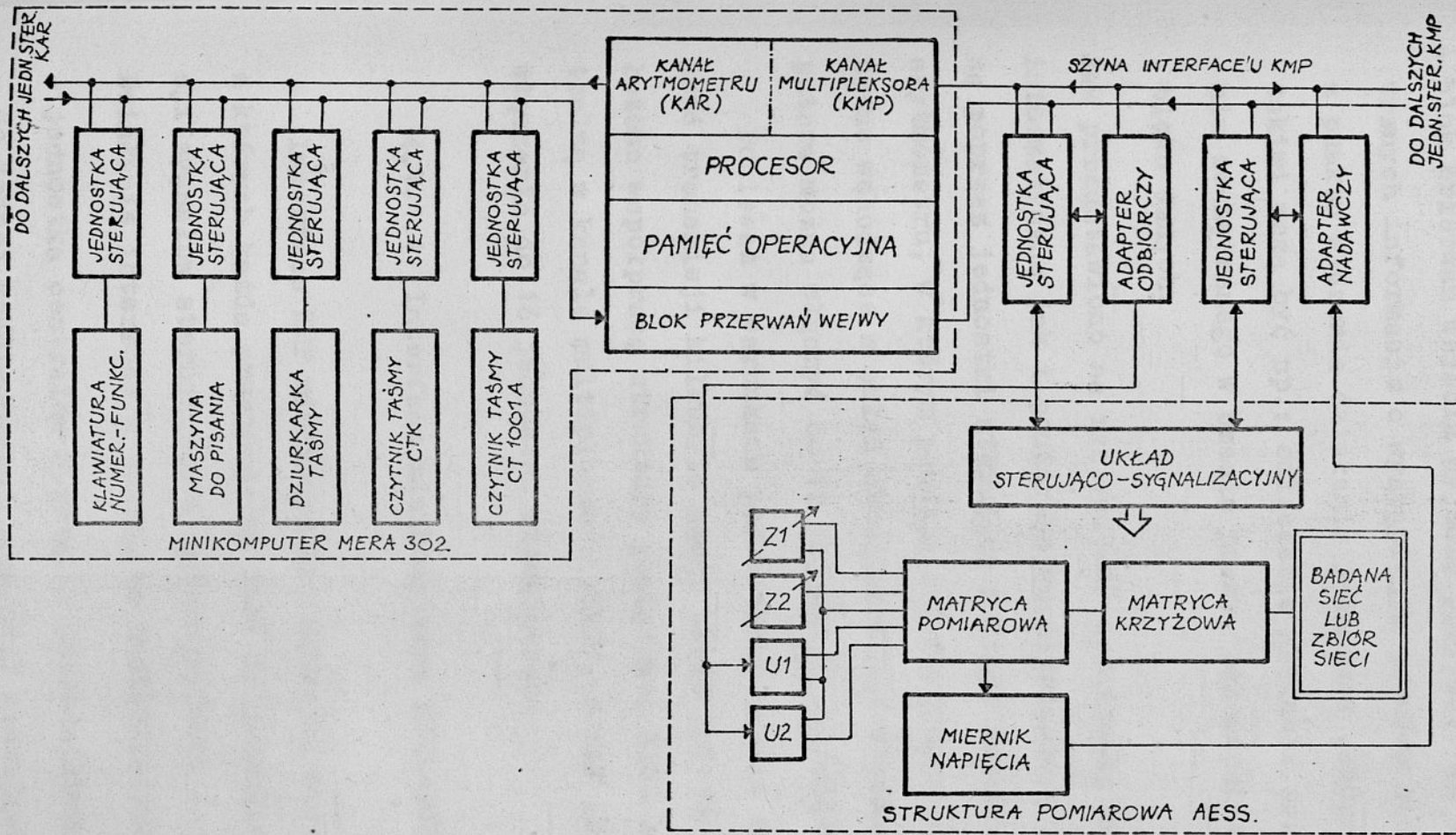
4.7 Struktura sterująca stanowiska AESS

Automatyczna realizacja procedur modelowania metrologicznego wymaga sprzężenia przedstawionych uprzednio elementów struktury pomiarowej z urządzeniem sterującym przebiegiem procesu pomiarowego i przetwarzającym wyniki pomiarów /rys.4.7-1/. W warunkach IME jedynym takim dostępnym urządzeniem jest produkowany przez MERA-ZSM w Warszawie minikomputer MERA-302 [48], [49], [50].

4.7.1 Minikomputer MERA-302

Podstawowymi blokami jednostki centralnej minikomputera MERA-302, istotnymi z punktu widzenia działania AESS są:

- procesor, który wykonuje operacje przetwarzania informacji oraz steruje pracą stanowiska,
- pamięć operacyjna /PAO/, w której przechowywane są rozkazy oraz dane do programów wykonywanych przez procesor, minikomputer zawiera ferrytową pamięć operacyjną o pojemności 8 k-słów ośmio bitowych o czasie cyklu 1,8 μ s
- kanał arytmometru /KAR/ służy do znakowej transmisji informacji /transmisja każdego słowa inicjowana jest indywidualnym rozkazem z /do/ urządzeń zewnętrznych do /z / PAO,
- kanał multipleksora /KMP/ umożliwia blokową transmisję informacji /transmisja wieloelementowego zbioru słów jest inicjowana jednym rozkazem z /do/ urządzeń zewnętrznych do /z / PAO,



Rys.4.7-1 Uproszczona struktura stanowiska AESS.

- blok przerwań wejścia wyjścia przyjmuje od urządzeń zewnętrznych informacje o wystąpieniu pewnych stanów istotnych z punktu widzenia działania jednostki centralnej; sygnałami takimi mogą być np.: odłączenie napięcia zasilania urządzenia zewnętrznego w czasie pracy, zakończenie transmisji bloku danych.

Jak przedstawiono na rys./4.7-1/ urządzenia zewnętrzne zarówno informatyczne jak i pomiarowe współpracują z jednostką centralną poprzez jednostki sterujące i linie interface'u. W kanale arytmometru, w którym pracują informatyczne urządzenia zewnętrzne wchodzące w skład ukończenia standardowego minikomputera można włączyć do 12 jednostek sterujących.

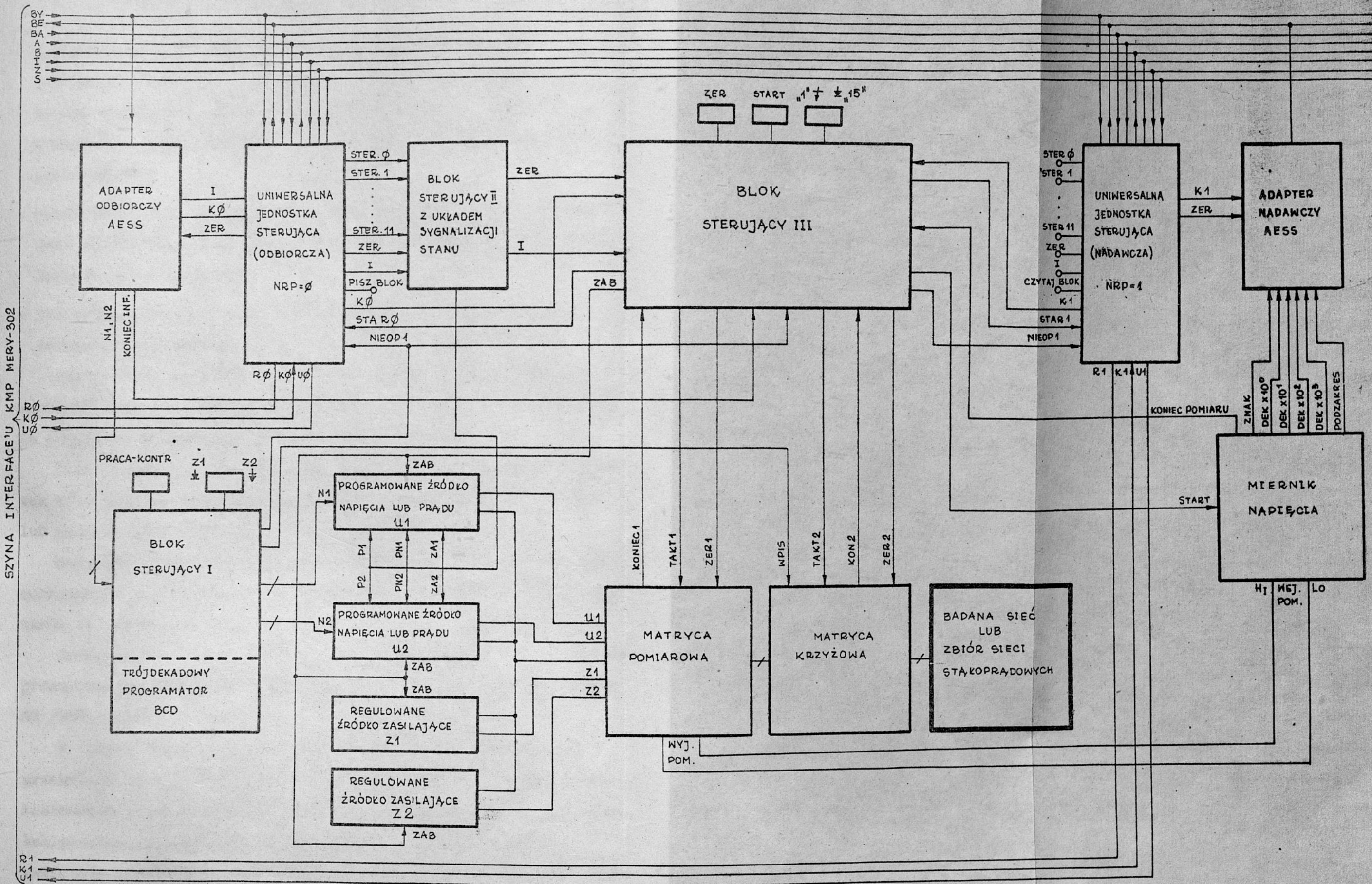
Ponieważ w warunkach pomiarowych zwykle zachodzi konieczność transmisji kilkubytowego bloku informacji, dlatego założono współpracę struktury pomiarowej AESS z jednostką centralną w kanale multipleksora /KMP/. W KMP istnieje możliwość włączenia do 16 jednostek sterujących.

4.7.1.1 Interface minikomputera MERA-302

Interface KMP minikomputera MERA-302 składa się z 28 linii, z których każda przeznaczona jest do jednokierunkowej transmisji sygnałów sterujących i informacyjnych /rys. 4.7-2 /

Działanie interface'u oparto na następujących założeniach:

- jednostka centralna wysyła, za pośrednictwem linii interface'u, do jednej zaadresowanej jednostki sterującej instrukcję wejścia/wyjścia /dodatek A/;



SZYNA INTERFEJSU KMP MERY-302

Rys.4.7-2. Struktura stanowiska AESS.

- zaadresowana jednostka przyjmuje a następnie wykonuje przesłaną instrukcję, która może dotyczyć: sygnalizacji aktualnego stanu urządzenia pomiarowego i jednostki sterującej, sterowania pracą urządzenia pomiarowego, transmisji danych pomiarowych;
- zakończenie transmisji bloku danych pomiarowych sygnalizowane jest wysłaniem z jednostki sterującej do jednostki centralnej impulsu przerwaniowego;
- jednostka sterująca może w dowolnej chwili wysłać sygnał zerowania systemowego.

Ośmiobitową szyną BY /BY \emptyset - BY7/ następuje transmisja zawartości rejestru akumulatora, w postaci instrukcji oraz danych, do jednostki sterującej urządzenia pomiarowego.

Linia A określa typ aktualnie przesyłanej instrukcji /dodatek A/ i posiada stan aktywny jeżeli instrukcja jest typu PISZ lub pasywny gdy instrukcja jest typu CZYTAJ.

Zadaniem czterobitowej szyny adresowej BA /BA \emptyset - BA3/ jest adresowanie jednostek sterujących w KAR, w kanale multipleksora szyną tą przesyłany jest sygnał identyfikujący KMP /dodatek A/.

Informacje o stanie jednostki sterującej oraz dane pomiarowe przesyłane są do PAO minikomputera za pomocą ośmiobitowej szyny BE /BE \emptyset - BE7/.

W czasie wykonywania instrukcji wejścia-wyjścia linią B przesyłana jest do jednostki centralnej informacja o przyjęciu instrukcji przez jednostkę sterującą lub jej odrzuceniu na skutek: pewnych szczególnych sytuacji odzwierciedlanych przez zawartość rejestru stanu jednostki sterującej, wykonywanie przez nią transmisji informacji itp./.

Linia S jednostka centralna sygnalizuje jednostce sterującej transmisję ostatniego słowa bloku danych.

Transmisja poszczególnych słów z bloku danych, jak i wszystkich instrukcji sterujących, jest strobowana impulsami przesyłanymi linią I.

Opisane dotychczas linie są wspólne /typu "bus"/ dla wszystkich jednostek sterujących KMP. Interface minikomputera MERA-302 zawiera również linie indywidualne do każdej jednostki sterującej. Należą do nich:

- linia R_i , po której wysyłany jest sygnał zgłoszenia gotowości i -tej jednostki sterującej do transmisji informacji;
- linia K_i , po której jednostka centralna przesyła zwrotnie impulsy powodujące transmisję kolejnych znaków z bloku danych;
- linia U_i , po której przesyłane są impulsy przerwaniowe z jednostki sterującej do jednostki centralnej.

Przytoczone wiadomości o strukturze hardware'owej minikomputera MERA-302 wskazują, że nadaje się on do sterowania procesem pomiarowym, natomiast ze względu na małą pojemność pamięci można oczekiwać pewnych trudności w dziedzinie przetwarzania danych pomiarowych.

4.7.1.2 Jednostki sterujące

W Zakładzie Podstawowych Problemów Metrologii Instytutu Metrologii Elektrycznej opracowano i wykonano uniwersalną jednostkę do współpracy różnego rodzaju cyfrowej aparatury pomia-

rowej z minikomputerem MERA-302 w KMP.

Szczegółowe informacje dotyczące jej struktury blokowej, funkcjonalnej i ideowej znajdują się w pracach [48], [49]. W dalszym ciągu ograniczono się tylko do określenia funkcji jednostki sterującej w strukturze minikomputer - przyrząd pomiarowy. W AESS zastosowano dwie jednakowe jednostki sterujące pracujące odpowiednio w podkanale \emptyset i 1 kanału multipleksora.

Jednostka pracująca w podkanale \emptyset współdziała w procesie transmisji z PAO do adaptera odbiorczego bloku danych o wartościach nastaw N1 i N2 źródeł programowanych Z1, Z2 /rys.4.7-3/, /rys.4.7-4/.

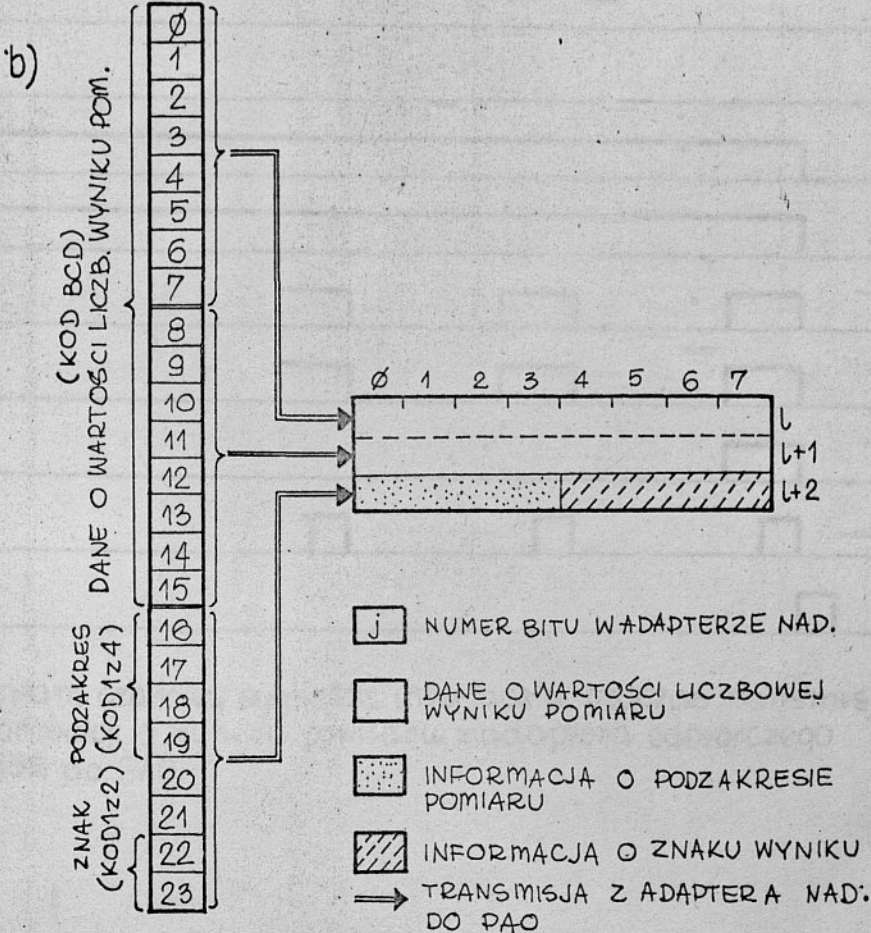
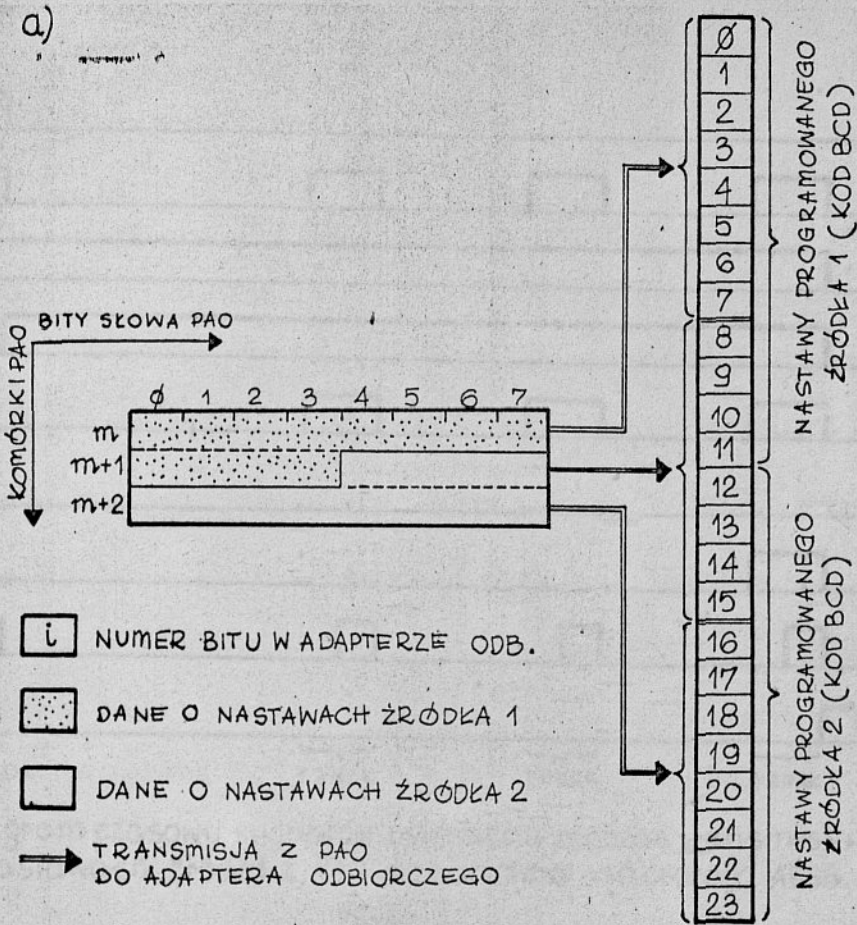
Ponadto odbiera i dekoduje 12 instrukcji sterujących /dodatek A/, które powodują wykonanie w strukturze pomiarowej AESS następujących operacji względem:

- programowanego źródła napięcia lub prądu U1

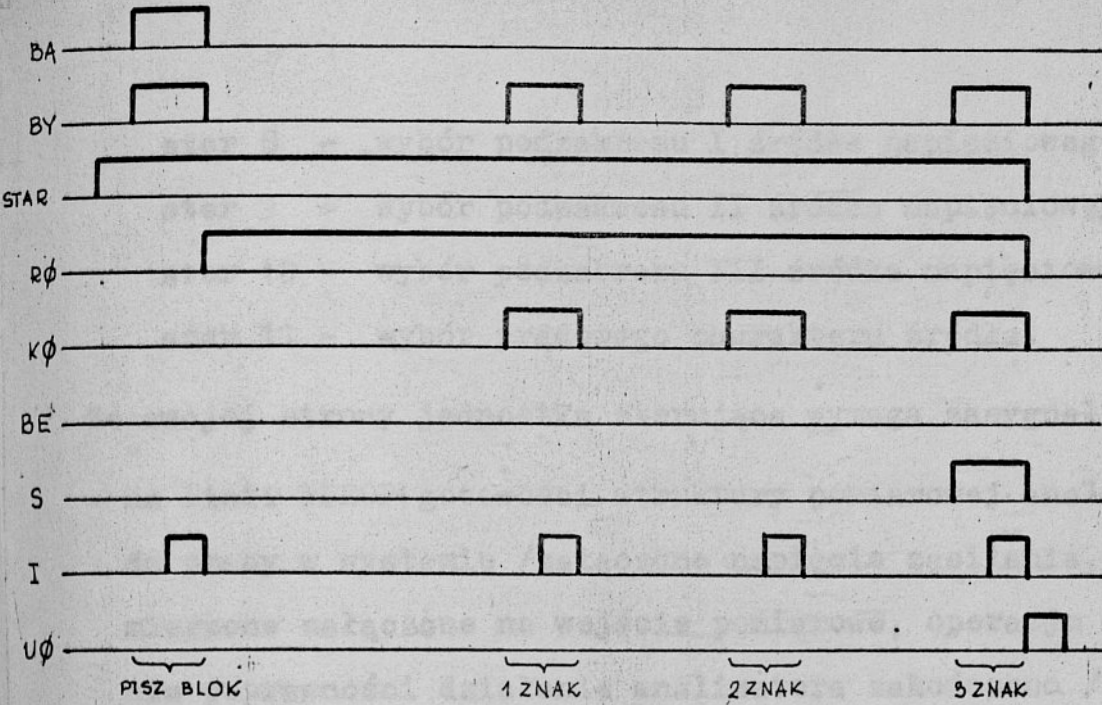
- ster \emptyset - wybór dodatniej polaryzacji źródła napięcia odniesienia,
- ster 1 - wybór ujemnej polaryzacji źródła napięcia odniesienia,
- ster 2 - wybór podzakresu I źródła napięciowego,
- ster 3 - wybór podzakresu II źródła napięciowego,
- ster 4 - wybór podzakresu III źródła napięciowego,
- ster 5 - wybór prądowego charakteru źródła;

- programowanego źródła napięcia lub prądu U2

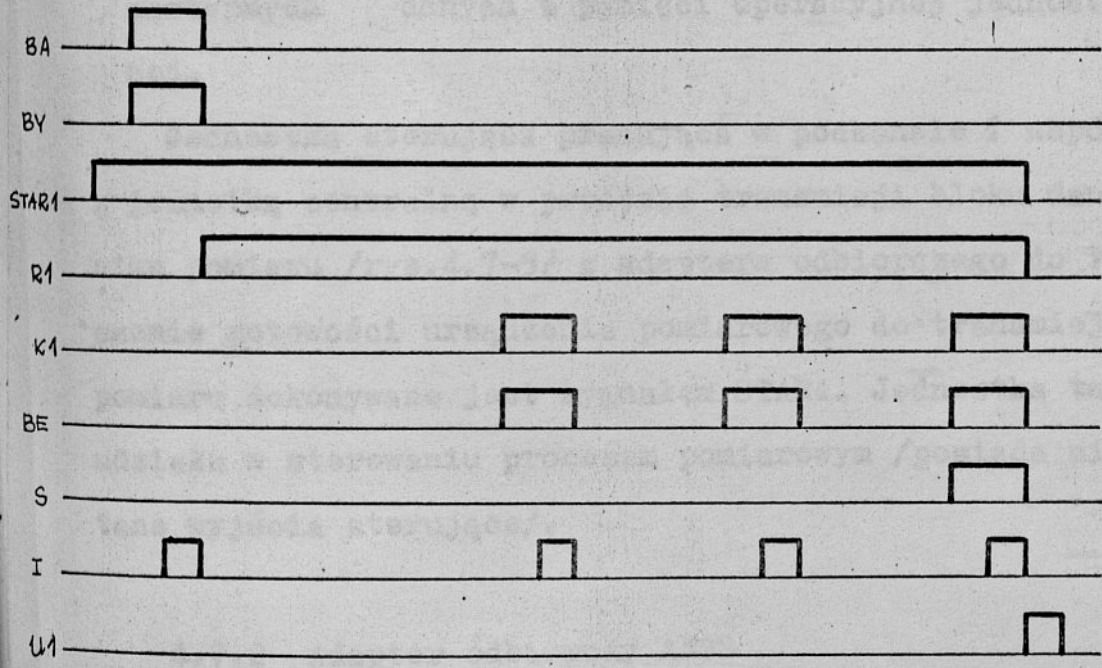
- ster 6 - wybór dodatniej polaryzacji źródła napięcia odniesienia,
- ster 7 - wybór ujemnej polaryzacji źródła napięcia odniesienia,



Rys.4.7-3 Struktura bloku danych: a/ o nastawach źródeł b/ o wyniku pomiaru



Rys.4.7-4 Diagram czasowy sygnałów interfejsu podczas transmisji informacji o nastawach źródeł z PAO do adaptera odbiorczego AESS.



Rys.4.7-5 Diagram czasowy sygnałów interfejsu podczas transmisji informacji o wyniku pomiaru z adaptera odbiorczego AESS do PAO.

- ster 8 - wybór podzakresu I źródła napięciowego,
- ster 9 - wybór podzakresu II źródła napięciowego,
- ster 10 - wybór podzakresu III źródła napięciowego,
- ster 11 - wybór prądowego charakteru źródła.

Ze swojej strony jednostka sterująca wymaga zasygnalizowania:

- na linii NIEOP1 gotowości struktury pomiarowej analizatora do pracy w systemie /załączone napięcie zasilania, obiekty mierzone załączone na wejście pomiarowe, operacja sprawdzenia poprawności działania analizatora zakończona /,
- na linii STAR0 gotowości struktury pomiarowej do przyjęcia następných danych z pamięci operacyjnej jednostki centralnej.

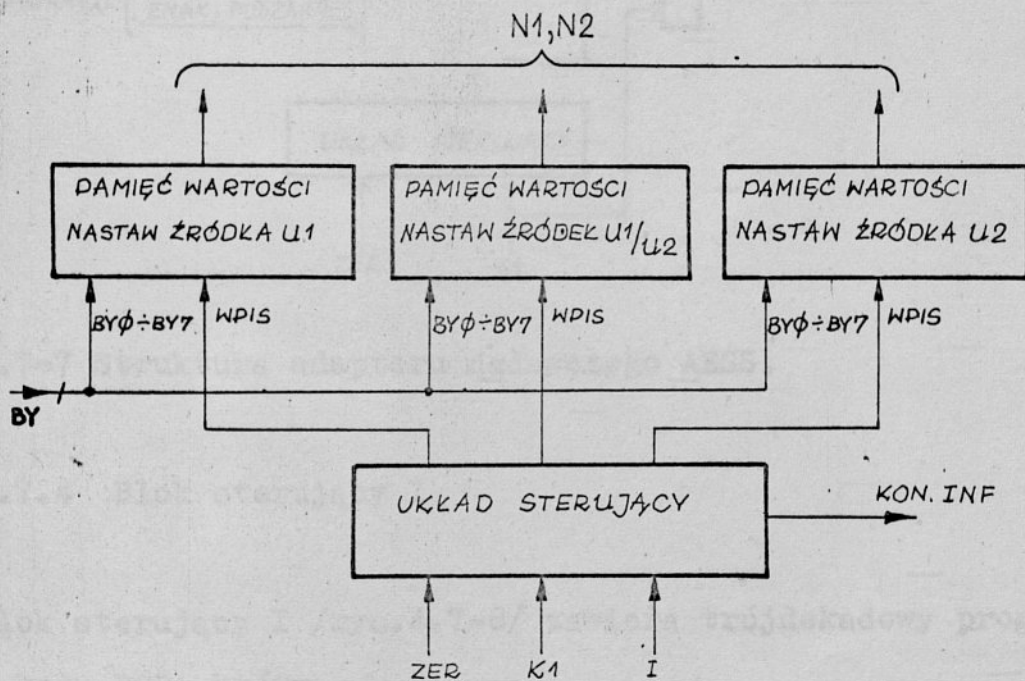
Jednostka sterująca pracująca w podkanale 1 współdziała z jednostką centralną w procesie transmisji bloku danych o wyniku pomiaru /rys.4.7-5/ z adaptera odbiorczego do PAO. Zgłoszenie gotowości urządzenia pomiarowego do transmisji wyniku pomiaru dokonywane jest sygnałem STAR1. Jednostka ta nie bierze udziału w sterowaniu procesem pomiarowym /posiada niewykorzystane wyjścia sterujące/.

4.7.2 Adapter odbiorczy AESS

W przeciwieństwie do jednostek sterujących adapter odbiorczy jest urządzeniem wyspecjalizowanym do pracy z AESS. Jego zadanie polega na zamianie szeregowej struktury trzech kolejnych słów informacji tworzących blok na strukturę równoległą z jednoczesnym ich zapamiętaniem na czas trwania pomiarów /rys.4.7-3a/.

Układ blokowy adaptera /rys.4.7-6/ zawiera trzy ośmiobitowe komórki pamięci, których wejścia informacyjne sprzęgnięte są z szyną BY interface'u. Impulsy wpisujące informacje z linii BY do kolejnych komórek pamięci generuje układ sterujący zbudowany na bazie rejestru przesuwanego.

Zakończenie procesu wpisywania sygnalizowane jest na wyjściu KONIEC INFORMACJI.



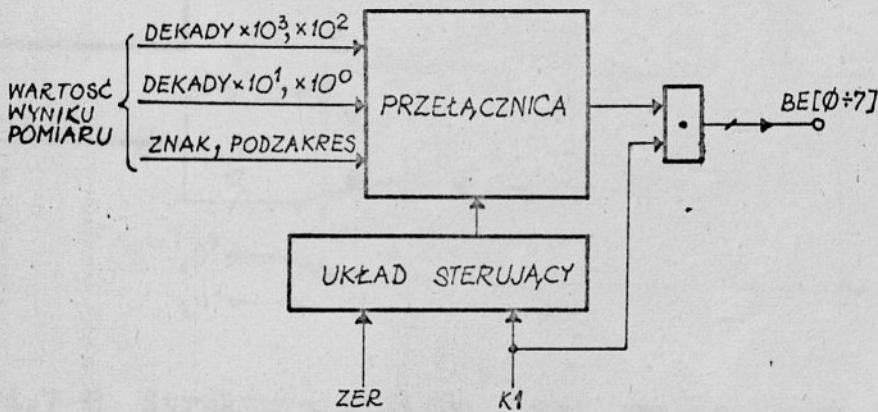
Rys.4.7-6 Struktura blokowa adapteru odbiorczegoAESS.

Podstawą do działania układu sterującego są sygnały z linii K0, I interface'u oraz sygnał zerowanie.

4.7.3 Adapter nadawczyAESS

Funkcję zamiany struktury równoległej 24 bitowej informacji o wyniku pomiaru na strukturę szeregową /rys.4.7-3b/, składającą się z trzech słów 8-bitowych, realizuje adapter nadawczy

/rys.4.7-7/. Układ sterujący adaptera nadawczego, podobnie jak i odbiorczego, skonstruowany jest w oparciu o rejestr przesuwny sterowany sygnałem zerowania oraz impulsami z linii K1, impulsy te ponadto strobuują transmisję informacji na szynę BE interface'u.



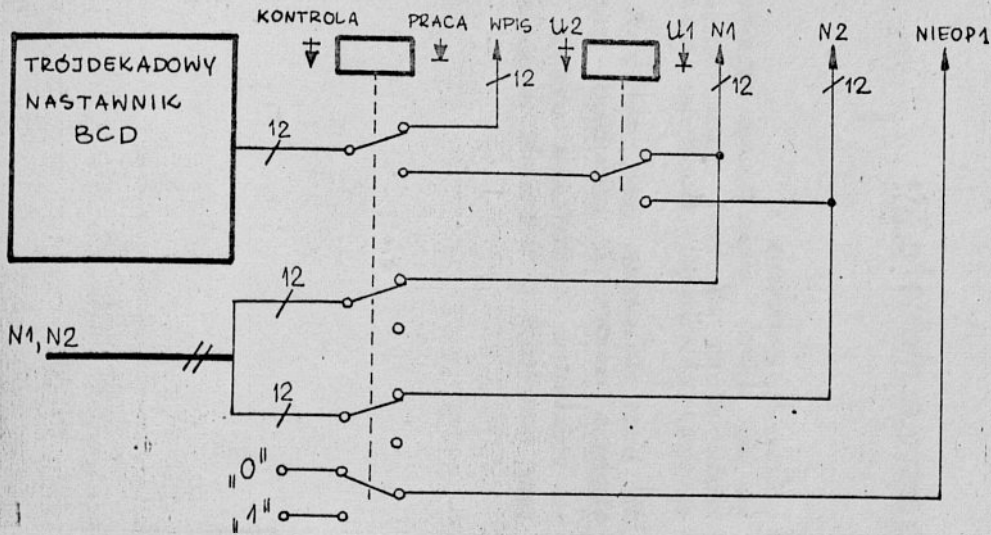
Rys.4.7-7 Struktura adaptera nadawczego AESS.

4.7.4 Blok sterujący I

Blok sterujący I /rys.4.7-8/ zawiera trójdekadowy programator kodu BCD, który:

- podczas kontroli poprawności działania struktury pomiarowej umożliwia ręczne zadawanie wartości nastaw N1 lub N2 źródła programowanego,
- podczas normalnej pracy analizatora, przy wykonywaniu pomiarów na pojedynczym obiekcie, umożliwia wybór /sygnałem WPIS/ szyny wejściowej matrycy pomiarowej, na której załączony jest badany obiekt.

Ponadto w bloku tym generowany jest sygnał nieoperatywności wykorzystywany między innymi przez jednostkę sterującą odbiorczą do sygnalizacji stanu AESS.

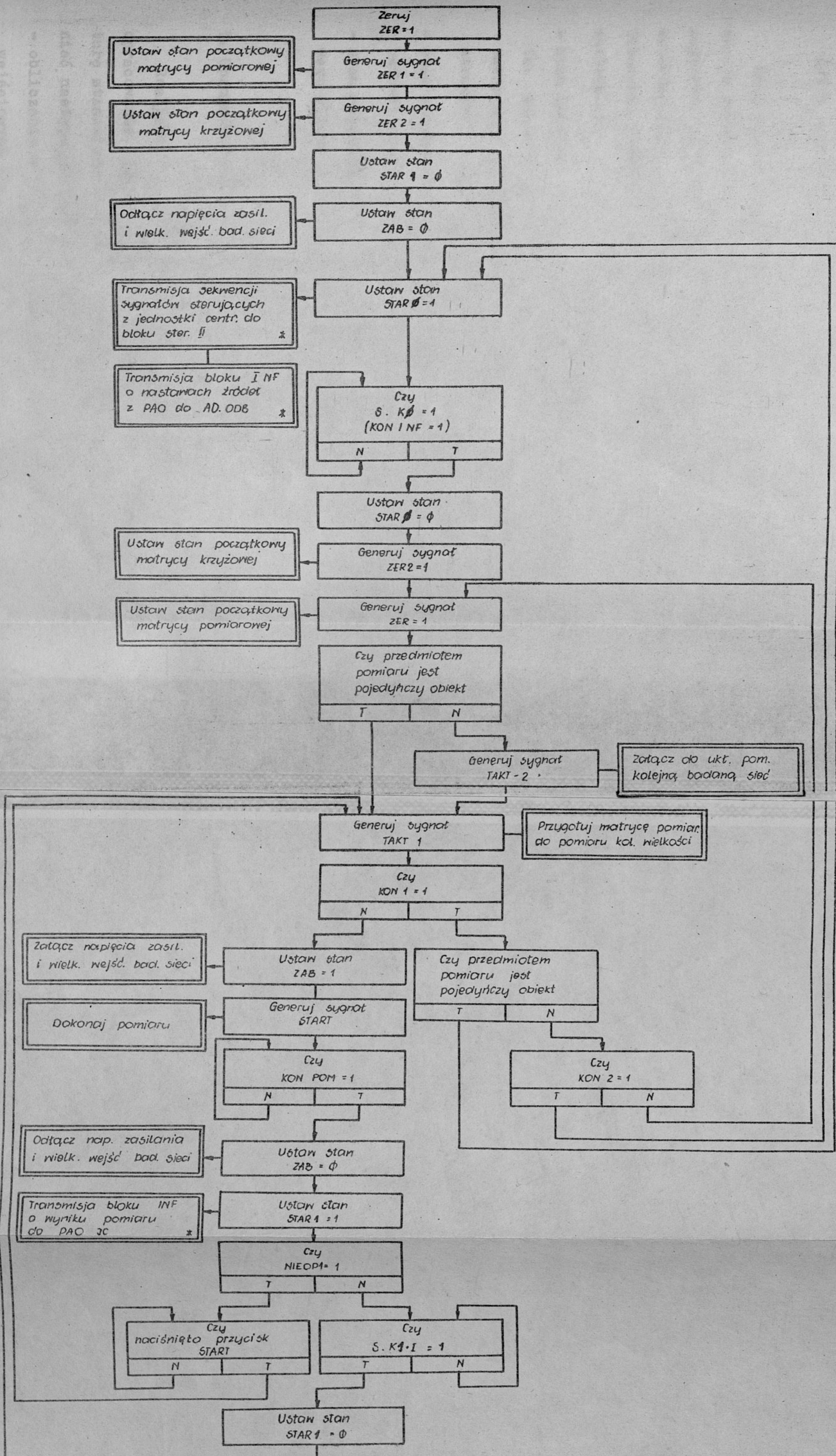


Rys.4.7-8 Struktura blokowo-funkcjonalna bloku sterującego I AESS.

4.7.5 Blok sterujący II

Sygnaly pojawiające się na wyjściach STER0 - STER11 jednostki sterującej odbiorczej są zapamiętywane na czas wykonywania pomiarów w układzie bloku sterującego II.

Sygnaly z wyjść poszczególnych komórek pamięci bloku transmitowane są poprzez elementy /opóźniające/ zabezpieczające przed "hazardem" do wyjść bloku i dalej do układów wykonawczych źródeł programowanych. Dla umożliwienia kontroli poprawności działania eksperymentator jest informowany przez układ sygnalizacyjny o aktualnie odebranej sekwencji instrukcji sterujących.



- Uwagi
- blok sterujący III wykonuje operacje oznaczone na schemacie pojedynczą ramką
 - operacje oznaczone podwójną ramką wykonywane są przez pozostałe bloki struktury AES3
 - kontrolę poprawności działania urządzenia przeprowadza się przy stanie NIEOP1=1; nie są wtedy wykonywane operacje transmisji oznaczone *

Rys.4.7-9 Schemat blokowy algorytmu działania bloku sterującego III.

4.7.6 Blok sterujący III

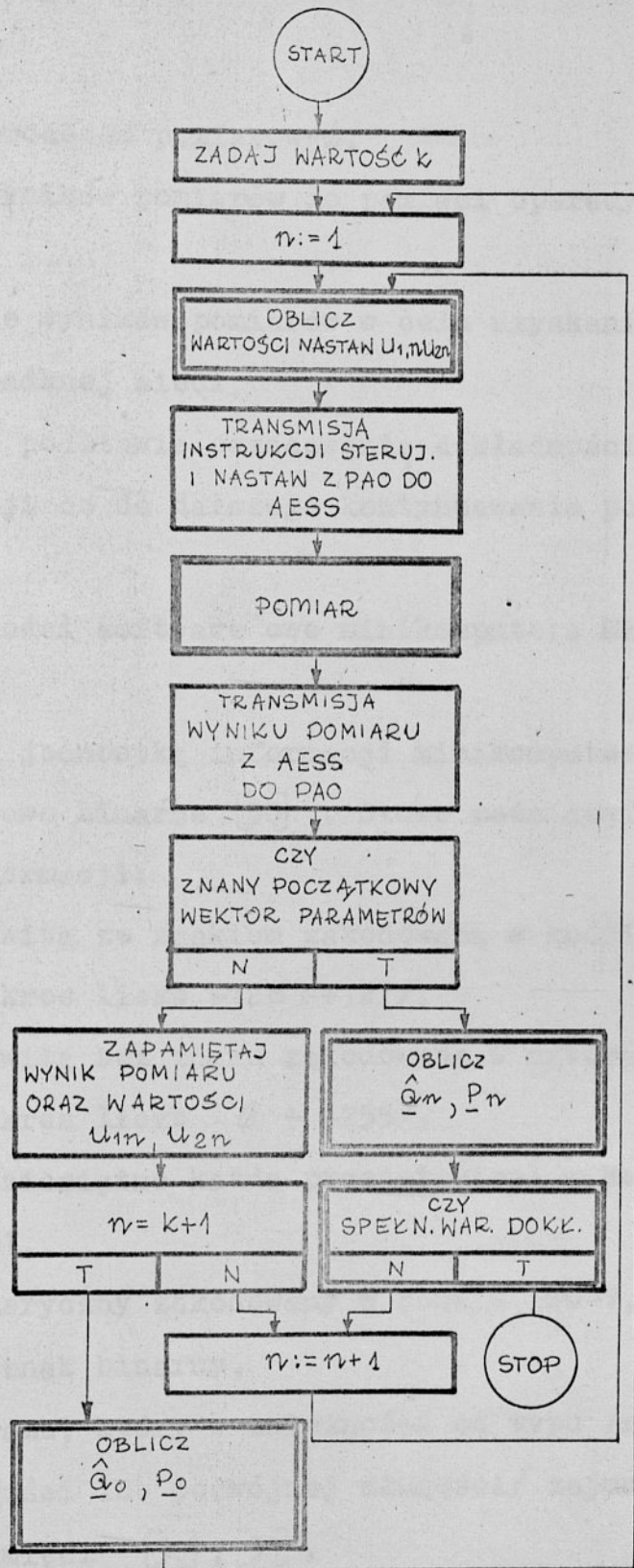
Rolę nadrzędną w koordynacji działania poszczególnych elementów składowych AESS spełnia blok sterujący III /rys.4.7-2/. Algorytm działania tego bloku, uwzględniający podstawowe efekty współdziałania w układach stanowiska, przedstawiono na rys.4.7-9. Struktura bloku sterującego uwzględnia trzy podstawowe stany analizatora:

- stan kontroli poprawności działania, sygnalizowany dla jednostki centralnej sygnałem NIEOP1, podczas którego eksperymentator może krokowo sprawdzić działanie poszczególnych bloków struktury pomiarowej;
- stan automatycznego wykonywania pomiarów dla pojedynczej badanej sieci stałoprądowej;
- stan automatycznego wykonywania pomiarów dla 15-to elementowego zbioru badanych sieci stałoprądowych.

5. Oprogramowanie AESS

Realizacja procesu pomiarowego na stanowisku AESS wymaga opracowania oprogramowania, które ze względu na przyjętą strukturę stanowiska oraz opracowany algorytm regresyjny musi spełniać następujące zadania /rys.5-1/:

- obliczanie w obszarze eksperymentalnym wartości wielkości wejściowych dla obiektu,



Rys.5-1 Schemat blokowy algorytmu pracy AESS, podczas wyznaczania modelu metrologicznego pojedynczej sieci stałoprądowej.

- sterowanie procesem pomiarowym,
- transmisja wyników pomiarów do pamięci operacyjnej minikomputera,
- przetworzenie wyników pomiarów w celu uzyskania modelu metrologicznego badanej sieci,
- podjęcie, na podstawie oszacowania dokładności uzyskanego modelu decyzji co do dalszego kontynuowania pomiarów.

5.1 Możliwości software*owe minikomputera MERA-302

Podstawową jednostką informacji minikomputera MERA-302 jest ósmiobitowe słowo binarne [50]. Słowo może zawierać następujące rodzaje informacji:

- liczbę całkowitą ze znakiem zakodowaną w kodzie uzupełnionym do 2 /zakres liczb $-128 \div +127/$,
- liczbę całkowitą bez znaku zakodowaną w naturalnym kodzie binarnym /zakres liczb $\emptyset \div +255/$,
- dwie cyfry dziesiętne każda przedstawiona w kodzie BCD o wagach 8-4-2-1,
- znak alfanumeryczny zakodowany w kodzie ISO-7,
- ósmiobitowy znak binarny,
- rozkaz programu, który w zależności od typu /rozkaz o pojedynczej długości lub podwójnej długości/ zajmuje jedno lub dwa słowa pamięci [50], [51].

Dla pełności rozważań w tabeli/5.1-1/ zamieszczono porównanie podstawowych parametrów minikomputera MERA-302 z parametrami

popularnych minikomputerów MITRA-15 produkcji CII^{x/} [52]
i PDP11/34 produkcji DEC^{xx/} [53].

TABELA 5.1-1

| | MERA-302 | MITRA 15/30 | PDP 11/34 |
|-------------------------------------|--|--|----------------------------|
| DŁUGOŚĆ SŁOWA MASZYNOWEGO | 8 bitów | 16 bitów | 16 bitów |
| POJEMNOŚĆ PAMIĘCI OPERACYJNEJ | 8k-słów | DO 32 k-słów | DO 32 k-słów |
| LICZBA ROZKAZÓW JĘZYKA WEWNĘTRZNEGO | 32 | 87 | 61 |
| PAMIĘĆ MIKROPROGRAMÓW | W POSIADANYM MINIKOMP. BRAK | JEST (1024 SŁOWA) | JEST |
| ZEWN. PAMIĘĆ DYSKOWA | BRAK | JEST | JEST |
| PAMIĘĆ KASETOWA | BRAK | BRAK | JEST |
| PAMIĘĆ TAŚMOWA | BRAK | JEST | JEST |
| FABRYCZNE TRANSLAT. JĘZYKÓW SYMBOL. | MINIKOMPUTER BIUROWY | MITRAS I, II; LP-15 BASIC; FORTRAN IV | BASIC; COBOL FORTRAN IV |
| Uwagi: | WJME opracowano dla celów pomiarowych translator TSB1 [51] | | |

Dane porównawcze minikomputerów MERA-302, MITRA 15/30, PDP 11/34.

Jak z tej tabeli wynika, oprócz skromnego wyposażenia hardware'owego, podstawową wadą minikomputera jest brak odpowiedniego oprogramowania podstawowego, które posiadałoby zalety języka symbolicznego w programowaniu operacji sterujących pracą urządzenia pomiarowego i procedur obliczeniowych.

x/ Compagne Internationale pour L'Informatique
xx/ Digital Equipment Corporation

Ponieważ celem pracy nie jest opracowanie takiego oprogramowania a adaptacja istniejącego, przeto zagadnienia oprogramowania AESS rozwiązano w oparciu o język wewnętrzny i język symboliczny "komputer biurowy" minikomputera MERA-302.

Język wewnętrzny zadany strukturą hardware'ową minikomputera [50], [51] pozwala na programowanie: operacji logicznych, przesłań, skoku warunkowego, obsługi urządzeń wejścia/wyjścia zarówno w kanale arytmometru jak i kanale multipleksora, obsługi przerwań. W klasie procedur arytmetycznych język wewnętrzny pozwala na bezpośrednią realizację operacji sumy dwóch 8-mio bitowych liczb całkowitych ze znakiem oraz przesunięć arytmetycznych w lewo i w prawo.

Brak pamięci podprogramów uniemożliwia bezpośrednio korzystanie z procedur mnożenia i dzielenia, jak to jest możliwe w przypadku minikomputera MITRA-15 [52] lub PDP-11.

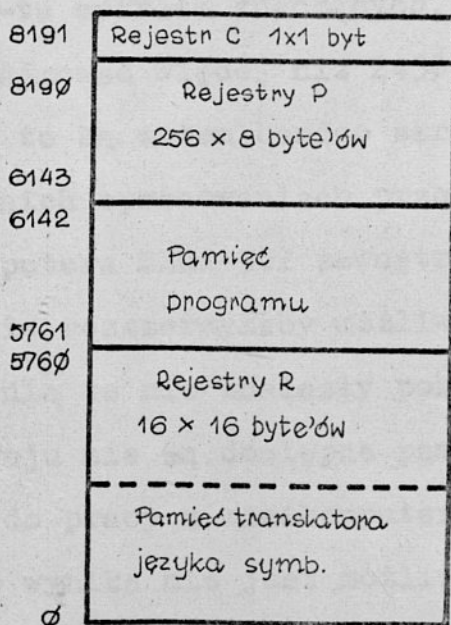
Po uwzględnieniu dużego stopnia złożoności arytmetycznej, jakim charakteryzuje się algorytm regresyjny wyznaczania modeli metrologicznych /rozdział 3/, nasuwa się wniosek o praktycznej nieprzydatności języka wewnętrznego do programowania procedur obliczeniowych tego algorytmu.

Wniosek ten pozostaje aktualny pomimo prób ułatwienia korzystania z języka wewnętrznego jakie poczyniono w IME opracowując translator TSB-1 [51], który tłumaczy zapisane mnemonicznie instrukcje na język wewnętrzny.

Język symboliczny "komputer biurowy", opracowany przez producenta [55] dla celów obliczeniowych, z definicji nie

uwzględnia współpracy jednostki centralnej z urządzeniami pomiarowymi pracującymi w kanale multipleksora. Zatem bez odpowiedniego uzupełnienia nie może być wykorzystany do sterowania pracą AESS. Z drugiej strony zastosowanie minikomputera do realizacji procedur przetwarzania danych pomiarowych limituje mała pojemność pamięci operacyjnej. Pamięć operacyjna przy pracy minikomputera z tłumaczem języka symbolicznego "komputer biurowy" podzielona jest /rys.5.1-1/ na: pamięć tłumacza języka symbolicznego, rejestry robocze R, pamięć programu, rejestry pamięciowe P, rejestr warunków C.

Komórki pamięci \emptyset - 576 \emptyset zajmuje tłumacz języka symbolicznego oraz 16 rejestrów roboczych. Rejestry te pełnią funkcje akumulatorów, każdy z nich może zawierać jedną liczbę o 14-tu cyfrach znaczących lub 16 znaków tekstu. Wprowadzanie i wyprowadzanie danych z/do pamięci do/z urządzeń wejścia wyjścia wykonywane jest poprzez rejestry robocze. Również wszystkie operacje arytmetyczne wykonywane są na ich zawartościach.



Rys.5.1-1 Organizacja pamięci minikomputera Mera-302.

Do zapamiętywania programu służą w zasadzie komórki pamięci o numerach 5761 do 6142. Istnieje jednakże możliwość wprowadzania programów dłuższych, zajmują one wtedy komórki pamięci o numerach większych od 6142. Tym samym ograniczony zostaje obszar pamięci przeznaczonej do zapamiętywania danych.

256 ośmiobytowych rejestrów P zajmuje komórki 6143 - 8190. Rejestry te pozwalają przechowywać zawartość rejestrów roboczych. Jeżeli zachodzi operacja przesłania zawartości dowolnego rejestru R do rejestru P, a w rejestrze R jest liczba to 14-to cyfrowa liczba ze znakiem i skalą jest pamiętana w jednym rejestrze P.

Ostatnią 8191 komórkę pamięci zajmuje jednobytowy rejestr warunków C. Rejestr ten może znajdować się w czterech stanach w zależności od warunków [55], które zajdą przy wykonywaniu pewnych instrukcji programu.

Z przedstawienia struktury pamięci wynika, że liczba danych i pośrednich wyników obliczeń nie może być większa od $(256 + 16)$ liczb o 14-tu cyfrach znaczących, a dane łącznie z programem nie mogą zajmować więcej niż 2430 komórek pamięci.

Możliwości te są zatem bardzo skromne [54] wprawdzie producent w odpowiednich opracowaniach przewidział możliwość dołączenia do minikomputera MERA-302 zewnętrznej pamięci dyskowej, która zdecydowanie rozszerzyłaby możliwości maszyny.

Przewidywania te nie znalazły pokrycia w rzeczywistości i aktualnie w kraju nie są dostępne pamięci dyskowe oraz jednostki sterujące do pracy z minikomputerem MERA-302.

Jak z tego wynika nie jest możliwe opracowanie programu, który

całościowo ujmie pełny zbiór procedur obliczeniowych i sterujących AESS.

Zatem z przyczyn obiektywnych oczekując na wyposażenie instytutu w lepszy minikomputer klasy MITRA 15 lub PDP 11/34, konieczna jest dekompozycja algorytmu tak aby możliwa była jego realizacja w aktualnie dostępnych warunkach. Zaproponowane rozwiązanie jest pożądane w przypadku badania właściwości przedstawionego w rozdziale 3 algorytmu regresyjnego i zawiera rozłączne bloki:

- procedur sterowania procesem pomiarowym, transmisji wyników pomiarowych do/z PAO z/do ASS,
- procedur przetwarzania danych pomiarowych.

W dalszym ciągu przedstawione zostanie oprogramowanie opracowane z uwzględnieniem wniosków wynikających z przyjętego sposobu dekompozycji i kolejności realizacji w algorytmie opisanym w rozdziale 3 /rys.5.1-2/.

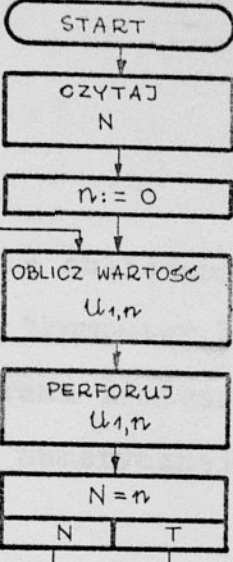
5.2 Zdekomponowana struktura oprogramowania AESS

5.2.1 Obliczanie wartości wielkości wejściowych badanej sieci

Przyjęta struktura oprogramowania wymaga w pierwszym rzędzie obliczenia N-elementowego ciągu wartości wielkości wejściowych obiektu w myśl opisanego w rozdziale 3.5 algorytmu rozmieszczenia punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym.

Niski stopień złożoności procedur obliczeniowych wynikających z zależności /3.5-3/ pozwolił na opracowanie

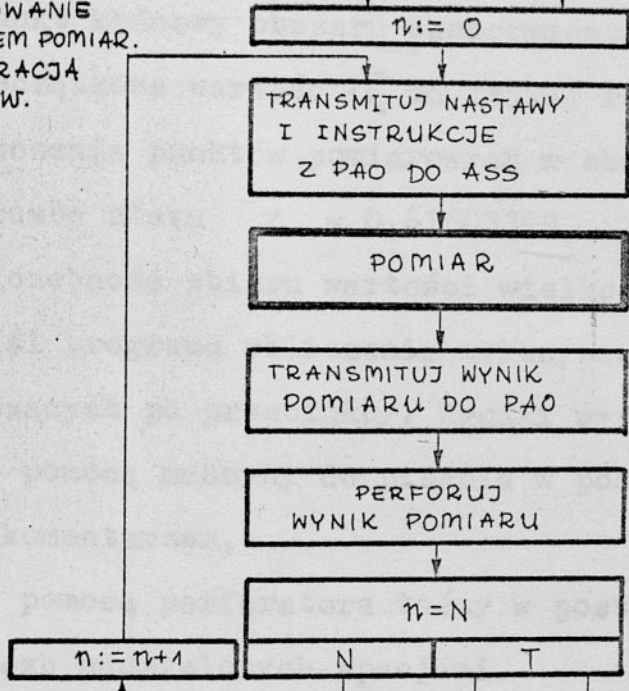
OBLICZANIE
WARTOŚCI
WIELKOŚCI
WEJŚCIOWYCH



MERA-302

- JĘZYK SYMBOLICZNY
- "KOMPUTER BIUROWY"
- DANE WPROWADZ. Z KLAWIATURY NUMERY.
- WYNIKI PERFOROWANE

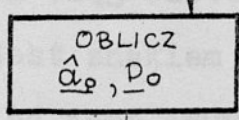
STEROWANIE
PROCESEM POMIAR.
REJESTRACJA
WYNIKÓW.



MERA-302

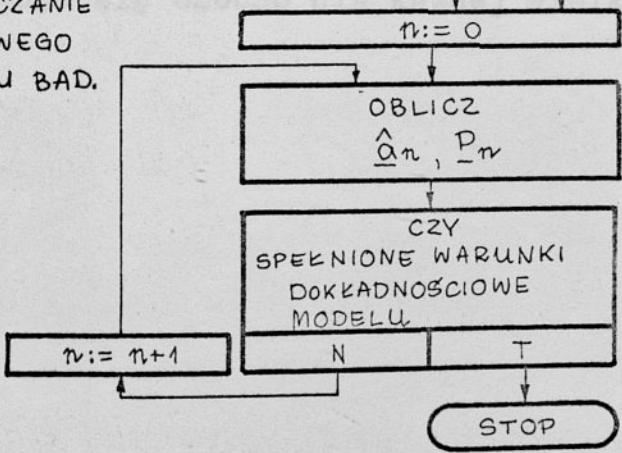
- JĘZYK WEWNĘTRZNY
- DANE O NASTAWACH U1 CZYTNIK CT-1001
- DANE O NASTAWACH U2 CZYTNIK CTK
- WYNIKI REJESTROWANE NA TAŚMIE PERFOROWANEJ

WYZNACZANIE
POCZĄTKOWEGO
MODELU BADANEJ
SIECI



- ODRA-1305
- JĘZYK FORTRAN 1900
- DANE I WYNIKI TAŚMA PERFOROW.

WYZNACZANIE
KOŃCOWEGO
MODELU BAD.
SIECI



- ODRA-1305
- JĘZYK FORTRAN 1900
- DANE TAŚMA PERF.
- WYNIKI TABULOGRAM

Rys. 5.1-2 Struktura oprogramowania po zdekomponowaniu.

oprogramowania obliczania wartości wielkości wejściowej w języku symbolicznym "komputer biurowy" /rys.5.1-2/.

Dane do programu zamieszczonego w dodatku B wprowadzane są z klawiatury numerycznej minikomputera MERA-302 [55] w postaci ciągu liczb:

- punkt początkowy obszaru eksperymentalnego $U_{a,i}$ ($i=1,2$),
- punkt końcowy obszaru eksperymentalnego $U_{z,i}$ ($i=1,2$),
- początkowa wartość u_i^* od której rozpoczyna się proces rozmieszczenia punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym,
- liczba złota $Z = 0.61803399$,
- liczebność zbioru wartości wielkości wejściowych N .

W myśl programu obliczenia wykonywane są w skali 8 /8 miejsc znaczących po przecinku/. Wyniki wyprowadzone są:

- za pomocą maszyny do pisania w postaci tabulogramu z komentarzem,
- za pomocą perforatora taśmy w postaci N -elementowego ciągu liczb oddzielonych spacjami.

Uzyskany N -elementowy ciąg wartości wielkości wejściowych dla obiektu zakończony jest znakiem #.

Jeżeli badana sieć jest dwuwejściowa to proces obliczeniowy wykonuje się osobno dla każdej wielkości wejściowej.

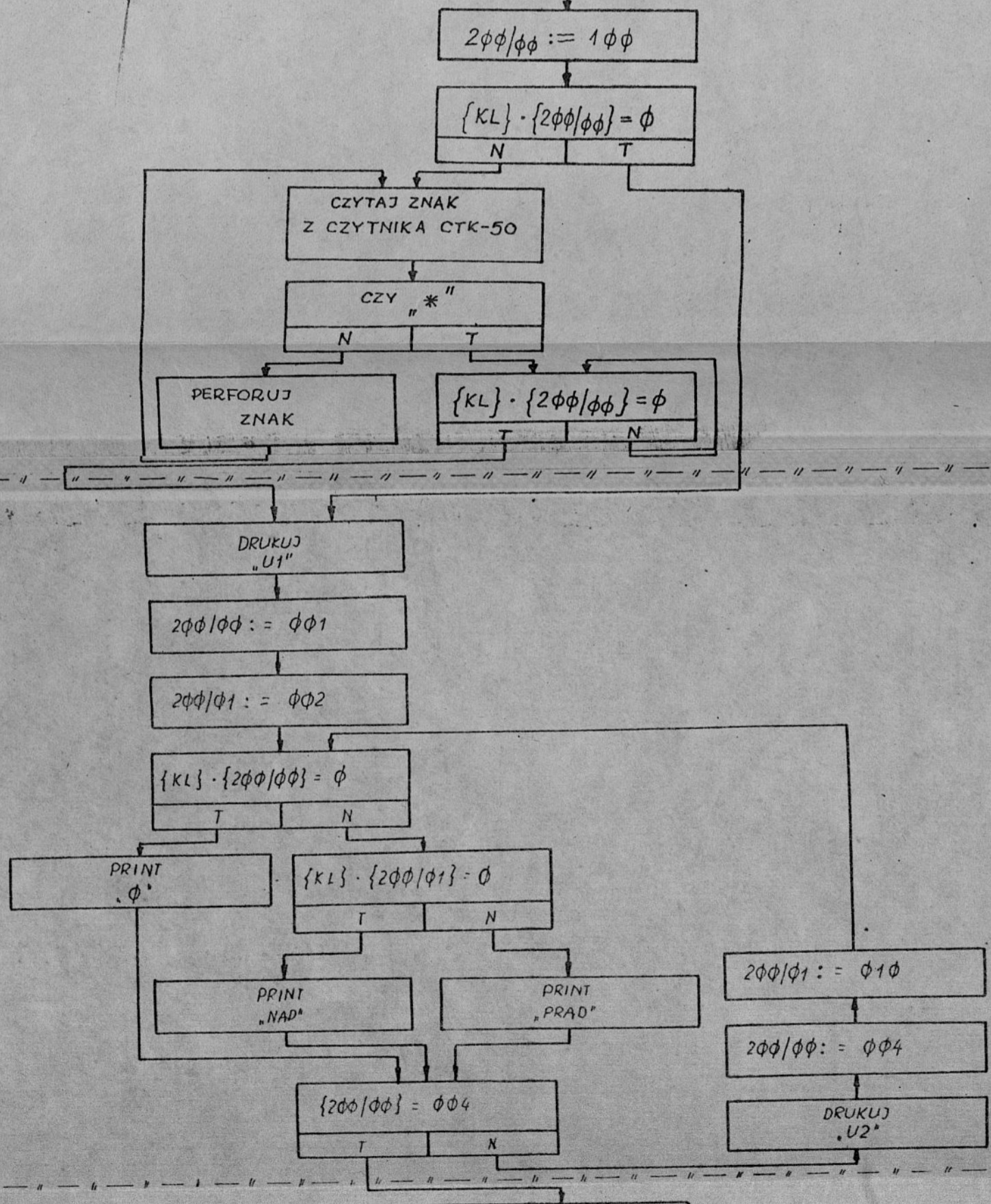
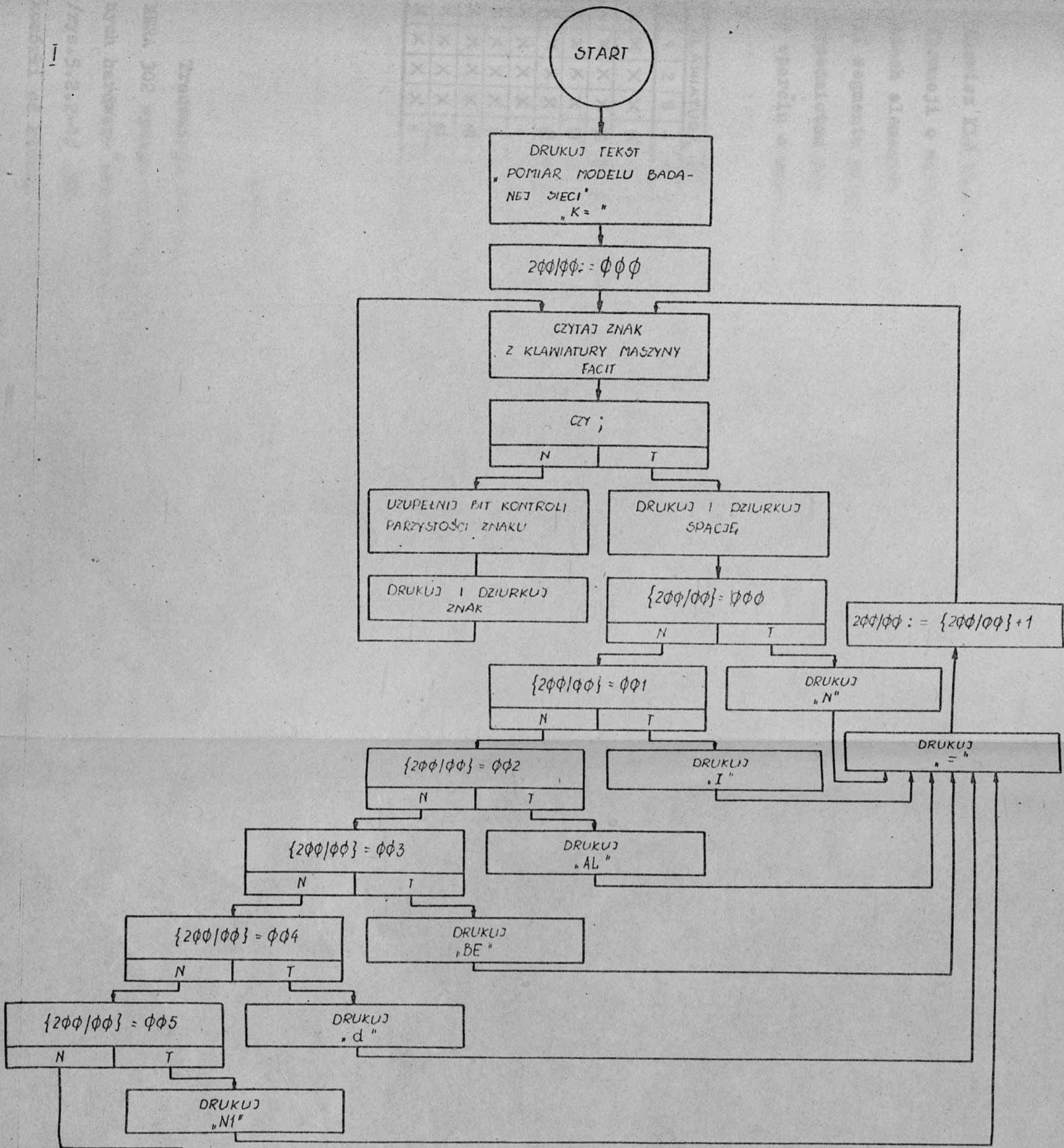
5.2.2 Sterowanie przebiegiem procesu pomiarowego i rejestracja wyników pomiarów

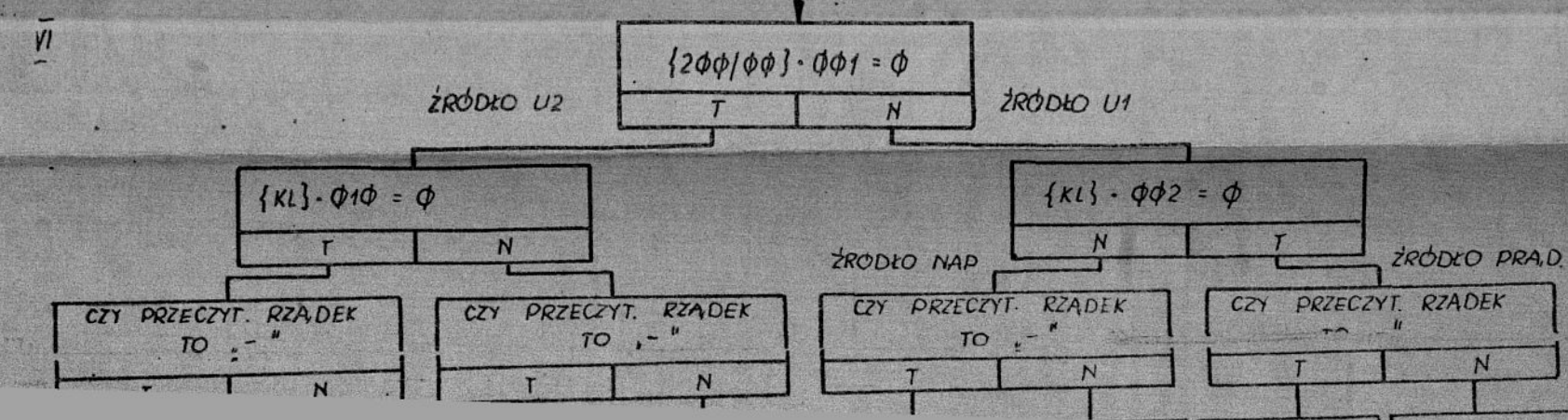
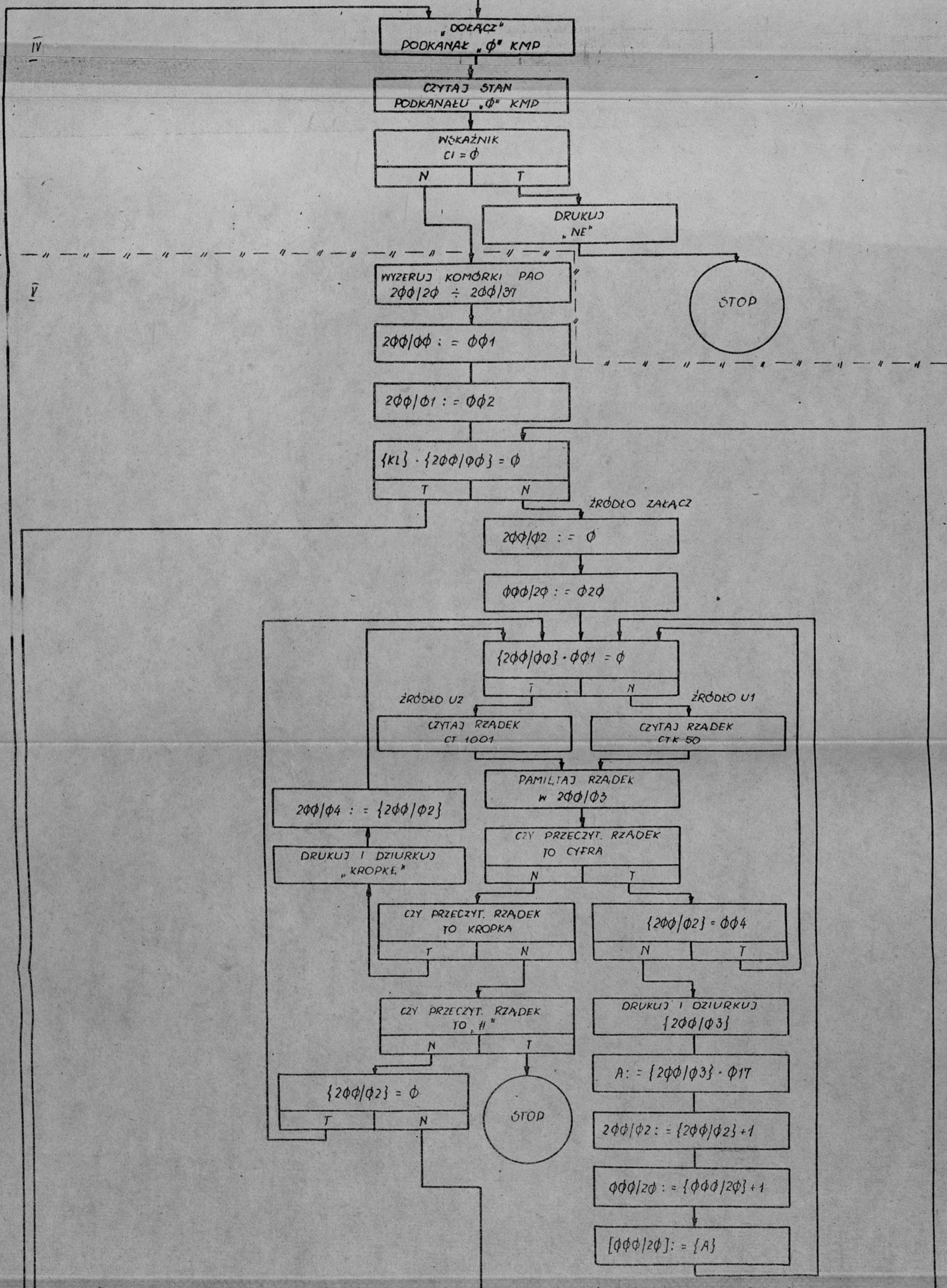
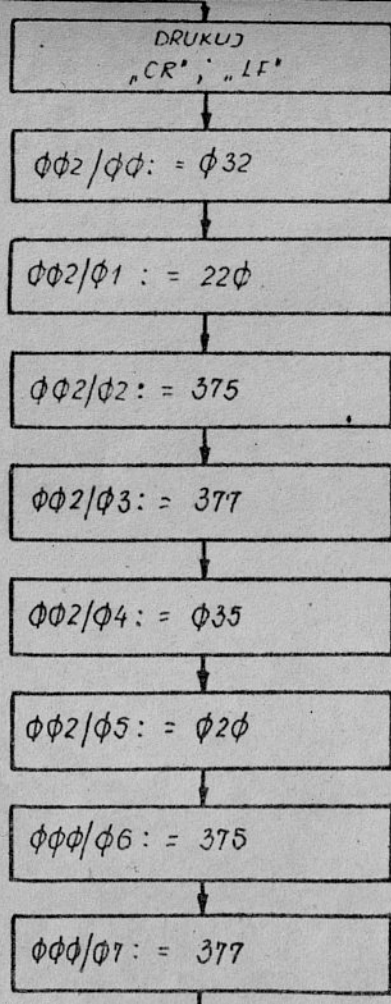
Program sterujący pracą stanowiska AESS opracowano przy założeniach:

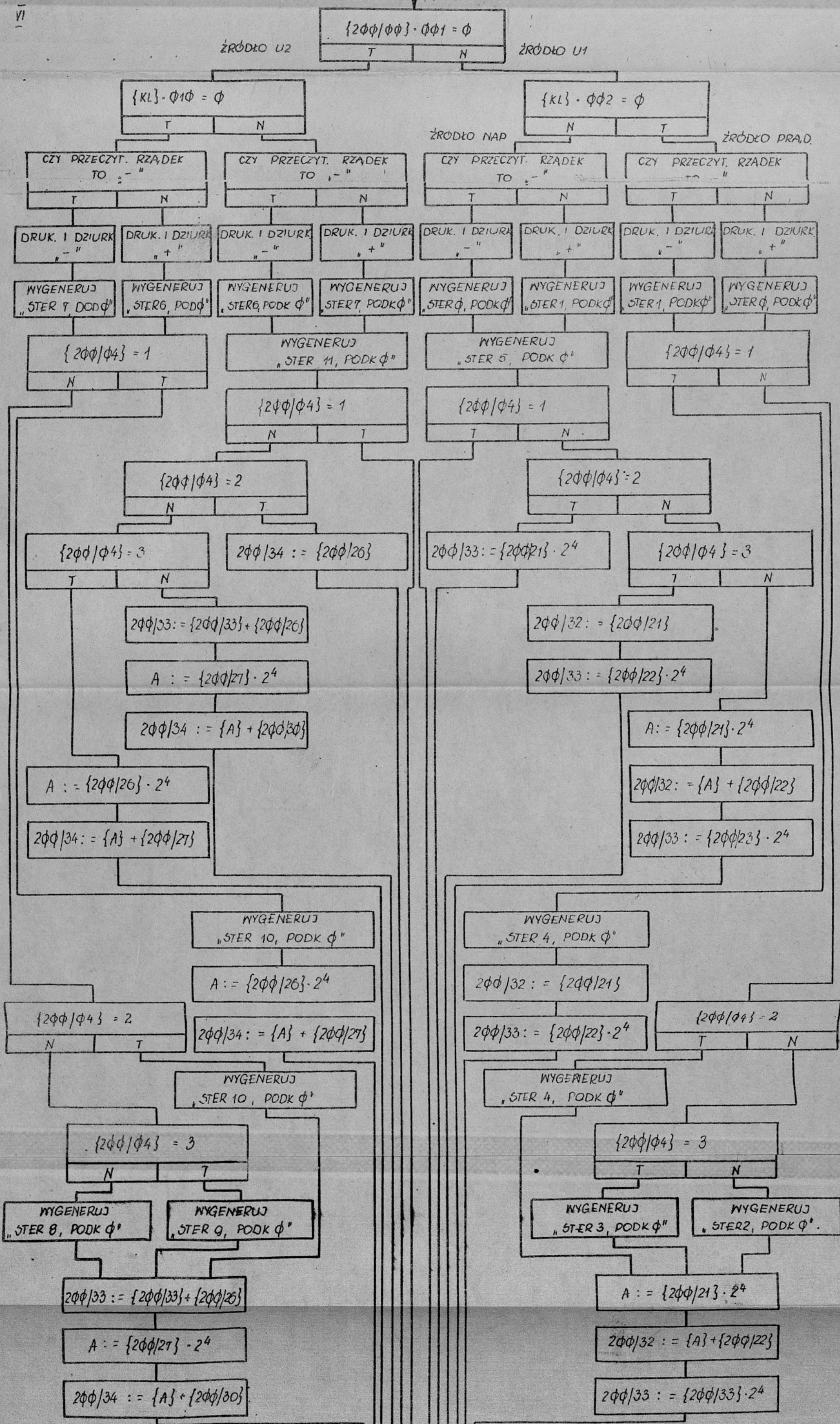
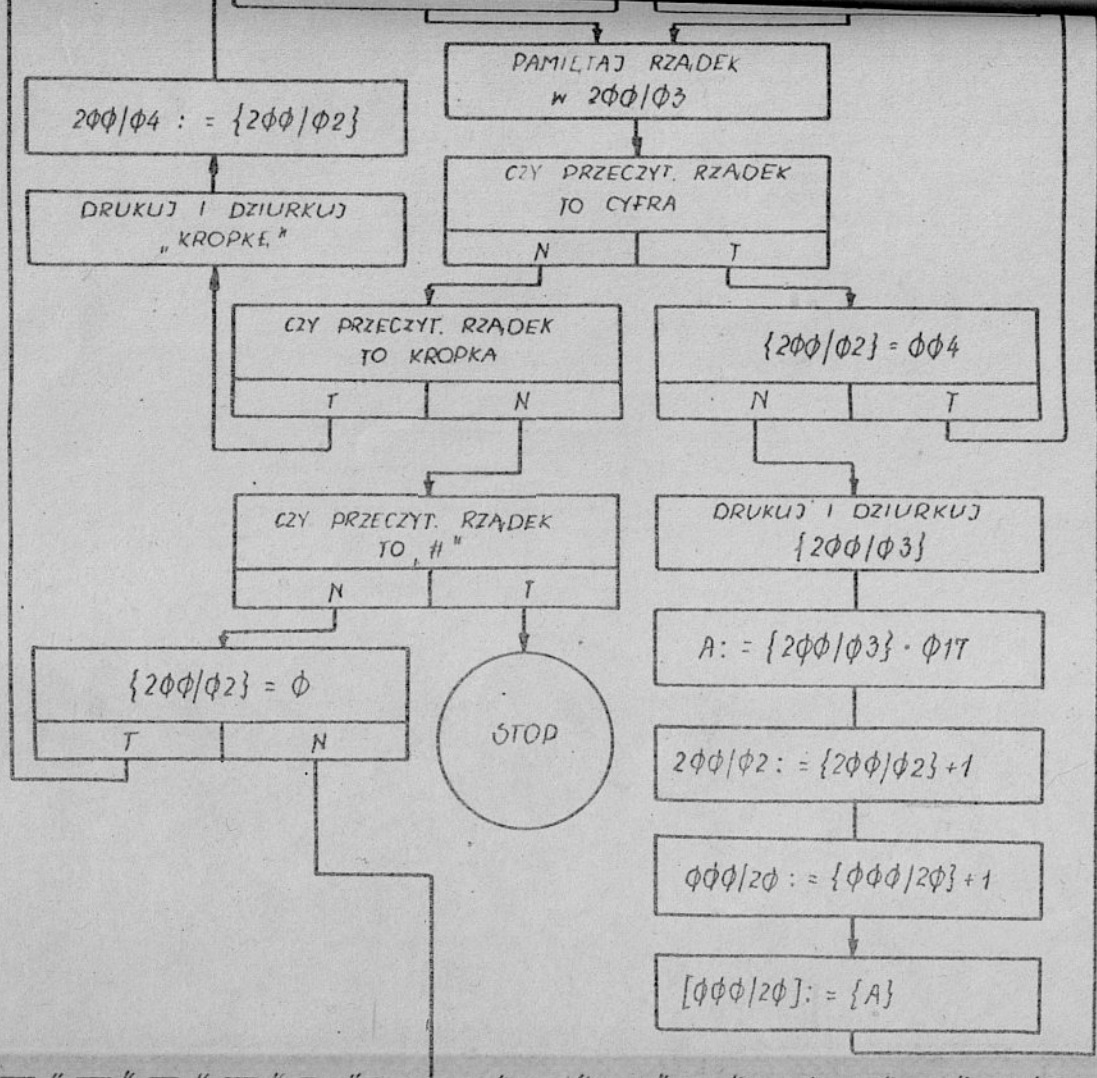
- pomiary wykonuje się dla pojedynczej badanej sieci stałoprądowej,
- mierzona jest tylko jedna wielkość wyjściowa tej sieci,
- na wejście sieci może być załączona dowolna kombinacja dwóch programowanych źródeł napięcia lub prądu; wyboru kombinacji dokonuje się za pomocą klawiatury "KL" pulpitu technicznego minikomputera,
- wyniki wykonanych pomiarów są rejestrowane na taśmie perforowanej w kodzie ISO-7 z dodanym bitem kontroli parzystości, sposób rejestracji jest taki aby uzyskana taśma mogła być bezpośrednio przekazana do dalszego przetwarzania na maszynie cyfrowej serii Odra 1300, wymaga to dodania dodatkowych danych istotnych z punktu widzenia oprogramowania przetwarzania wyników pomiarów /rozd. 5.2.3, 5.2.4/.

Dla jasności opisu program podzielono na bloki zwane segmentami. W segmencie I po wydruku nagłówka "POMIAR MODELU BADANEJ SIECI" deklaruje się z klawiatury maszyny do pisania wartości parametrów: k,N,I,AL,BE,d,N1. /rys.5.2-2/

Znajomość wartości tych parametrów jest wymagana przez program przetwarzania wyników pomiarów /rozd.5.2.3/. Z punktu widzenia oprogramowania sterującego istotne jest aby odpowiadające wartościom tych parametrów kody cyfrowe były w odpowiedniej kolejności rejestrowane na taśmie perforowanej. Znakiem kończącym każdą liczbę jest średnik ";" . W przypadku realizacji procedur wyznaczenia końcowego modelu metrologicznego badanej sieci /załączony







$$A := \{2\phi\phi/27\} \cdot 2^4$$

$$2\phi\phi/34 := \{A\} + \{2\phi\phi/30\}$$

$$2\phi\phi/32 := \{A\} + \{2\phi\phi/22\}$$

$$2\phi\phi/33 := \{2\phi\phi/33\} \cdot 2^4$$

$$\{2\phi\phi/\phi\phi\} = \phi\phi 4$$

| | |
|---|---|
| T | N |
|---|---|

$$2\phi\phi/\phi\phi := \phi\phi 4$$

$$2\phi\phi/\phi 1 := \phi 1 \phi$$

$$\phi\phi\phi/2\phi := \phi 2 5$$

VII

WYKONAJ TRANSMISJĘ
"PIEZ BLOK"
PODKANAŁ ϕ KMP

WYGENERUJ INSTR.
"CZYTAJ BLOK"
PODKANAŁ 1 KMP

$$\{C1\} = \phi$$

| | |
|---|---|
| T | N |
|---|---|

VIII

DRUKUJ
"y = "

$$2\phi\phi/\phi 3 := \{2\phi\phi/37\} \cdot 2^{-4}$$

$$\phi\phi\phi/22 := \phi 1 1$$

$$2\phi\phi/12 := \{2\phi\phi/35\} \cdot 2^{-4}$$

$$2\phi\phi/13 := \{2\phi\phi/35\} \cdot \phi 1 7$$

$$2\phi\phi/14 := \{2\phi\phi/30\} \cdot 2^{-4}$$

$$2\phi\phi/15 := \{2\phi\phi/36\} \cdot \phi 1 7$$

$$2\phi\phi/16 := \phi$$

$$2\phi 1/\phi\phi := \phi$$

$$2\phi\phi/\phi 4 := \phi$$

$$2\phi\phi/11 := \phi$$

$$2\phi\phi/\phi 6 := \phi$$

$$\phi\phi\phi/22 := \{\phi\phi\phi/22\} + \phi\phi 1$$

$$2\phi\phi/1\phi := \{[\phi\phi\phi/22]\}$$

$$2\phi\phi/\phi 6 := \phi$$

$$2\phi\phi/11 := \phi$$

$$2\phi\phi/\phi 4 := \phi$$

$$2\phi\phi/1\phi := \{2\phi\phi/17\}$$

$$2\phi\phi/\phi 5 := \{2\phi\phi/1\phi\}$$

$$A := \{2\phi\phi/\phi 5\} \cdot \phi\phi 1$$

$$\{A\} = \phi$$

| | |
|---|---|
| T | N |
|---|---|

$$2\phi\phi/\phi 6 := \{2\phi\phi/\phi 6\} + 1$$

$$\{2\phi\phi/11\} = \phi\phi 3$$

| | |
|---|---|
| T | N |
|---|---|

$$A := \{2\phi\phi/\phi 6\} \cdot \phi\phi 1$$

$$\{A\} = \phi$$

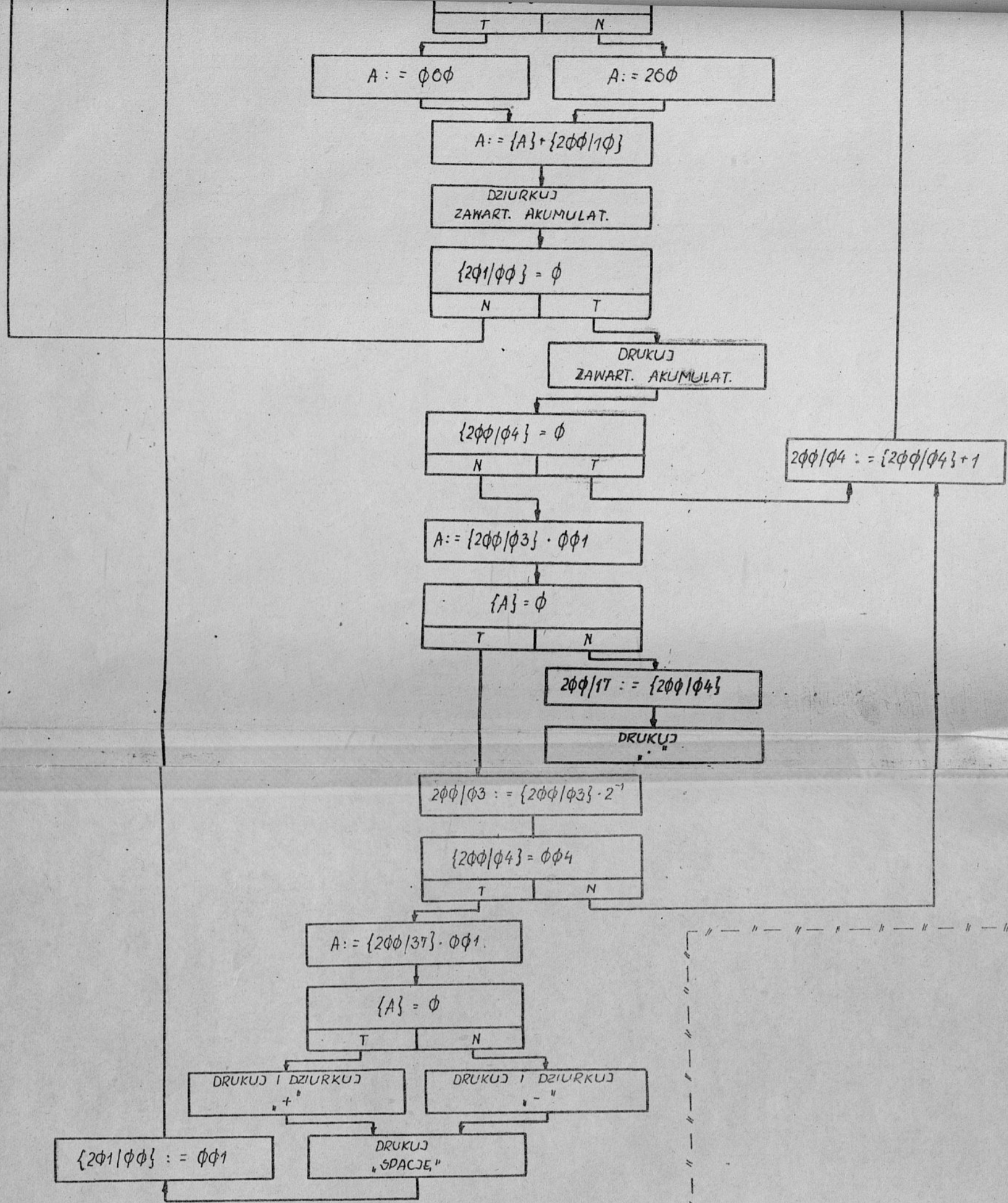
| | |
|---|---|
| T | N |
|---|---|

$$A := \phi\phi\phi$$

$$2\phi\phi/\phi 5 := \{2\phi\phi/\phi 5\} \cdot 2^{-1}$$

$$2\phi\phi/11 := \{2\phi\phi/11\} + 1$$

$$A := 26\phi$$



Legenda

A - Rejestr akumulatora

$b := \{a\}$ - zawartość komórki o adresie a prześlij do komórki o adresie b

$b := \{[a]\}$ - zawartość komórki o adresie podanym w komórcie a prześlij do komórki o adresie b

CI - Jednobitowy wskaźnik, który sygnalizuje między innymi przyjęcie lub odrzucenie instrukcji wejścia wyjścia przez jednostkę sterującą urządzeniem pomiarowego

KI - Klawiatura pulpitu operatora, za pomocą której programuje się zatęczenie źródeł wielkości wejściowych badanej sieci

Adresy poszczególnych komórek pamięci składają się z dwóch części:
 - numer strony pamięci, na której znajduje się dana komórka (liczba dwójkowo-ósemkowa z przedziału $\langle 000, 377 \rangle$),
 - numer komórki na stronie (liczba dwójkowo-ósemkowa z przedziału $\langle 00, 37 \rangle$).

Rys. 5.2.2 Schemat blokowy programu sterującego pracą AES.

klawisz KL \emptyset klawiatury KL/ przeprowadzana jest repreferacja informacji o wartościach składowych wektora \hat{a}_0 oraz o wartościach elementów macierzy \underline{P}_0 . Przejście do wykonywania procedur II segmentu programu następuje po wyłączeniu klawisza KL \emptyset . Przedmiotem tego segmentu jest wykonanie wydruków komentarza w oparciu o analizę stanu klawiatury "KL"/tab.5.2.2-1/.

Tab.5.2.2-1.

| KLAWIATURA KL | | | | | | | | KOMENTARZ | WYDRUK KONTROLNY |
|---------------|---|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------------------------------|
| \emptyset | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| X | X | X | X | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset | U1 odk, U2 odk. | U1 \emptyset , U2 \emptyset |
| X | X | X | X | \emptyset | \emptyset | \emptyset | 1 | U1 nap, U2 odk. | U1 NAP, U2 \emptyset |
| X | X | X | X | \emptyset | \emptyset | 1 | 1 | U1 prad, U2 odk. | U1 PRAD, U2 \emptyset |
| X | X | X | X | \emptyset | 1 | \emptyset | \emptyset | U1 odk, U2 nap. | U1 \emptyset , U2 NAP. |
| X | X | X | X | 1 | 1 | \emptyset | \emptyset | U1 odk, U2 prad. | U1 \emptyset , U2 PRAD |
| X | X | X | X | 1 | 1 | 1 | 1 | U1 prad, U2 prad. | U1 PRAD, U2 PRAD |
| X | X | X | X | \emptyset | 1 | \emptyset | 1 | U1 nap, U2 nap. | U1 NAP, U2 NAP. |
| X | X | X | X | \emptyset | 1 | 1 | 1 | U1 prad, U2 nap. | U1 PRAD, U2 NAP. |
| X | X | X | X | 1 | 1 | \emptyset | 1 | U1 nap, U2 prad. | U1 NAP, U2 PRAD |

Uwaga: x oznacza, że dany bit może mieć stan 1 lub zero.

Wpływ stanu klawiatury KL na wybór źródeł wielkości wejściowych obiektu

Transmisja informacji w kanale multipleksora minikomputera MERA 302 wymaga umieszczenia w komórkach pamięci przyporządkowanych hardware'owo poszczególnym podkanałom, słów sterujących /rys.5.2.2-1/ [50]. Słowa te określają między innymi numer komórki od której /do której/ ma nastąpić transmisja pierwszego

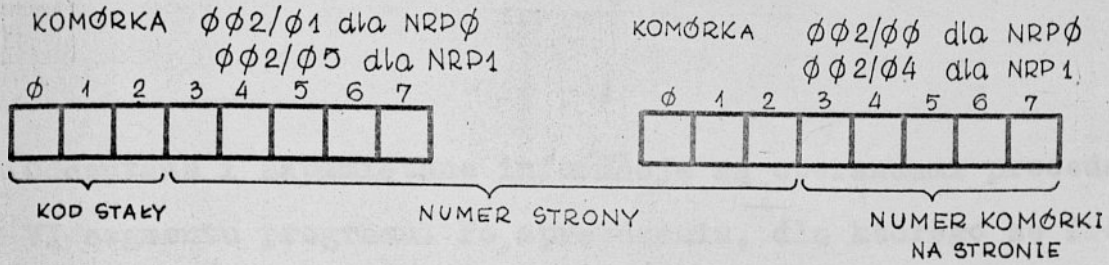
znaku z bloku danych oraz liczbę znaków bloku podaną w uzupełnieniu do 2¹³. Zagadnienia te znalazły swoje odzwierciedlenie w procedurach segmentu III programu. Segment ten został opracowany przy dodatkowych założeniach:

- trójbyte'owy blok danych o nastawach źródeł programowanych, transmitowany zerowym podkanałem, znajduje się w komórkach 200/32, 200/33, 200/34,
- trójbyte'owy blok danych o wyniku pomiaru, transmitowany pierwszym podkanałem, znajduje się w komórkach 200/35, 200/36, 200/37.

Segment IV zawiera procedury sprawdzające gotowość jednostki sterującej odbiorczej, a co za tym idzie i AESS do przyjęcia sygnałów sterujących i informacyjnych o nastawach źródeł programowanych. Brak gotowości /nieoperatywność/ jednostki sterującej odbiorczej sygnalizowany jest zwrotnie linią "B" interface'u po wykonaniu przez AESS instrukcji "CZYTAJ STAN", powoduje on wydrukowanie komentarza "NE" oraz przejście systemu w stan "STOP!". W przypadku przeciwnym następuje wykonywanie procedur segmentu V.

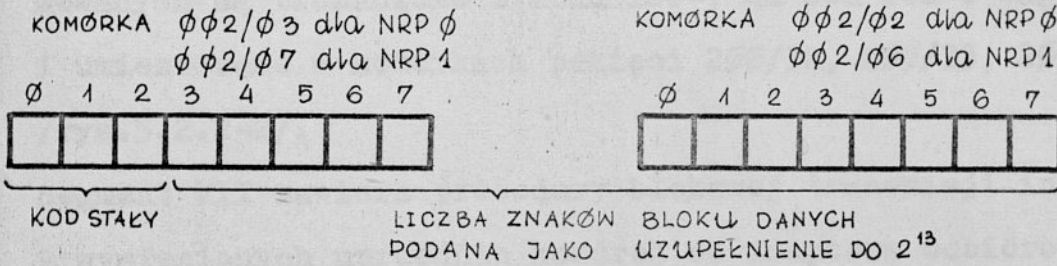
Segment ten przewiduje ciąg następujących identycznych operacji kolejno dla źródła U1 a następnie U2:

- sprawdzenie czy praca danego źródła jest przewidziana w programie /sprawdzenia stanu klawiatury KL/,
- odczytanie z taśm perforowanych wartości nastaw źródeł programowanych odpowiednio z czytnika CTK50 dla U1 i CT 1001 dla U2, /taśmy te uzyskano w wyniku realizacji algorytmu przedstawionego w rozdziale 5.2.1/,



Uwaga:

- kod stały zależy od kierunku transmisji KMP i wynosi: - 1 $\phi\phi$ dla NRP ϕ ,
 - $\phi\phi\phi$ dla NRP1
- Pozostałe bity określają numer strony i numer komórki na stronie pamięci operacyjnej minikomputera, gdzie znajduje się przygotowany do transmisji pierwszy znak z bloku danych (NRP ϕ) lub gdzie ma być umieszczony pierwszy znak bloku danych (NRP1).



Uwaga:

- kod stały dla wszystkich podkanałów KMP jest jednakowy i wynosi 111.

Rys.5.2.2-1 Rozmieszczenie informacji w komórkach sterujących podkanałów ϕ i 1 KMP.

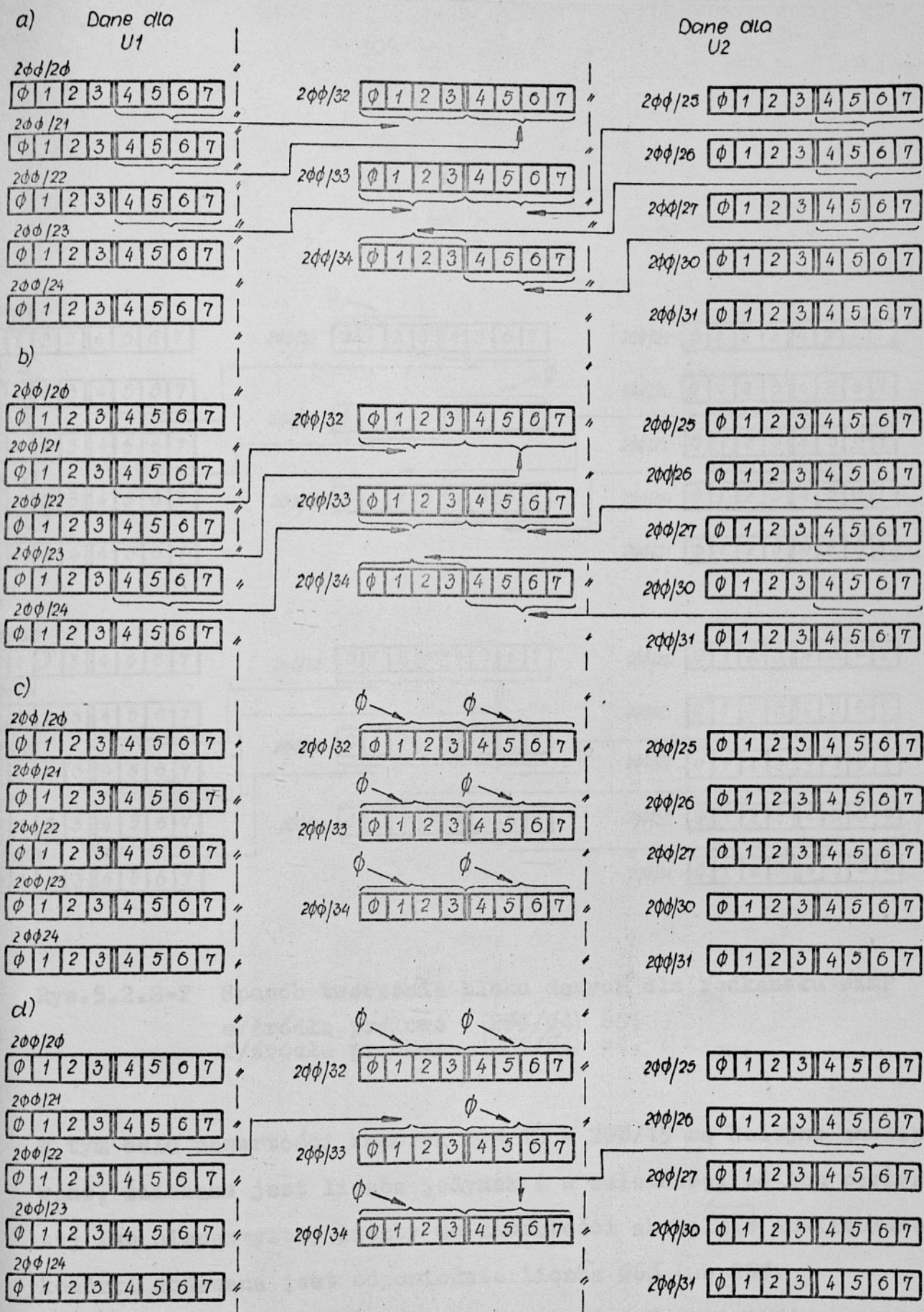
- analizę każdego odczytowanego rzędka taśmy, zapamiętanie w komórce 2 $\phi\phi$ / $\phi 4$ liczby miejsc znaczących do kropki dziesiętnej, wydrukowanie i wydziurkowanie liczby składającej się z czterech pierwszych cyfr znaczących, zapamiętanie tych cyfr w komórkach 2 $\phi\phi$ / $\phi 21$, 2 $\phi\phi$ / $\phi 22$, 2 $\phi\phi$ / $\phi 23$, 2 $\phi\phi$ / $\phi 24$ dla źródła U1 i w komórkach 2 $\phi\phi$ / $\phi 26$, 2 $\phi\phi$ / $\phi 27$, 2 $\phi\phi$ / $\phi 30$, 2 $\phi\phi$ / $\phi 31$ dla źródła U2,
- w przypadku odczytania przez dowolny z czytników znaku "#" zakończenia procesu pomiarowego i przejście w stan "STOP".

Odczytane i zapamiętane informacje są operandami procedur VI segmentu programu. Po sprawdzeniu, dla którego ze źródeł programowanych dane te są przeznaczone badany jest stan KL4 /źródło U1/ lub KL6 /źródło U2/ klawiatury "KL" /tab.5.2.2-1/, stan ten określa charakter źródła /prądowy bądź napięciowy/. W zależności od wyniku badania następuje wysłanie w podkanale \emptyset KMP odpowiednich instrukcji sterujących zgodnie z uwagami zawartymi w rozdziale/4.7.1.2./ Natomiast zawartości komórek, w których przechowywane są informacje o wartościach nastaw źródeł programowanych są tłumaczone z kodu ISO-7 na kod BCD o wagach 8-4-2-1 i umieszczane w komórkach pamięci 2 $\emptyset\emptyset$ /32, 2 $\emptyset\emptyset$ /33, 2 $\emptyset\emptyset$ /34 /rys.5.2.2-2/.

Segment VII zawiera procedury blokowej transmisji informacji z wymienionych uprzednio komórek do adaptera odbiorczego. Zakończenie transmisji inicjuje pomiar oraz przygotowuje system do transmisji wyniku pomiaru w podkanale 1 KMP. Właściwa transmisja następuje jednak dopiero po zakończeniu pomiaru. W trakcie wykonywania transmisji trójbyte'owy wynik pomiaru umieszczany jest w komórkach 2 $\emptyset\emptyset$ /35, 2 $\emptyset\emptyset$ /36, 2 $\emptyset\emptyset$ /37 /rys.5.2.2-3/.

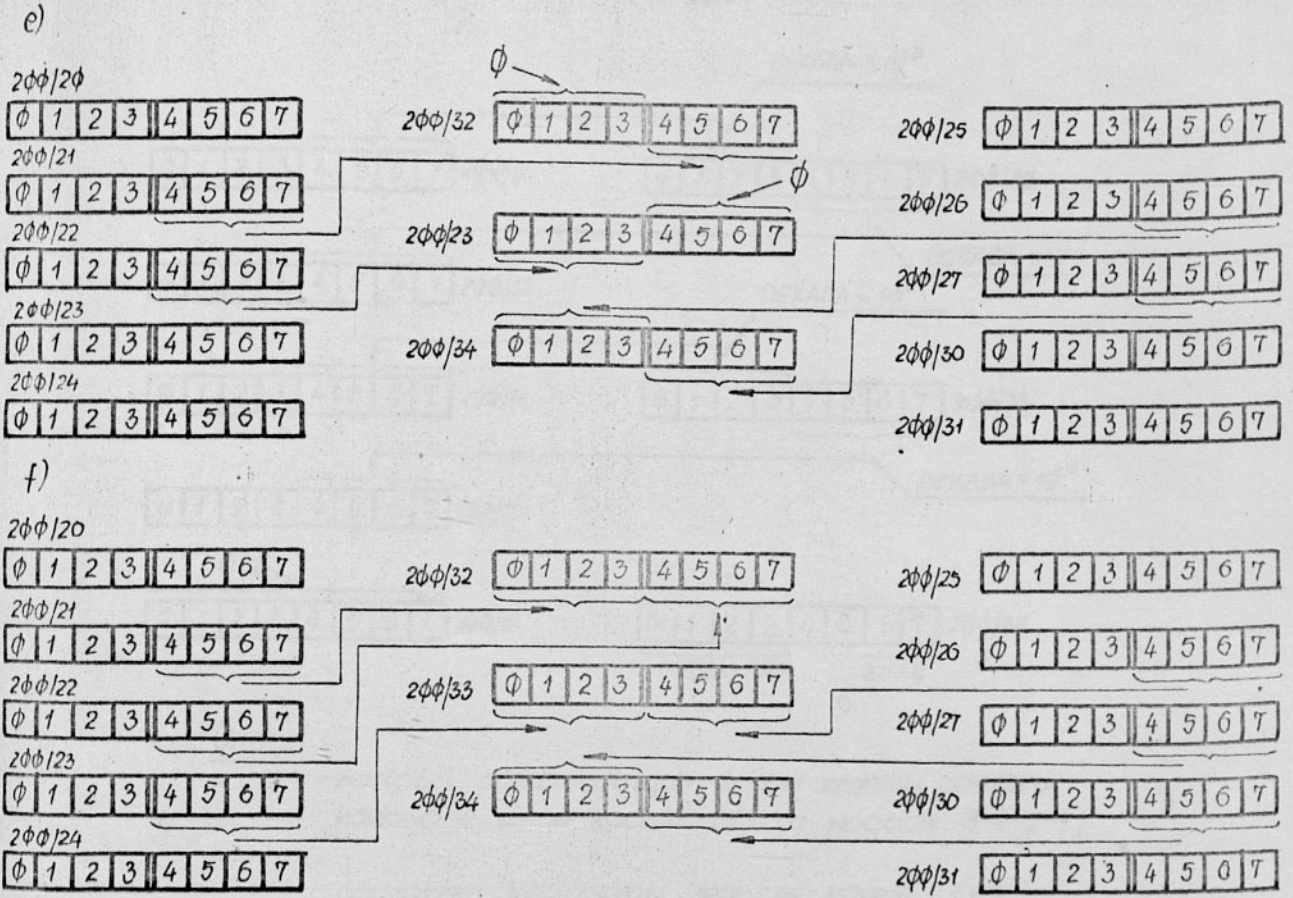
W kolejnym VIII segmencie następuje zamiana struktury równoległej informacji zapisanej we wspomnianych uprzednio komórkach na strukturę szeregową /rys.5.2.2-3/.

Segment IX kończący dla pierwszej iteracji łańcuch procedur sterujących przygotowuje informacje z bloku danych do rejestracji. Przygotowanie to polega na przetłumaczeniu kodów poszczególnych cyfr wyniku pomiaru z kodu BCD o wagach 8-4-2-1 na kod ISO-7 z bitem parzystości.



Rys. 5.2.2-2 Sposób tworzenia bloku danych dla podkanału ØKMP

- a/źródła napięciowe {2φφ/φ4} = 1;
- b/źródła napięciowe {2φφ/φ4} = 2;
- c/źródła prądowe {2φφ/φ4} = 1;
- d/źródła prądowe {2φφ/φ4} = 2;

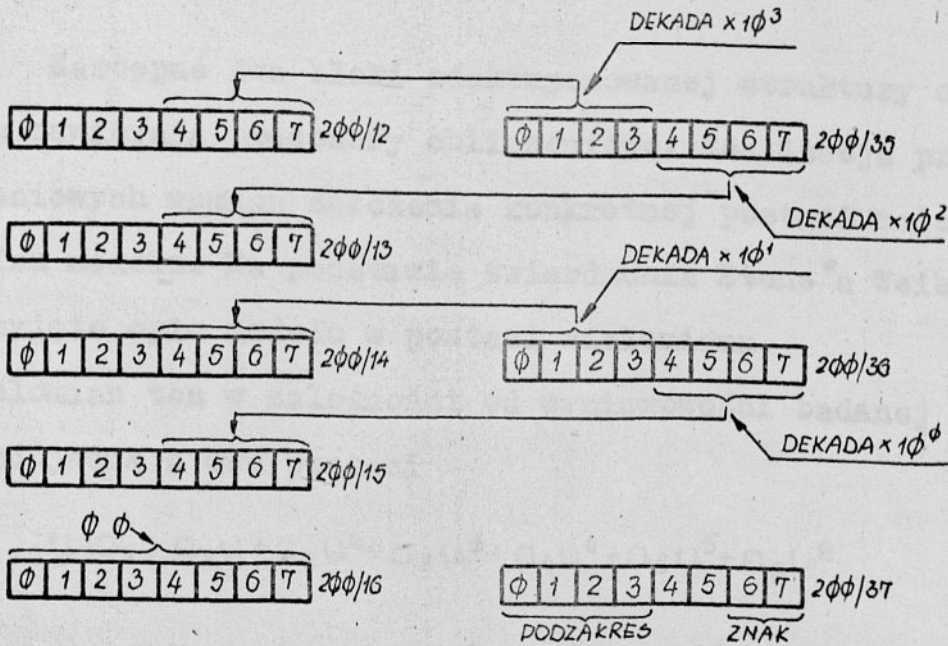


Rys.5.2.2-2 Sposób tworzenia bloku danych dla podkanału ϕKMP

e/źródła prądowe $\{2\phi\phi/\phi 4\} = 3;$
 f/źródła prądowe $\{2\phi\phi/\phi 4\} \geq 4.$

W tym celu zawartości komórek $2\phi\phi/12 - 2\phi\phi/15$ są kolejno analizowane, zliczana jest liczba jedynek i w zależności od ich parzystej lub nieparzystej liczby do zawartości aktualnie analizowanej komórki dodawana jest odpowiednio liczba $\phi 6\phi$ lub 26ϕ .

Wynik pomiaru wydrukowywany jest w postaci dziesiętnej ze znakiem i kropką dziesiętną. Natomiast wyperforowany jest w postaci wykładniczej:



Uwaga

- wartości poszczególnych dekad wyniku pomiaru kodowane są w kodzie BCD o wagach 8-4-2-1;
- podzakres kodowany jest w kodzie 1z4, przy czym bitowi ϕ odpowiada podzakres $1\phi\phi V$, bitowi 1 podzakres $10V$, bitowi 2 podzakres $1V$, bitowi 3 podzakres $\phi, 1V$;
- znak wyniku pomiaru kodowany jest w kodzie 1z2, przy czym bitowi 6 odpowiada znak "+", bitowi 7 znak "-".

Rys.5.2.2-3 Zamiana struktury równoległej słów informacji zawartych w komórkach $2\phi\phi/35$, $2\phi\phi/36$ na strukturę szeregową.

wartość bezwzględna w , znak z , skala s . Wartość wielkości wyjściowej oblicza się z zależności

$$y = z \cdot w \cdot 10^{(s-3)} [mV]$$

5.2.3 Wyznaczanie początkowego modelu badanej sieci

Następne dwa bloki zdekomponowanej struktury oprogramowania zawierają procedury obliczeniowe. Realizacja procedur obliczeniowych wymaga założenia konkretnej postaci matematycznego opisu modelu. Na podstawie twierdzenia Stone'a Weierstrassa [61] przyjęto opis modelu w postaci wielomianu.

Wielomian ten w zależności od wymiarowości badanej sieci może mieć jedną z dwu postaci

$$y = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + a_4 u^4 + a_5 u^5 + a_6 u^6 \quad /5.2.3-1/$$

lub

$$y = a_0 + a_1 u_1 + a_2 u_2 + a_3 u_1 u_2 + a_4 u_1^2 + a_5 u_2^2 + a_6 u_1^2 u_2^2 \quad /5.2.3-2/$$

Ze względu na fakt, że najczęściej w praktyce poszukuje się modeli w klasie funkcji liniowych /przetworniki pomiarowe, wzmacniacze itp/ lub kwadratowej /przetworniki wartości skutecznej elementy składowe analogowych bloków mnożących/ ograniczono liczbę $(k+1)$ składowych wektora parametrów modelu maksimum do siedmiu.

Zatem program dopuszcza możliwość zadeklarowania przez eksperymentatora indeksu k /3.2-2/ z przedziału

$$0 \leq k \leq 6 \quad /5.2.3-3/$$

Nieznajomość wektora początkowych parametrów modelu \hat{a}_0 oraz macierzy kowariancji P_0 wektora \hat{a}_0 /rozdział 3.3/ wymaga wykonania na obiekcie rzeczywistym przynajmniej $(k+1)$ pomiarów

i wyznaczenia szukanych wartości z zależności

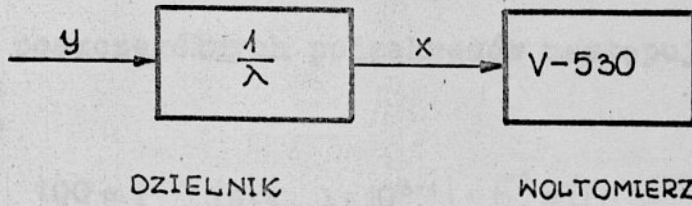
$$\hat{\underline{a}}_0 = (\underline{M}^T \underline{R}^{-1} \underline{M})^{-1} \cdot (\underline{M}^T \underline{R}^{-1} \underline{y}) \quad /5.2.3-4/$$

$$\underline{P}_0 = (\underline{M}^T \underline{R}^{-1} \underline{M})^{-1} \quad /5.2.3-5/$$

W równaniach tych wymagana jest znajomość wariancji wyniku pomiaru $\hat{\sigma}_n^2$. Ścisłe, metrologicznie poprawne wyznaczenie wariancji wyniku pomiaru jest utrudnione ze względu na bardzo bogaty zbiór czynników zarówno o charakterze przypadkowym jak i systematycznym, które wpływają na wyniki pomiarów. Zdając sobie w pełni sprawę z grubego przybliżenia jakie przyjęto do dalszych rozważań, zakładając, że błędy zarówno automatycznego dzielnika napięcia jak i woltomierza cyfrowego mają charakter przypadkowy, a ich wypadkowy wpływ na wynik pomiaru daje quasinormalny rozkład błędu pomiaru, przyjęto za podstawę do wyznaczenia wariancji następującą zależność

$$\hat{\sigma}_n^2 = \lambda^2 \cdot \hat{\sigma}_{x,n}^2 + x_n^2 \hat{\sigma}_\lambda^2 \quad /5.2.3-6/$$

- gdzie: $\hat{\sigma}_n^2$ - wariancja wyniku pomiaru napięcia wyjściowego badanej sieci stałoprądowej,
 $\frac{1}{\lambda}$ - współczynnik podziału dzielnika napięcia,
 x_n - wartość napięcia na wejściu woltomierza cyfrowego,
 $\hat{\sigma}_{x,n}^2$ - wariancja wartości napięcia na wejściu woltomierza cyfrowego, obliczana na podstawie jego parametrów dokładnościowych,
 $\hat{\sigma}_\lambda^2$ - wariancja odwrotności stosunku podziału dzielnika, obliczona na podstawie parametrów dokładnościowych jego elementów.



Rys.5.2.3-1 Struktura układu dzielnik-woltomierz cyfrowy.

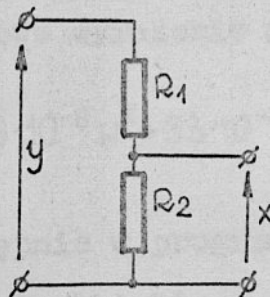
Zależność ta wynika z łańcuchowej struktury układu automatyczny dzielnik napięcia - woltomierz cyfrowy /rys.5.2.3-1/.

Wariancja σ_λ^2 wyraża się zależnością

$$\sigma_\lambda^2 = \left\{ \frac{R_1}{R_2} \right\}^2 \cdot \left\{ \left(\frac{\Delta R_1}{\eta R_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{\eta R_2} \right)^2 \right\} \quad /5.2.3-7/$$

gdzie: R_1, R_2 - są wartościami rezystancji rezystorów dzielnika /rys.5.2.3-2/,

$\frac{\Delta R_1}{R_1}, \frac{\Delta R_2}{R_2}$ - parametrami dokładnościowymi tych rezystorów na poziomie ufności odzwierciedlonym wartością η



Rys.5.2.3-2 Dzielnik napięcia

W analizatorze sieci stałoprądowych dla $\eta = 3$ błędy rezystorów dla wszystkich podzakresów dzielnika spełniają warunek

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} \leq 0.003 \quad ; \quad \frac{\Delta R_2}{R_2} \leq 0.003$$

daje to dla poszczególnych podzakresów następujące wartości wariancji σ_λ^2

- podzakres 100 mV $\{s=1, \lambda=10^{5-1}\}; \sigma_\lambda^2 \approx 0$
- podzakres 1 V $\{s=2, \lambda=10^{5-1}\}; \sigma_\lambda^2 \approx 2 \cdot 10^{-4}$
- podzakres 10 V $\{s=3, \lambda=10^{5-1}\}; \sigma_\lambda^2 \approx 2 \cdot 10^{-2}$ /5.2.3-8/
- podzakres 100 V $\{s=4, \lambda=10^{5-1}\}; \sigma_\lambda^2 \approx 2$

Wariancję wartości napięcia na zaciskach woltomierza cyfrowego, obliczona na podstawie jego wskazań, zawiera dwie główne składowe:

- składową analogową / o rozkładzie normalnym/,
- składową wynikającą z błędów dyskretyzacji / o rozkładzie równomiernym/.

Wariancja obliczona dla obu składowych wyraża się zależnością:

$$\sigma_x^2 = 2.8 \cdot 10^{-12} \cdot W^2 + 33 \cdot 10^{-6} [\text{mV}]^2 \quad /5.2.3-9/$$

Po uwzględnieniu zależności /5.2.3-6/, /5.2.3-8/, /5.2.3-9/ uzyskuje się wypadkowe wyrażenie na wariancję

$$\sigma_n^2 = 10^{-4} [(10^{5-1})^2 \{2.8 \cdot 10^{-8} W^2 + 33 \cdot 10^{-2}\} + W^2 \sigma_\lambda^2] [\text{mV}]^2 \quad /5.2.3-10/$$

wykorzystywane następnie w programie wyznaczania początkowego jak i końcowego modelu obiektu.

Procedury /5.2.3-4/, /5.2.3-5/ są wykonywane na maszynie Odra serii 1300 w języku Fortran dla (k+1) elementowego zbioru wyników pomiarów.

Dane wprowadzane są z taśmy perforowanej w następującej kolejności:

- wartość k określająca liczbę nieznanymi parametrów modelu pomniejszoną o jeden,
- identyfikator I

$$I = \begin{cases} \emptyset & \text{dla modelu opisanego równaniem /5.2.3-1/} \\ 1 & \text{dla modelu opisanego równaniem /5.2.3-2/} \end{cases}$$

- $k+1$ elementowy ciąg danych o wartościach nastaw źródeł programowanych i wyniku pomiaru. Zbiór danych o wartościach nastaw źródeł jest jednoelementowy dla $I=\emptyset$ lub dwuelementowy dla $I=1$. Wynik pomiaru składa się z wartości znaku i skali /rozd.5.2.2/.

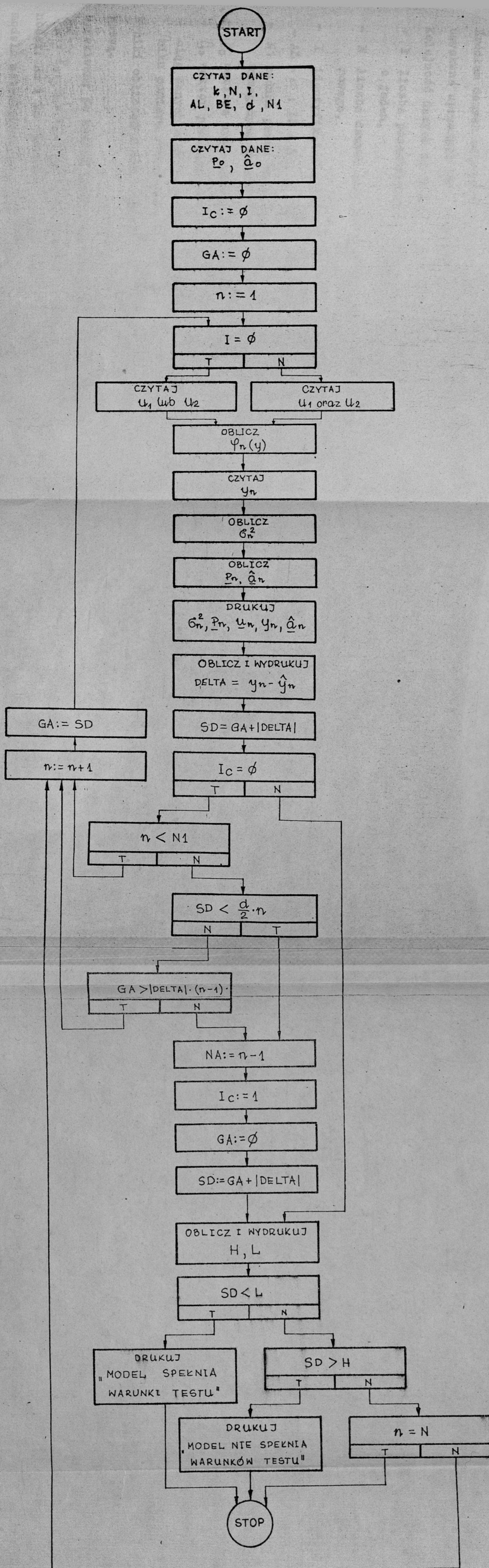
Wyniki obliczeń wyprowadzone są na taśmę binarną w następującej kolejności

- macierz \underline{P}_0 rejestrowana wierszami,
- wektor $\underline{\hat{Q}}_0$

Stanowią one podstawę do wykonywania dalszej części pomiarów badanej sieci stałoprądowej, a następnie do realizacji procedur obliczania końcowego modelu metrologicznego tej sieci.

5.2.4 Wyznaczanie końcowego modelu metrologicznego badanej sieci stałoprądowej

Zgodnie z informacjami zawartymi w rozdziale 3 końcowy model metrologiczny badanej sieci opisany równaniem /5.2.3-1/ lub /5.2.3-2/ oblicza się iteracyjnie z zależności /3.3-1/, /3.3-2/, /3.3-4/ /rys.5.2.4-1/. Dokładność modelu testuje się w oparciu



Rys. 5.2.4-1 Schemat blokowy programu wyznaczania końcowego modelu metrologicznego badanej sieci statoprądowej.

o zależności /3.3-9/, /3.3-10/ oraz /3.3-12/.

Źródłem danych wejściowych dla programu jest taśma perforowana uzyskana uprzednio jako wynik przeprowadzonych pomiarów.

Kolejność danych na taśmie jest następująca:

- k liczba poszukiwanych parametrów modelu pomniejszona o jeden,
- N liczba danych pomiarowych uzyskanych ze stanowiska pomiarowego,
- I identyfikator określający wybór postaci funkcji regresji,
 - AL = α ; BE = β , d parametry testu dokładności modelu,
- N1 zadana przez eksperymentatora liczba kroków pomiarowych, wymaganych do określenia wartości \overline{SD}_{N1} /rozd.3.3/,
- \underline{P}_0 macierz kowariancji wektora początkowych parametrów modelu,
- $\underline{\hat{Q}}_0$ wektor początkowych parametrów modelu,
- ciąg danych o wartościach nastaw źródeł programowanych i wyniku pomiaru /rozd.5.2.3/.

Wyniki obliczeń z komentarzem wyprowadzone są na drukarkę wierszową.

Uzyskiwany po każdym kroku obliczeniowym zbiór wyników:

$\hat{\sigma}_n^2$, \underline{P}_n , \underline{u}_n , \underline{y}_n , \underline{a}_n , DELTA, a ponadto dla końcowego testu dokładności: H_n i L_n pozwalają dokładnie śledzić proces wyznaczania modelu metrologicznego, jego zbieżność co jest niezmiernie ważne w przypadku małej znajomości obiektu przez eksperymentatora.

6. Praktyczny przykład realizacji procesu modelowania

Algorytm regresyjny przedstawiony w pracy sprawdzono eksperymentalnie. W tym celu wybrano możliwie prosty obiekt o dobrze znanych właściwościach i nieliniowej zależności wartości wielkości wyjściowej od wartości wielkości wejściowej obiektu. Obiektowi takiemu przy ustalonych wartościach wpływu czynników zewnętrznych można przyporządkować model jednowymiarowy.

Zadanie modelowania sformułowano następująco:

w obszarze eksperymentalnym

$$0 \text{ mA} \leq u \leq 10 \text{ mA} \quad /6-1/$$

przeanalizować proces budowy modelu metrologicznego $\hat{y} = \hat{y}(Q, u)$ diody półprzewodnikowej typu DK-60 w temperaturze otoczenia $T = 20^\circ\text{C}$.

Gdzie:

- u jest wartością prądu płynącego przez diodę w kierunku przewodzenia,
- y jest wartością spadku napięcia na diodzie.

Główną cechą zależności $y(u)$ jest jej logarytmiczny charakter zmienności. Właściwość ta narzuca więc ostre wymagania na postać przyjętego opisu modelu, który jak założono korzystając z twierdzenia Stone'a Weierstrassa może być opisany wielomianem /5.2.3-1/ stopnia k . Modele początkowe obiektu wyznaczono dla czterech przypadków przy $k = 1, 2, 3, 4$ w oparciu o zależność /5.2.3-4/ biorąc za podstawę wyniki pomiarów wykonanych w $(k+1)$ pierwszych punktach pomiarowych, wybranych metodą złotego podziału odcinka /6-1/. Dalszy proces poprawy właściwości dokładnościowych

modelu prowadzony dla ciągu następujących punktów pomiarowych wykazał zupełną nieadekwatność modeli przy $k=1,2,3,4$ i założonych parametrach testu dokładności $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.1$, $d = 10mV$. Nieadekwatność ta widoczna jest już w pierwszych krokach procesu modelowania.

W przypadku $k=3$ największe wartości błędu modelu uzyskanego po 22 krokach pomiarowo-obliczeniowych /rys.6-1/ występują w początkowej części obszaru eksperymentalnego $u < 1.25mA$. Wielomian stopnia trzeciego przy założonym wyborze punktów pomiarowych charakteryzuje się najmniejszą wartością \overline{SD}_n /3.3-8a/. W następnym etapie poprawę adekwatności modelu uzyskano poprzez dychotomiczny podział obszaru eksperymentalnego na dwa odcinki:

$$0mA \leq u < 5mA \quad /6-2/$$

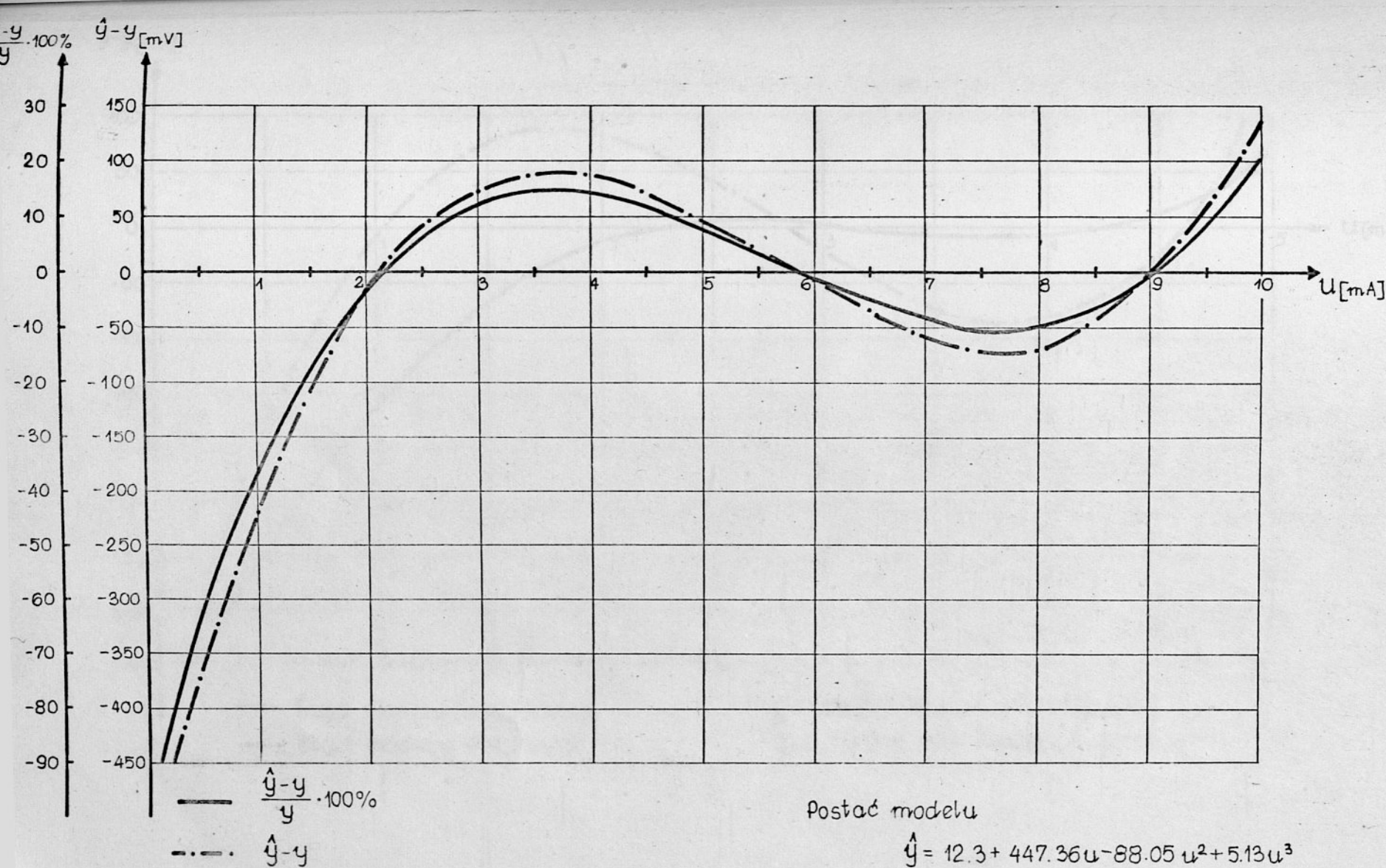
$$5mA \leq u < 10mA \quad /6-3/$$

Modele początkowe wyznaczono jak poprzednio dla $k=1,2,3,4$. Dwudziestotrzy-elementowy podzbiór wyników pomiarów stanowił następnie podstawę do sekwencyjnej poprawy dokładności obu modeli.

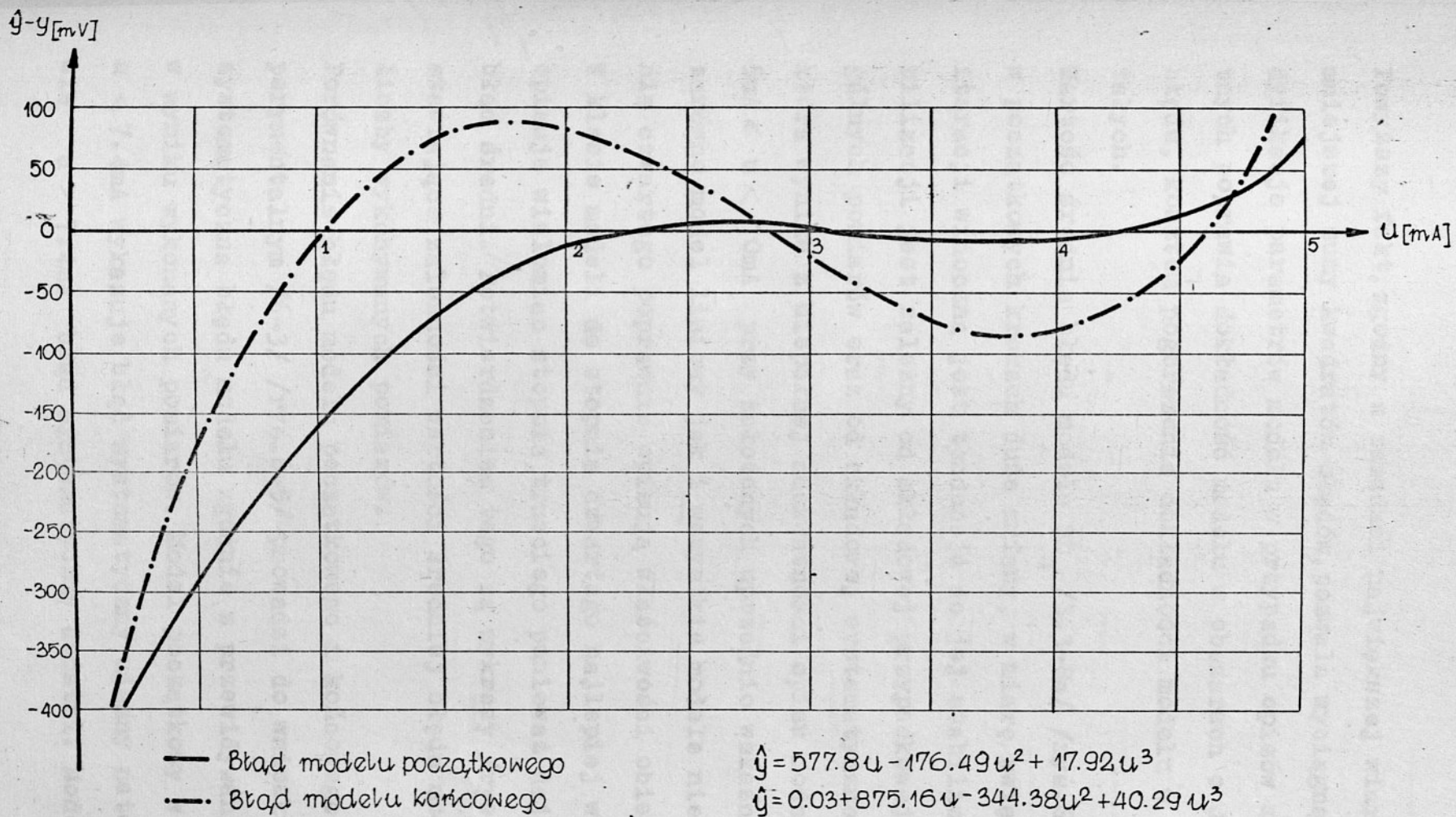
W obszarze eksperymentalnym /6-2/ wszystkie założone postacie opisu modelu zdecydowanie błędnie odzwierciedlają właściwości obiektu. Rozkład błędu modelu początkowego /rys.6-2/ jest zdecydowanie nierównomierny.

W przedziałach $u < 2mA$, $u > 4.5mA$ błąd jest bardzo duży, natomiast w obszarze $2mA < u < 4.5mA$ błąd nie przekracza $\pm 10mV$.

W wyniku wykonywanych pomiarów maleją wartości bezwzględne błędów w obszarze $u < 1.45mA$ natomiast rosną poza dwoma wyjątkami /otoczenia punktów $u=2,75mA$, $u=4.6mA$ / w pozostałej części obszaru eksperymentalnego.



Rys. 6-1. Rozkład błędów modelu diody typu DK-60 w obszarze eksperymentalnym $0 \text{ mA} \leq u < 10 \text{ mA}$

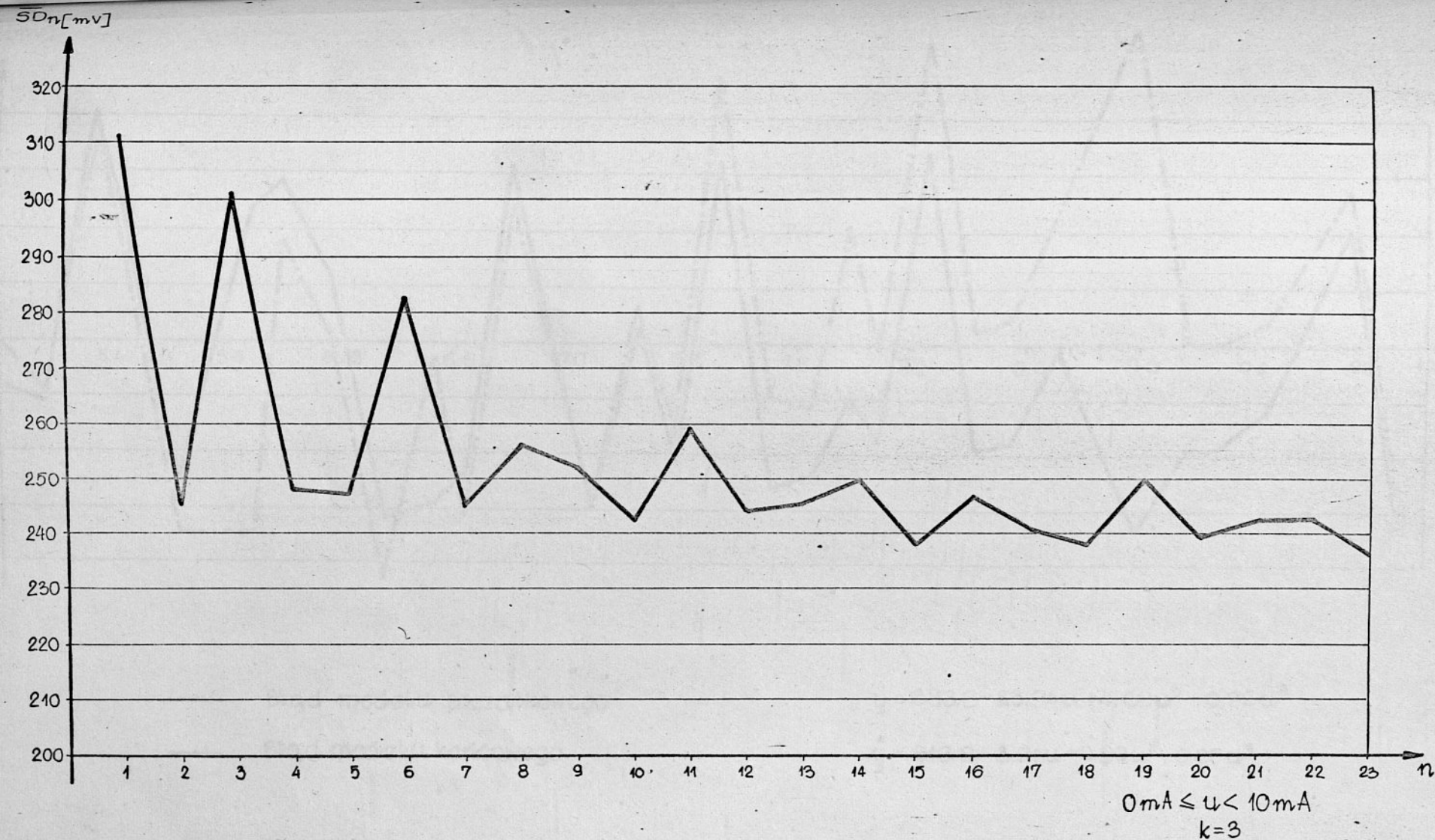


Rys.6-2. Rozkład błęd modelu diody typu DK-60 w obszarze eksperymentalnym $0 \text{ mA} \leq u < 5 \text{ mA}$

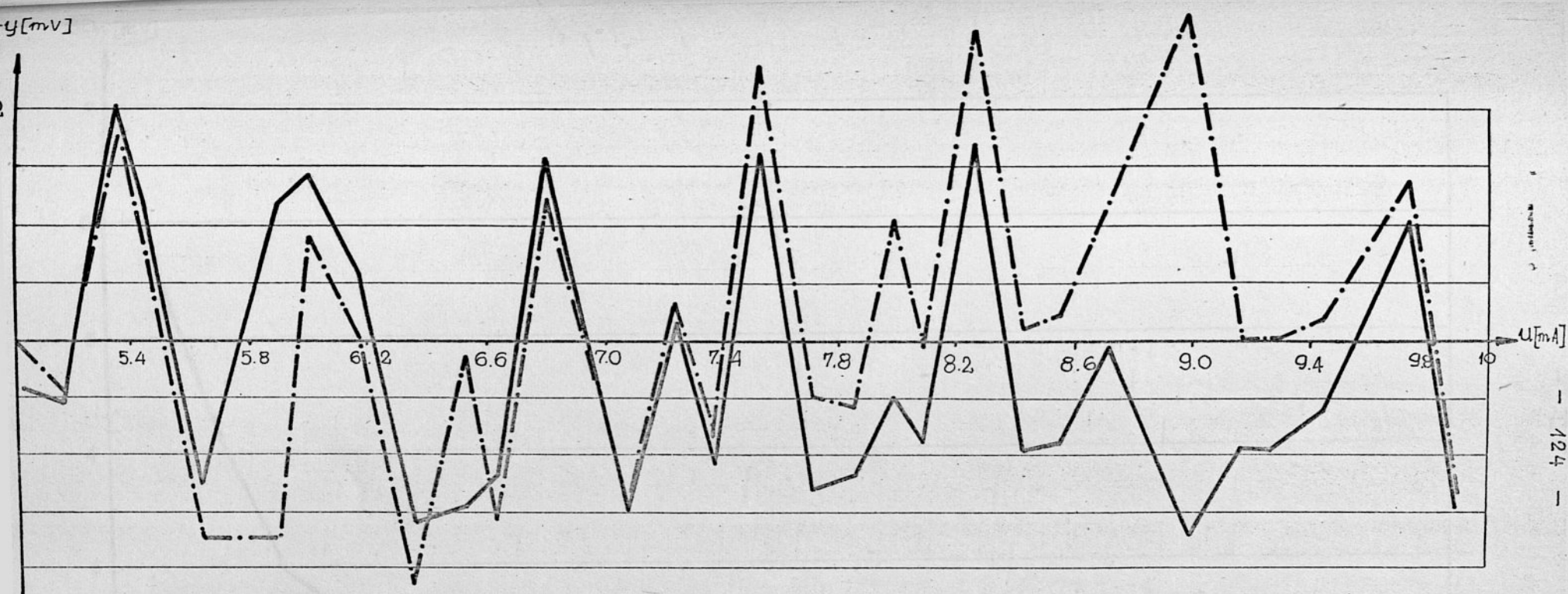
Powyższy fakt, zgodny z zasadami największej wiarygodności i najmniejszej sumy kwadratów błędów, pozwala wyciągnąć wniosek, że modyfikacja parametrów modelu w przypadku opisów modeli nieadekwatnych poprawia dokładność modelu w obszarach o dużej wartości błędu, kosztem pogorszenia dokładności modelu w obszarach pozostałych.

Wartość średnia błędu modelu \overline{SD}_n /3.3-8a/ /rys.6-3/ wykazuje w początkowych krokach duże zmiany, w miarę zwiększania liczby iteracji widoczna jest tendencja do jej stabilizacji. Poziom stabilizacji jest zależny od składowej przypadkowej błędów poszczególnych pomiarów oraz od składowej systematycznej błędu modelu, która wynika z niepełnej adekwatności opisu modelu. W zakresie $5mA \leq u < 10mA$ przy założonych uprzednio wskaźnikach dokładności zarówno model liniowy jak i wszystkie modele nieliniowe do stopnia czwartego poprawnie opisują właściwości obiektu /rys.6-4/. W klasie modeli do stopnia czwartego najlepiej właściwości diody opisuje wielomian stopnia trzeciego ponieważ daje najmniejszy błąd średni. Potwierdzeniem tego są wykresy /rys.6-4a,b,c/ przedstawiające zależności wartości średniej błędu modelu w funkcji liczby wykonywanych pomiarów.

Porównanie błędu modelu początkowego i końcowego w obszarze eksperymentalnym /6-3/ /rys.6-5/ prowadzi do wniosku, że składowa systematyczna błędu modelu zgodnie z przewidywaniami zmalała w wyniku wykonanych pomiarów. Model początkowy w zakresie $u < 7.4mA$ wykazuje błąd systematyczny ujemny natomiast w zakresie $u > 7.4mA$ błąd systematyczny dodatni. Model końcowy po-



Rys.6-3. Przebieg wartości średniej błęd modelu diody typu DK-60 w funkcji liczby wykonywanych pomiarów.

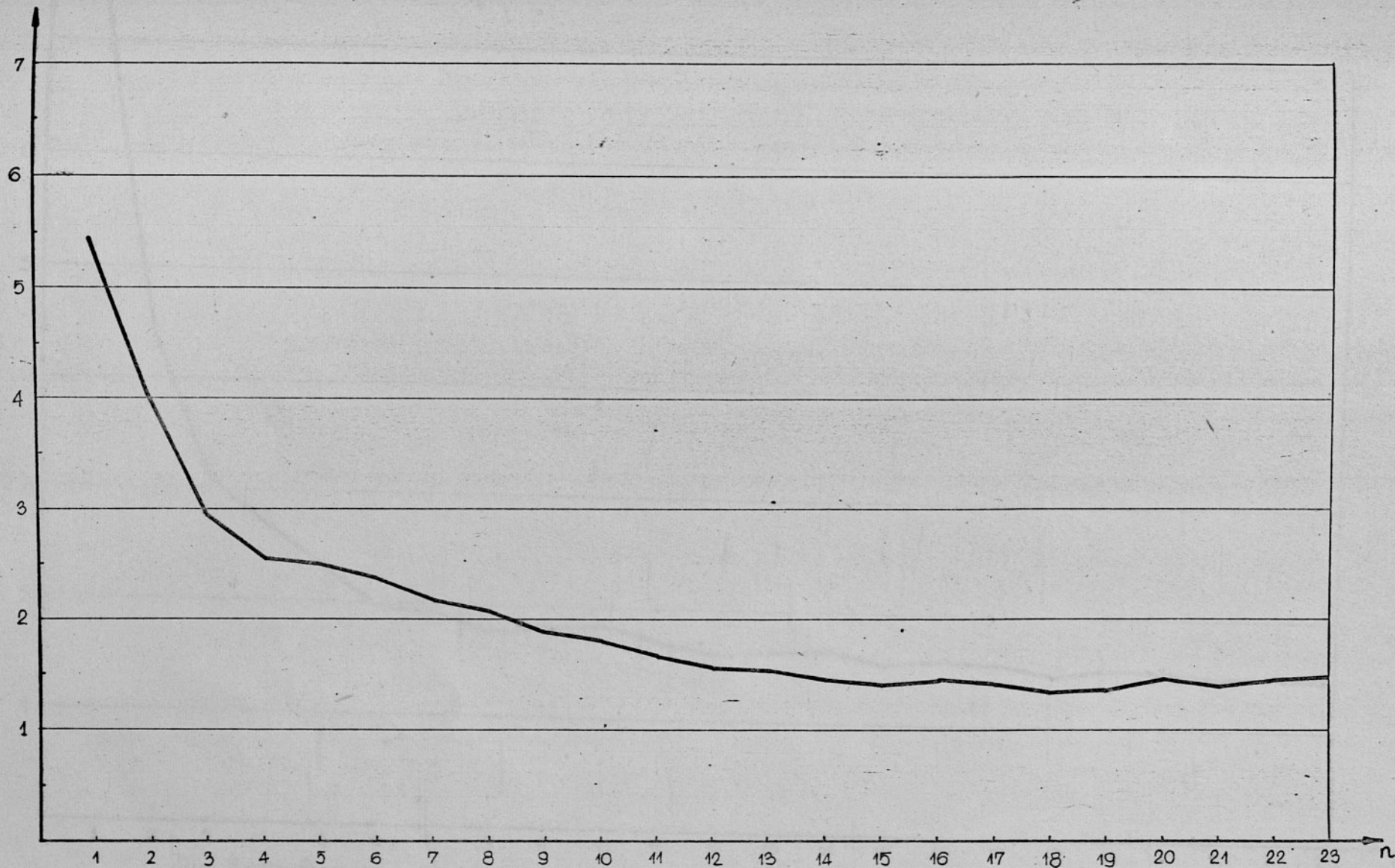


- Błąd modelu początkowego
- Błąd modelu końcowego

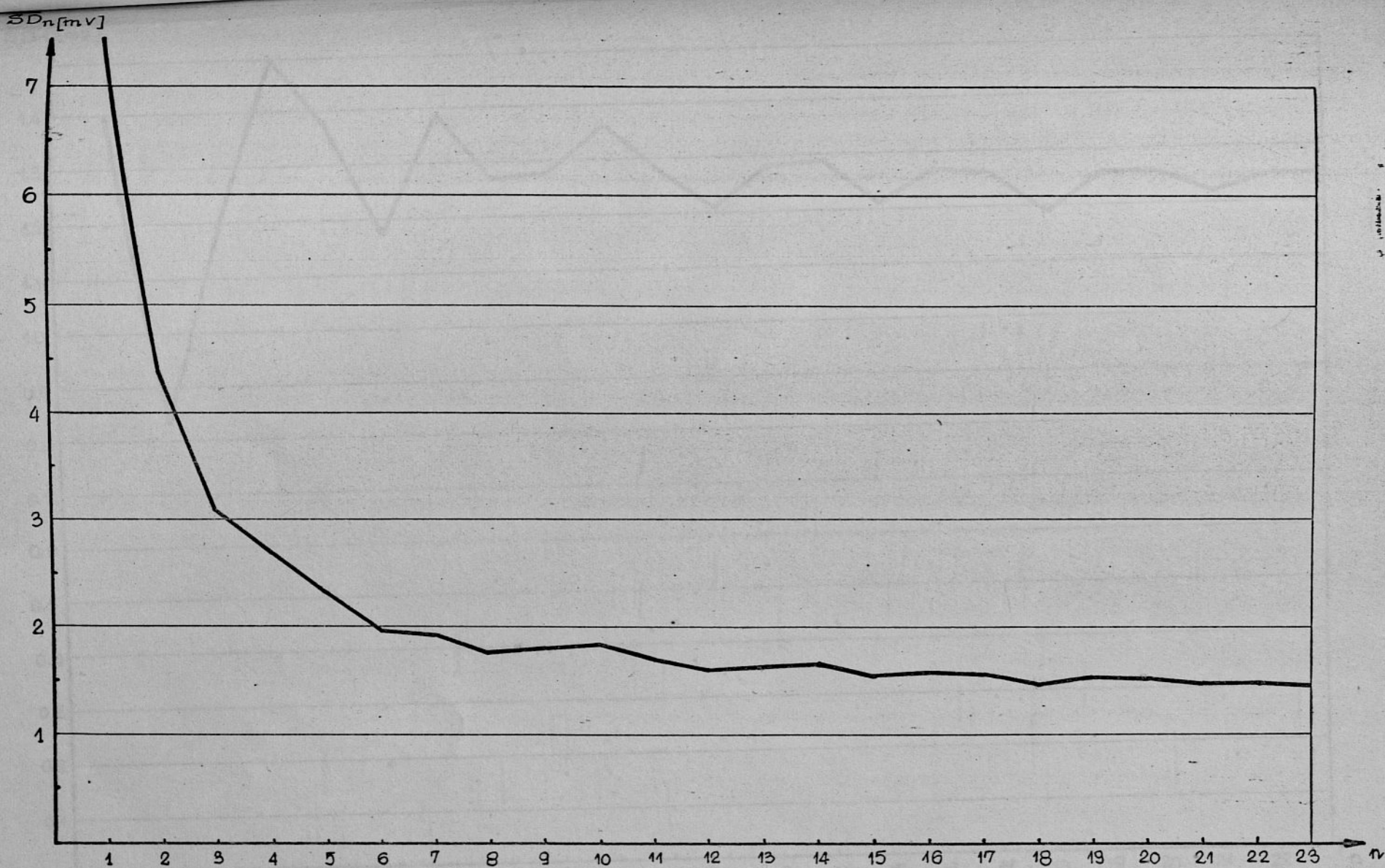
$$\hat{y} = 683.8 - 23.84u + 4.68u^2 - 0.22u^3$$

$$\hat{y} = 619.8 + 3.91u + 0.80u^2 - 0.05u^3$$

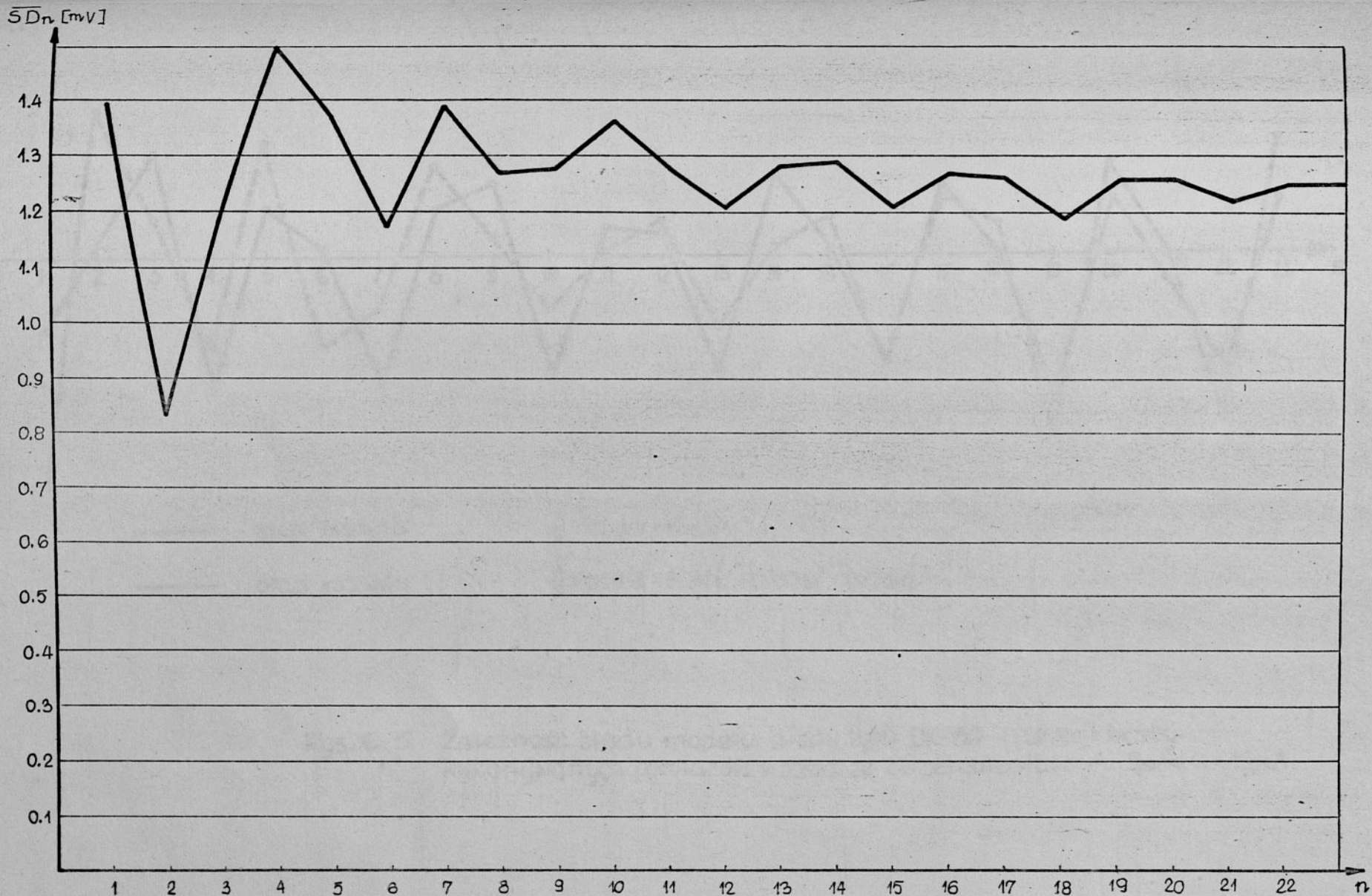
Rys. 6-4. Rozkład błęd modelu diody typu DK-60 w obszarze eksperymentalnym $5\text{mA} \leq u < 10\text{mA}$.

\overline{SD}_n [mV]

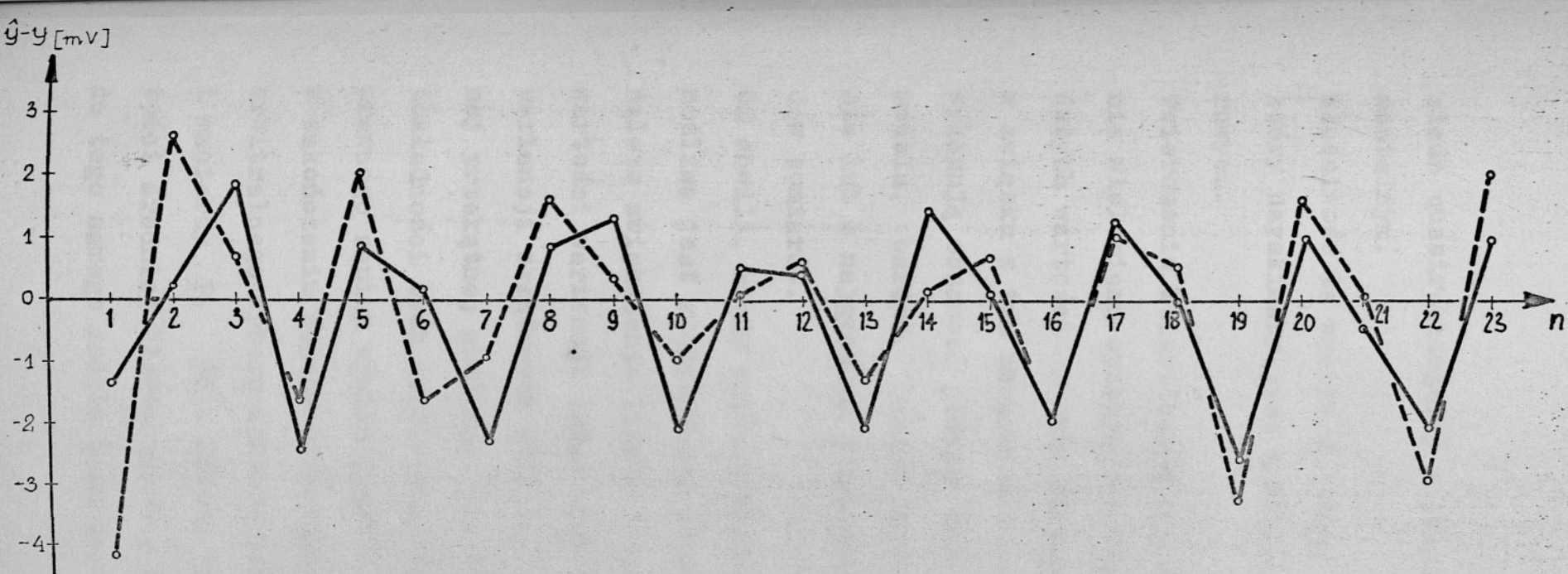
Rys. 6-4a. Przebieg wartości średniej błędzi modelu diody typu DK-60 w funkcji liczby wykonywanych pomiarów dla $k=1$; $5\text{mA} \leq u < 10\text{mA}$



Rys. 6-4b. Przebieg wartości średniej błęd modelu diody DK-60 w funkcji liczby wykonywanych pomiarów dla $k=2$; $5\text{mA} < u < 10\text{mA}$.



Rys. 6-4c. Przebieg wartości średniej błęd modelu diody typu DK-60 w funkcji liczby wykonywanych pomiarów dla $k=3$; $5\text{mA} \leq u < 10\text{mA}$



----- błąd modelu

$$\hat{y} = 626.7 + 6.69u$$

———— błąd modelu

$$\hat{y} = 619.8 + 3.91u + 0.80u^2 - 0.05u^3$$

Rys. 6-5. Zależność błędu modelu diody typu DK-60 w funkcji liczby wykonywanych pomiarów w obszarze eksperymentalnym $5\text{mA} \leq u < 10\text{mA}$

siada quasirównomierny rozkład błędów w całym obszarze eksperymentalnym.

Właściwość ta wynika z istoty wyznaczania modelu początkowego, który uzyskiwany jest metodą interpolacji $(k+1)$ punktów pomiarowych.

Twierdzenie Weierstrassa nie daje przesłanek co do wyboru stopnia wielomianu opisującego właściwości obiektu, a przyjmowanie dużych wartości k nie zawsze daje dostatecznie dobre wyniki, w związku z tym stosowane opisy niskich stopni lokalnie zawsze wykazują obecność pewnych składowych systematycznych błędów modelu, bardzo ważne jest jednak aby składowe te były mniejsze lub w najgorszym przypadku porównywalne z wariancjami błędów pomiarów.

Od chwili, kiedy rozkład błędów modelu jest quasirównomierny możliwa jest statystyczna poprawa dokładności modelu poprzez dalsze zwiększanie liczby pomiarów. Jej wynikiem jest spadek wartości wariancji składowych wektora \hat{Q}_n . Wartości liczbowe wariancji składowych wektora \hat{Q}_n są jak wiadomo elementami głównej przekątnej macierzy \underline{P}_n . Stanowią one podstawę do określenia dokładności tych współczynników, istotnej z punktu widzenia poprawnego zapisu wyniku procesu modelowania.

W zakończeniu należy stwierdzić, że stosowane są również metody arbitralnego wyboru wektora parametrów początkowych modelu i macierzy \underline{P}_0 [68]. Metody te dają początkowo duże zmiany wartości średniej błędów modelu. W efekcie końcowym prowadzą jednak do tego samego modelu lecz po większej liczbie kroków pomiarowych.

Zakończenie

Z dotychczasowych rozważań wynika, że proces modelowania metrologicznego zależy w znacznej mierze od doświadczenia i intuicji eksperymentatora. O ile wnioski wynikające z doświadczenia eksperymentatora można zebrać, sformalizować i wykorzystać do automatyzacji procesu wyznaczania modeli metrologicznych o tyle intuicja eksperymentatora pozostaje nadal nieuchwytna dla środków formalnych i automatyzacji.

Rozwiązanie zagadnienia automatyzacji operacji wyznaczania modeli metrologicznych jest możliwe jeżeli przyjęty zostanie zbiór ograniczeń, który zawęzi klasę modelowanych obiektów. Można wyróżnić dwa rodzaje tych ograniczeń;

ograniczenia formalne wynikające z zastosowanego w procesie identyfikacji aparatu matematycznego, oraz

ograniczenia aparaturowe wynikające z właściwości zastosowanej aparatury pomiarowej i informatycznej.

W praktyce najczęściej pomiędzy obydwojmi rodzajami ograniczeń występują powiązania, które powodują, że w procesie projektowania eksperymentu identyfikacji oba rodzaje ograniczeń należy uwzględniać jednocześnie.

I tak w opracowanym algorytmie wyznaczania przedziałowych modeli metrologicznych, zastosowany aparat matematyczny pozwala na jednoznaczne porządkowanie modelu metrologicznego obiektowi w przypadku kiedy:

- parametry modelu obiektu przez czas trwania procesu pomiarowego można uważać za niezależne od czasu,

- zależność wielkości wyjściowej obiektu od wielkości wejściowej musi być funkcją jednoznaczną, przykładowo zostaje więc wyłączona z procesu modelowania klasa obiektów wykazujących histerezę,
- zależność wielkości wyjściowej obiektu od wielkości wejściowej musi mieć pochodną o ograniczonej wartości w dowolnym podprze-
dziale obszaru eksperymentalnego.

Ponieważ w praktyce bardzo wąska klasa obiektów, w szczególności wzorców, wykazuje niezmiennosc swoich właściwości w szerokim przedziale czasu, dlatego dla większości obiektów łączny czas trwania procesu pomiarowo-obliczeniowego jest limitowany. Również "czas życia modelu", w którym opisuje on na zadanym poziomie dokładności rzeczywisty obiekt jest ograniczony. Uzyskanie przybliżonego wskaźnika liczbowego określającego stopień niestacjonarności obiektu jest możliwe, wymaga jednak przeprowadzenia serii dodatkowych pomiarów.

Zastosowana miara dokładności modelu w postaci normy Czebyszewa, aczkolwiek nie uwzględnia ekonomicznych aspektów procesu identyfikacji, jest jednak z metrologicznego punktu widzenia dobrym sposobem oszacowania dokładności modelu. Daje ona również podstawę do realizacji operacji suboptymalnego rozmieszczania punktów pomiarowych w obszarze eksperymentalnym.

W pracy z przyczyn przedstawionych w rozdziale/2.8/ nie wykonano szczegółowej syntezy struktury pomiarowo-informacyjnej pracującej według algorytmu wyznaczania przedziałowych modeli metrologicznych, stąd niemożliwe jest ścisłe sformułowanie ograniczeń aparaturowych narzuconych przez urządzenie na modelowaną klasę obiektów.

W opisanym w rozdziale 3 algorytmie regresyjnym wyznaczania modeli metrologicznych zastosowane środki formalne wymagają podobnie jak poprzednio:

- niezależnych od czasu parametrów modelu obiektu przez czas trwania procesu pomiarowego,
- ciągłej i jednoznacznej zależności wielkości wyjściowej obiektu od zbioru wielkości wejściowych.

A ponadto konieczna jest znajomość:

- postaci opisu modelowanego obiektu,
- błędu pomiaru wielkości wyjściowej obiektu w postaci wariancji wyniku pomiaru.

Metoda wymaga więc wyboru odpowiednio dokładnego przyrządu pomiarowego do pomiaru wielkości wyjściowej obiektu i eliminacji z wyniku pomiaru składowej systematycznej błędu pomiaru.

Metoda zakłada natomiast, że wartości wielkości wejściowych obiektu zadawane są z wystarczającą dokładnością.

Przy zachowaniu wyżej wymienionych warunków możliwe jest wyznaczenie metodą regresyjną modeli metrologicznych szerokiej klasy obiektów spotykanych w praktyce np. obiektów przemysłowych, złożonych elementów, półproduktów i produktów uzyskiwanych w procesie technologicznym, przy czym liczba wykonanych pomiarów jest wielokrotnie mniejsza niż w metodzie wyznaczania modeli przedziałowych.

Zastosowana w strukturze pomiarowej stanowiska aparatura określa:

- liczbę i rodzaj wielkości fizycznych wejściowych i wyjściowych dla danego obiektu,

- zakresy i szybkości zmian tych wielkości,
- czasy trwania poszczególnych pomiarów,
- możliwości sterowania procesem pomiarowym i przetwarzania wyników pomiarów.

Przykładowe rozwiązania przedstawione w rozdziale 4 pracy przyjmuje jako wielkości wejściowe i wyjściowe obiektu wielkości elektryczne, określa zakresy programowanych napięć i prądów wejściowych obiektu, ogranicza zakres mierzonego napięcia i prądu wyjściowego badanej sieci. Czas trwania poszczególnych pomiarów jest funkcją: czasu wykonywania pojedynczej nastawy źródeł programowanych, czasu modyfikacji struktury pomiarowej łącznie z wykonaniem pojedynczego pomiaru wielkości wyjściowej oraz czasu pracy informatycznych urządzeń zewnętrznych minikomputera. Jak wynika z rozdziału 5 przyjęcie za podstawę do konstrukcji systemu pomiarowego dostępnego krajowego minikomputera MERA-302 pociągnęło za sobą konieczność zdekomponowania struktury oprogramowania i wykonania części obliczeń na maszynie cyfrowej serii Odra 1300.

Przy podejmowaniu decyzji co do dekompozycji zdawano sobie sprawę, że procedury obliczeniowe w metodzie regresyjnej da się wykonać za pomocą dobrego minikomputera, a nawet kalkulatora programowanego.

Liczono jednak na rokujące nadzieje możliwości korzystania z końcówki systemu WASC/Wielodostępny Abonencki System Komputerowy/w jaką miał zostać wyposażony instytut, pozwoliłoby to na szybkie wykonanie bardziej złożonych procedur obliczeniowych sposobem wsadowym na maszynach systemu.

Zaproponowany sposób dekompozycji pomimo swojej negatywnej cechy, którą jest dezoptimalizacja procesu modelowania metrologicznego pozwala jednak, na zbadanie dla konkretnych przypadków właściwości algorytmu regresyjnego co do jego przydatności praktycznej i szybkości zbieżności.

Wydaje się więc, że na tle przeprowadzonych rozważań podstawowe cele pracy można uważać za osiągnięte, a tezę pracy za udowodnioną.

LITERATURA

- [1] Sztuff W., Modelowanie i filozofia. PWN, Warszawa 1971.
- [2] Modele matematyczne systemów i procedur pomiarowych. Komitet Metrologii i Danych dla Nauki i Techniki PAN, Sympozjum Wisła-styczeń 1975.
- [3] Piwowarczyk T., Skuszkiewicz T., Metromorfizm i kartusze. Prace Naukowe Instytutu Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej. Konferencja, Podstawowe Problemy Metrologii, Wrocław 1975.
- [4] Evans G.W., Wallace G.F., Sutherland G.L., Simulation using digital computers, Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey USA 1967 /tłumaczenie polskie Symulacja na maszynach cyfrowych. WNT, Warszawa 1973/.
- [5] Bratko A.A., Woźkow P.P., Koczergin A.N., Cariegorodcew G.I., Modelowanie czynności psychicznych. PWN, Warszawa 1973.
- [6] Ackoff R.L., Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. PWN, Warszawa 1969.
- [7] Hooke R., Shaffer D., Modele matematyczne a rzeczywistość. PWN, Warszawa 1969.
- [8] Sawyer W.W., W poszukiwaniu modelu matematycznego, WP, WARSZAWA 1975.
- [9] Cannon R.H., Dynamika układów fizycznych. WNT, Warszawa 1973.
- [10] Dixhorn J.J., Evans E.J., Physical structure in systems theory. Academic Press London, New York, San Francisco 1974.
- [11] Bubnicki Z., Identyfikacja obiektów sterowania. PWN, Warszawa 1974.

- [12] Grzegorzcyk A., Zarys logiki matematycznej. PWN, Warszawa 1973.
- [13] Schwarz W., Analogprogrammierung Theorie und Praxis des Programmierens fur Analogrechner. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1974.
- [14] Brockhaus ABC - Physik. Leipzig 1973.
- [15] Encyklopedia fizyki. PWN, 1973.
- [16] Wigner E., Zagadnienie pomiaru. Postępy Fizyki, zeszyt 4, 1964 rok, str. 423-436.
- [17] Rymaszewski R., Operacyjno-mnogościowy model procesu pomiarowego. Prace Naukowe Instytutu Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, materiały z konferencji, Podstawowe Problemy Metrologii, Wrocław 1975, str. 33-45.
- [18] Kuśnierkiewicz J., Układ jego pojęcie i zastosowanie, Pomiar Automatyka Kontrola, zeszyt 6, 1968.
- [19] Brillouin L., Nauka a teoria informacji. PWN, Warszawa 1969.
- [20] Wasmuth H., Beschreibung technischer Gebilde durch mathematische Modelle Eine, literatur - Ubersich /1968-1973/. Messen Steuern Regeln 18, zeszyt 1, 1975, str. 29 - 30.
- [21] Mańczak K., Identyfikacja wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1971.
- [22] Sanjit Kumar Mitra, Analiza i synteza układów aktywnych liniowych. WNT, Warszawa 1974.
- [23] Kacprzyński B., Planowanie eksperymentów podstawy matematyczne. WNT, Warszawa 1974.
- [24] Holtzman J.M., Nonlinear Sytem Theory A functional Analysis Approach. Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1970.
- [25] Zieliński R., Wybrane zagadnienia optymalizacji statystycznej. Analiza powierzchni odpowiedzi. Planowanie doświadczeń ekstremalnych. PWN, Warszawa 1974.

- [26] Sympozjum Miernictwo Elementów półprzewodnikowych i mikro-układów scalonych, Instytut Technologii Elektronicznej Politechniki Gdańskiej. Instytut Technologii Elektronicznej przy Naukowo - Produkcyjnym Centrum Półprzewodników. Czarlina, 8 i 9 czerwca 1973.
- [27] Sympozjum Automatyzacja procesów produkcyjnych elementów półprzewodnikowych i układów scalonych. Warszawa 1973.
- [28] Kern J., Zieliński Z., Zagadnienia konstrukcji systemów do pomiarów obwodów scalonych, Prace Naukowe IME Politechniki Wrocławskiej, Seria konferencje 1975.
- [29] Mangolds B., RUDI: a computer - controlled test - data aquisition and processing system. IEEE Trans. Instrum and Meas 1971, No 4, str. 209 - 217.
- [30] Systron Donner, 1974 Instruments Catalog /str.246 - 256/.
- [31] Automatický zkošec a měřič logických integrovanych obvodů BM 528, Předběžná technická data. Brno 18.10.1972.
- [32] Automat do segregacji diod półprzewodnikowych 1E01. Karta katalogowa, PIE, Warszawa 1973.
- [33] Przyrząd do modelowania i automatycznego testowania elementów i układów cyfrowych MINI-TEST - 01. Karta katalogowa PIE, Warszawa 1973.
- [34] Przyrząd do kontroli tranzystorów i obwodów scalonych /informacja o wystawie firmy Teradyne/. Pomiary Automatyka Kontrola, zeszyt 5, 1974, /str. 230 - 234/.
- [35] Draper N.R., Smith H., Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa 1973.
- [36] Chaponille P., Planification et analyse des experiences. Masson et CIE, Editeurs, Paris 1973.
- [37] Orzeszkowski Z., Wybrane działy z teorii pomiaru, Wrocław 1974.

- [38] Kacprzyński B., Prace Instytutu Automatyki. Metody organizowania eksperymentu adaptacyjnej optymalizacji. PWN, Warszawa 1968 z.48.
- [39] White D., Statistics for education with data processing. Horper and Row Publishers, New York, Evanston, San Francisco, London 1973.
- [40] Ahlers H., Gaskarow D.W., Waldmann J. i inni, Geplante Experimente für Konstruktion und Technologie elektronischer Bauelemente. Nachrichtentechnik. Elektronik - 25 /1975/ Heft 2, str.57 - 63.
- [41] Nalimow W.W., Czernowa N.A., Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych. WNT, Warszawa 1967.
- [42] Volk W., Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.
- [43] Giżewski S., Wyznaczanie cząstkowego modelu metrologicznego populacji generalnej tranzystorów metodą regresyjną. Prace IME, Seria Konferencje, zeszyt 2. Wrocław 1975 str.81 - 90.
- [44] Krogmann U., Regressionsfilter zur optimalen Schätzung von Systemparametern. Internationale Elektronische. Rundschau 1974, No 11, str. 221 - 225.
- [45] Krogmann U., Zur Anwendung des Kalman - Filters. Internationale Elektronische. Rundschau 1974, No 8.
- [46] Juskiewicz J., Generacja sygnału losowego o zadanej gęstości rozkładu prawdopodobieństwa, Praca doktorska, IME, Wrocław 1975.
- [47] Zieliński R., Generatory liczb losowych. Programowanie i testowanie na maszynach cyfrowych. WNT, Warszawa 1972.
- [48] Cholewa J., Czyżewski E., Giżewski S., Juskiewicz J., Rymaszewski R., Zalesski A., Opis techniczny autonomicznego systemu pomiarowego SPES-M z minikomputerem MERA - 302. Instytut Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, Raport nr 82, 1975.

- [49] Czyżewski E., Uniwersalna jednostka sterująca do kanału multipleksora minikomputera MERA-302. Komunikat Instytutu Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1976.
- [50] MOMIK 8b - Zasady działania cz.I Tom 3. IMM, Warszawa 1972.
- [51] Rymaszewski R., Translator TSB-1. Instytut Metrologii Elektrycznej, Wrocław 1976.
- [52] Mitra 15. Manuel de presentation; hardware. Compagne Internationale pour l'Informatique 1974.
- [53] PDP 11/34 Processor Handbook. Digital Equipment Corporation 1976.
- [54] Gizewski S., Możliwości wykorzystania minikomputera MERA-302 do przetwarzania danych pomiarowych w procesie wyznaczania modelu metrologicznego populacji obiektów dwuwymiarowych. Prace IME, Seria Konferencje No 3/1976.
- [55] Zakład Doświadczalny Oprogramowania przy Instytucie Maszyn Matematycznych: Komputer Biurowy MERA-302, tom 2, cz.3, Warszawa, październik 1973.
- [56] Giard F., Méthodes et moyens de contrôle des C.I. de logique Un systeme de mesures statiques et fonctionelles pilote par calculateur. Electron Industr. 1970, nr 132, str.190-194
- [57] Kemter L., Halbautomatischer Gut/Schlecht - Tester für monolithisch integrierte Schaltkreise. Radio Fernsehen Elektronik 1973 nr 6.
- [58] A summary Catalog of Test Systems and Instruments Made By Teradyne Inc. Boston USA 1971.
- [59] Automatic Test Equipment For Electronics Manufacturing. Teradyne Boston USA 1973.
- [60] Wernstedt J., Voigt D., Zur rekursiven Gestaltung der verallgemeinerten Regression für die Ermittlung statischer Modelle.

- [61] Praca zbiorowa. Poradnik inżyniera matematyka. WNT, Warszawa 1971.
- [62] Badźmirowski K., Wildt K., System programowania minikomputera MERA-302. Prace Przemysłowego Instytutu Elektroniki, Warszawa 1975, zeszyt 4 /56/.
- [63] Kacprzyński B., Metody organizowania eksperymentu adaptacyjnej optymalizacji. Warszawa 1968, Prace Instytutu Automatyki PAN, zeszyt 76.
- [64] Steinhaus H., Liczby złote i żelazne. Zastosowania Matematyki 1956, t.3, z.1, PWN, Warszawa 1956.
- [65] Julius S. Bendat, Allan G. Piersol, Random data analysis and measurement procedures. John Wiley and sons Inc. New York, London, Sydney, Toronto, /tłumaczenie na j.ros./ Bendat J., Pirsol A., Izmierienije i analiz słuczajnych processov. Mir, Moskva 1974.
- [66] Mańczak K., Technika planowania eksperymentu. WNT, Warszawa 1976.
- [67] Lukin G., Rozenberg W., Ob ocenkie pogrešnosti opredelenia zavisimosti meždú welicinami. Izmeritielna Technika, Moskva, 1976/8.
- [68] Vajk I., Keviczky L., On The adaptive identification of systems vith time - varying parameters. Periodica Polytechnica, Electrical Engineering vol 20. No 1, 1976. Technical University Budapest.
- [69] Rumszyski L., Matematyczne opracowanie wyników eksperymentu WNT, Warszawa 1973.
- [70] Strzałkowski A., Śliżyński A., Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów. PWN, Warszawa 1973.
- [71] Mulvey J., Semiconductor Device Measurements. Tektronix, Inc. 1968, Beaverton.
- [72] Spiralski L., Miernictwo układów scalonych. WKŁ, Warszawa 1974.

*Instrukcje i operacje wejścia wyjścia KMP.

| Kod | | Typ | Zawartość akumulatora | Nazwa rozkazu - wykonywane operacje |
|-----------------|---------------------------------------|--------|---|---|
| A | BA | | | |
| 1 1 \emptyset | 1 $\emptyset \emptyset$ 1 1 | PISZ | $\emptyset \emptyset$ 1 \emptyset NRP | DOKŁĄCZ - jednostka sterująca o numerze podanym w polu NRP zostaje przygotowana do przyjęcia następnych instrukcji. |
| 1 1 \emptyset | \emptyset $\emptyset \emptyset$ 1 1 | CZYTAJ | | CZYTAJ STAN - zawartość rejestru stanu, do której uprzednio wysłano DOKŁĄCZ zostaje przestana do akumulatora. |
| 1 1 \emptyset | 1 $\emptyset \emptyset$ 1 1 | PISZ | $\emptyset \emptyset \emptyset \emptyset$ NRP | CZYTAJ BLOK - zainicjowanie przez jednostkę centralną transmisji bloku danych z urządzenia pomiarowego obsługiwane przez jednostkę o numerze NRP do PAO. |
| 1 1 \emptyset | 1 $\emptyset \emptyset$ 1 1 | PISZ | $\emptyset \emptyset \emptyset$ 1 NRP | PISZ BLOK - zainicjowanie przez jednostkę centralną transmisji bloku danych z PAO jednostki centralnej do urządzenia pomiarowego obsługiwane przez jednostkę o numerze NRP. |
| 1 1 \emptyset | 1 $\emptyset \emptyset$ 1 1 | PISZ | $\emptyset \emptyset$ 1 1 NRP | ODKŁĄCZ - jednostka sterująca o numerze NRP przechodzi w stan nieoperatywna. |
| 1 1 \emptyset | 1 $\emptyset \emptyset$ 1 1 | PISZ | \emptyset 1 $\emptyset \emptyset$ NRP \emptyset 1 \emptyset 1 NRP \emptyset 1 1 \emptyset NRP : 1 1 1 1 NRP | STERUJ - jednostka sterująca o numerze NRP inicjuje w urządzeniu pomiarowym odpowiednią operację. |

WAGA : W przypadku niezerowej zawartości rejestru stanu jednostki sterującej instrukcje: CZYTAJ BLOK, PISZ BLOK oraz STERUJ nie są przyjmowane.

D O D A T E K "B"

Program obliczania wartości wielkości wejściowych
badanej sieci stałoprądowej

DP P0;
WY 8;
WL 10;
WL 10;
WL 13;
WT /ROZMIESZCZENIE PUNKTÓW POMIAROWYCH NA ODCINKU</;
TS R14,/B888889.9999999-;/
CP R10,8;
WE 5;
QY R10,R15;
PU R10,R14;
WT /:/;
CP R11,8;
QY R11,R15;
PU R11,R14;
WT /> WEDŁUG PODZIAŁU ŻŁOTEGO /;
WL 10;
WL 10;
WL 10;
WL 13;
RO R11,R10;
WT / u*=;/
CP R5,8;
QY R5,R15;
PU R5,R14;
RO R5,R10;
RI R5,R11;
WT / z=;/
CP R0,8;
WE 5;
QY R0,R15;
PU R0,R14;
WT / N=;/
CP R4,0;
WE 5;
QY R4,R15;
TS R15,/B888888888888889+;/
PU R4,R15;
WL 10;
WL 10;
WL 10;
WL 13;
CP R1,8;
LR R1,0.00000000;
CP R6,0;
LR R6,1;
CP R7,0;
LR R7,3;

DL E1;
 CP R3,0;
 LR R3,0;
 DL E2;
 CP R2,8;
 RZ R2,R1;
 RM R2,R0;
 RD R2,R5;
 CP R8,8;
 RZ R8,R2;
 CQ R8,0;
 RO R2,R8;
 RM R2,R11;
 RD R2,R10;
 WT / i=/;
 CP R9,8;
 RZ R9,R1;
 CQ R9,0;
 PU R9,R15;
 RD R3,R6;
 WT / u=/;
 PU R2,R14;
 WY 6;
 PU R2,R14;
 WL 32;
 WL 32;
 WY 8;
 PW R4,R1;
 SR E3;
 WI E4;
 DL E4;
 PW R7,R3;
 SR E5;
 WI E6;
 DL E5;
 WL 10;
 WL 10;
 WL 13;
 RD R1,R6;
 ST E1;
 DL E6;
 WT / /;
 RD R1,R6;
 ST E2;
 DL E3;
 WT /# /;
 DZ;

D O D A T E K "C"

Program sterujący pracą stanowiska AESS

Program należy wprowadzić do pamięci minikomputera MERA-302
poczynając od komórki pamięci 025/00

STRONA 025

ZZ,
ZA,
TM,
015,
WW35,
SK04,
025,
ZA,

TM,
012,
WW35,
SK12,
025,
WW35,
SK15,
025,

WW35,
SK20,
025,
ZA,
TM,
120,
WW35,
SK26,

025,
ZA,
TM,
117,
WW35,
SK34,
025,
ZA,

STRONA 026

TM,
115,
WW35,
SK02,
026,
ZA,
TM,
111,

WW35,
SK10,
026,
ZA,
TM,
101,
WW35,
SK16,

026,
ZA,
TM,
122,
WW35,
SK24,
026,
ZA,

TM,
040,
WW35,
SK32,
026,
ZA,
TM,
115,

STRONA 027

WW35,
SK00,
027,
ZA,
TM,
117,
WW35,
SK06,

027,
ZA,
TM,
104,
WW35,
SK14,
027,
ZA,

TM,
105,
WW35,
SK22,
027,
ZA,
TM,
114,

WW35,
SK30,
027,
ZA,
TM,
125,
WW35,
SK36,

STRONA Ø3Ø

Ø27,
ZA,
TM,
Ø4Ø,
WW35,
SKØ4,
Ø3Ø,
ZA,

TM,
1Ø2,
WW35,
SK12,
Ø3Ø,
ZA,
TM,
1Ø1,

WW35,
SK2Ø,
Ø3Ø,
ZA,
TM,
1Ø4,
WW35,
SK26,

Ø3Ø,
ZA,
TM,
1Ø1,
WW35,
SK34,
Ø3Ø,
NN,

STRONA Ø31

NN,
NN,
ZA,
TM,
116,
WW35,
SKØ5,
Ø31,

ZA,
TM,
1Ø5,
WW35,
SK13,
Ø31,
ZA,
TM,

112,
WW35,
SK21,
Ø31,
ZA,
TM,
Ø4Ø,
WW35,

SK27,
Ø31,
ZA,
TM,
123,
WW35,
SK35,
Ø31,

STRONA Ø32

ZA,
TM,
111,
WW35,
SKØ3,
Ø32,
ZA,
TM,

1Ø5,
WW35,
SK11,
Ø32,
ZA,
TM,
1Ø3,
WW35,

SK17,
Ø32,
ZA,
TM,
111,
WW35,
SK25,
Ø32,

ZA,
TM,
Ø15,
WW35,
SK33,
Ø32,
NN,
NN,

STRONA 033

ZA,
TM,
012,
WW35,
SK03,
033,
WW35,
SK06,

033,
WW35,
SK11,
033,
ZA,
TM,
040,
WW35,

SK17,
033,
WW35,
SK22,
033,
WW35,
SK25,
033,

WW35,
SK30,
033,
ZA,
TM,
113,
WW35,
SK36,

STRONA 034

033,
ZA,
TM,
075,
WW35,
SK04,
034,
ZA,

US,
200,
PZ00,
WW15,
SK13,
034,
PZ01,
DS01,

TM,
073,
SK13,
036,
ZA,
NN,
NN,
NN,
NN,

PZ02,
PZ03,
TM,
001,
PZ04,
DS01,
PZ05,
DS05,

STRONA 035

ML04,
AZ,
SK05,
035,
DP03,
ZA,
DS02,
TM,

007,
SK22,
035,
DP02,
ZA,
DS05,
AP,
ZC,

SK36,
034,
ZA,
PZ02,
NN,
NN,
NN,
NN,

DS03,
ML04,
AZ,
SK00,
036,
ZA,
TM,
200,

STRONA 036

DS01
NN,
NN,
NN,
NN,
WW37,
SK05,
036,

ZC,
SK13,
034,
ZA,
TM,
240,
WW35,
SK16,

036,
WW35,
SK21,
036,
WW37,
SK24,
036,
WW37,

SK27,
036,
ZA,
DS00,
AZ,
SK15,
040,
ZA,

STRONA 037

DS00,
TM,
001,
AZ,
SK31,
040,
ZA,
DS00,

TM,
002,
AZ,
SK37,
040,
ZA,
DS00,
TM,

003,
AZ,
SK13,
041,
ZA,
DS00,
TM,
005,

AZ,
SK27,
041,
ZA,
DS00,
TM,
005,
AZ,

STRONA 040

SK35,
041,
ZA,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,

NN,
NN,
ZC,
SK05,
107,
ZA,
TM,
116,

ZC,
SK11,
042,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,

NN,
ZA,
TM,
111,
ZC,
SK11,
042,
ZA,

STRONA 041

TM,
101,
WW35,
SK02,
041,
ZA,
TM,
114,

ZC,
SK11,
042,
ZA,
TM,
102,
WW35,
SK16,

041,
ZA,
TM,
105,
ZC,
SK11,
042,
ZA,

TM,
144,
ZC,
SK11,
042,
ZA,
TM,
116,

STRONA 042

WW35,
SK00,
042,
ZA,
TM,
061,
NN,
NN,

NN,
WW35,
SK11,
042,
ZA,
TM,
075,
WW35,

SK03,
043,
DP00,
ZC,
SK13,
034,
ZA,
TM,

100,
PZ00,
KA,
ML00,
AZ,
SK20,
043,
WW16,

STRONA 043

PZ01,
DS01,
TM,
232,
SK14,
043,
DS01,
WW37,

SK07,
043,
SK37,
042,
KA,
ML00,
SK14,
043,

ZA,
TM,
015,
WW35,
SK23,
043,
ZA,
TM,

012,
WW35,
SK31,
043,
ZA,
TM,
165,
WW35,

STRONA Ø44

SK37,
Ø43,
ZA,
TM,
Ø61,
WW35,
SKØ5,
Ø44,

ZA,
TM,
Ø4Ø,
WW35,
SK13,
Ø44,
NN,
ZA,

TM,
ØØ1,
PZØØ,
TM,
ØØ2,
PZØ1,
KA,
MLØØ,

AZ,
NN,
NN,
SK17,
Ø47,
KA,
MLØ1,
AZ,

STRONA Ø45

SK3Ø,
Ø47,
ZA,
TM,
12Ø,
WW35,
SKØ5,
Ø45,

ZA,
TM,
122,
WW35,
SK13,
Ø45,
ZA,
TM,

1Ø1,
WW35,
SK21,
Ø45,
ZA,
TM,
1Ø4,
WW35,

SK27,
Ø45,
ZA,
TM,
Ø4Ø,
WW35,
SK35,
Ø45,

STRONA Ø46

NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
ZA,

DSØØ,
TM,
ØØ4,
SK23,
Ø5Ø,
ZA,
TM,
165,

WW35,
SK2Ø,
Ø46,
ZA,
TM,
Ø62,
WW35,
SK26,

Ø46,
ZA,
TM,
Ø4Ø,
WW35,
SK34,
Ø46,
ZA,

STRONA 047

TM,
004,
PZ00,
TM,
010,
ZC,
PZ01,
SK26,

044,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
TM,

060,
WW35,
SK21,
047,
ZC,
SK32,
045,
NN,

ZA,
TM,
116,
WW35,
SK33,
047,
ZA,
TM,

STRONA 050

101,
WW35,
SK01,
050,
ZA,
TM,
120,
WW35,

SK07,
050,
ZA,
TM,
056,
WW35,
SK15,
050,

ZC,
SK32,
045,
ZA,
TM,
015,
WW35,
SK26,

050,
ZA,
TM,
012,
WW35,
SK34,
050,
ZA,

STRONA 051

NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
US,
002,
TM,

032,
PZ00,
TM,
220,
PZ01,
TM,
375,
PZ02,

TM,
377,
PZ03,
TM,
035,
PZ04,
TM,
020,

PZ05,
TM,
375,
PZ06,
TM,
377,
PZ07,
NN,

STRONA 052

TM,
040,
WW23,
WW03,
SK30,
105,
ZA,
TM,

020,
US,
000,
PZ20,
TM,
019,
PZ21,
US,

200,
ZA,
LZ,
PZ21,
ZZ,
US,
000,
DS21,

US,
200,
TM,
037,
SK04,
053,
ZC,
SK21,

STRONA 053

052,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,
001,
PZ00,

TM,
002,
PZ01,
KA,
ML00,
AZ,
SK21,
074,

ZA,
PZ02,
TM,
160,
PZ07,
NN,
NN,
NN,

TM,
001,
ML00,
AZ,
SK12,
056,
WW16,
SK36,

STRONA 054

053,
PZ03,
DS03,
ML07,
TM,
060,
SK00,
055,

ZA,
DS03,
TM,
056,
SK34,
055,
ZA,
DS03,

TM,
243,
SK20,
056,
ZA,
DS02,
AZ,
SK30,

053,
ZC,
SK21,
056,
NN,
NN,
NN,
NN,

STRONA Ø55

ZA,
DSØ2,
TM,
ØØ4,
SK3Ø,
Ø53,
ZA,
DSØ3,

WW35,
SK1Ø,
Ø55,
WW37,
SK13,
Ø55,
ZA,
TM,

Ø17,
PZØ5,
DSØ3,
MLØ5,
DPØ2,
WZ,
PZ2Ø,
ZZ,

ZC,
SK3Ø,
Ø53,
NN,
ZA,
DSØ3,
WW35,
SK36,

STRONA Ø56

Ø55,
WW37,
SKØ1,
Ø56,
ZA,
DSØ2,
PZØ4,
ZC,

SK3Ø,
Ø53,
WW13,
SK12,
Ø56,
ZC,
SKØ1,
Ø54,

SP,
ZA,
TM,
ØØ1,
MLØØ,
AZ,
SK25,
Ø65,

ZA,
TM,
ØØ2,
PZØ5,
KA,
MLØ5,
AZ,
SKØ5,

STRONA Ø57

Ø62,
NN,
NN,
ZA,
DSØ3,
TM,
Ø55,
SK24,

Ø61,
ZA,
TM,
Ø53,
WW35,
SK14,
Ø57,
WW37,

SK17,
Ø57,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,

ZA,
TM,
12Ø,
WW23,
ZA,
TM,
22Ø,
WW23,

STRONA 060

ZA,
DS04,
TM,
001,
SK21,
074,
ZA,
DS04,

TM,
002,
SK07,
061,
ZA,
DS04,
TM,
003,

SK00,
061,
ZA,
DS21,
AL,
AL,
AL,
AL,

DS22,
PZ32,
DS23,
ZC,
SK11,
061,
NN,
NN,

STRONA 061

ZA,
DS21,
PZ32,
DS22,
ZC,
SK11,
061,
ZA,

DS21,
AL,
AL,
AL,
AL,
PZ33,
ZC,
SK21,

074,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,
055,
WW35,

SK27,
061,
WW37,
SK32,
061,
ZA,
TM,
100,

STRONA 062

WW23,
ZC,
SK34,
057,
NN,
ZA,
DS03,
TM,

055,
SK00,
064,
ZA,
TM,
053,
WW35,
SK16,

062,
WW37,
SK21,
062,
ZA,
TM,
100,
WW23,

ZA,
DS04,
TM,
001,
SK20,
064,
NN,
NN,

STRONA 063

ZA,
DS04,
TM,
002,
SK00,
065,
ZA,
DS04,

TM,
003,
SK14,
065,
ZA,
TM,
140,
WW23,

ZA,
DS21,
AL,
AL,
AL,
AL,
DS22,
PZ32,

DS23,
ZC,
SK30,
064,
NN,
NN,
NN,
NN,

STRONA 064

ZA,
TM,
055,
WW35,
SK03,
064,
WW37,
SK06,

064,
ZA,
TM,
120,
WW23,
ZC,
SK30,
062,

ZA,
TM,
200,
WW23,
ZA,
DS21,
PZ32,
DS22,

AL,
AL,
AL,
AL,
PZ33,
ZC,
SK21,
074,

STRONA 065

ZA,
TM,
200,
NN,
ZC,
SK17,
063,
NN,

NN,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,
160,
ZC,

SK17,
063,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,
010,

PZ05,
KA,
ML05,
AZ,
SK00,
071,
NN,
ZA,

STRONA 066

DS03,
TM,
055,
SK12,
070,
ZA,
TM,
053,

WW35,
SK10,
066,
WW37,
SK13,
066,
ZA,
TM,

260,
WW23,
ZA,
TM,
360,
WW23,
ZA,
DS04,

TM,
001,
SK21,
074,
ZA,
DS04,
TM,
002,

STRONA 067

SK27,
067,
ZA,
DS04,
TM,
003,
SK00,
070,

NN,
ZA,
DS33,
DS26,
PZ33,
DS27,
AL,
AL,

AL,
AL,
DS30,
PZ34,
ZC,
SK21,
074,
ZA,

DS26,
PZ34,
ZC,
SK21,
074,
NN,
NN,
NN,

STRONA 070

ZA,
DS26,
AL,
AL,
AL,
AL,
DS27,
ZC,

SK23,
067,
ZA,
TM,
055,
WW35,
SK15,
070,

WW37,
SK20,
070,
ZA,
TM,
240,
WW23,
ZC,

SK22,
066,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,

STRONA 071

ZA,
DS03,
TM,
055,
SK27,
072,
ZA,
TM,

053,
WW35,
SK11,
071,
WW37,
SK14,
071,
ZA,

TM,
240,
WW23,
ZA,
DS04,
TM,
001,
SK15,

073,
ZA,
DS04,
TM,
002,
SK34,
075,
ZA,

STRONA 072

DS04,
TM,
003,
SK06,
074,
ZA,
TM,
300,

WW23,
ZA,
DS33,
DS26,
PZ33,
DS27,
AL,
AL,

AL,
AL,
DS30,
PZ34,
ZC,
SK21,
074,
ZA,

TM,
055,
WW35,
SK32,
072,
WW37,
SK35,
072,

STRONA 073

ZA,
TM,
260,
WW23,
ZC,
SK23,
071,
NN,

NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,
340,

WW23,
ZA,
DS26,
AL,
AL,
AL,
AL,
DS27,

PZ34,
ZC,
SK21,
074,
ZA,
TM,
340,
WW23,

STRONA Ø74

ZC,
SK11,
Ø72,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,

32Ø,
WW23,
ZC,
SK11,
Ø72,
NN,
NN,
NN,

NN,
ZA,
TM,
24Ø,
WW35,
SK24,
Ø74,
WW37,

SK27,
Ø74,
WW37,
SK32,
Ø74,
ZA,
DSØØ,
TM,

STRONA Ø75

ØØ4,
SK23,
Ø75,
ZA,
TM,
ØØ4,
PZØØ,
TM,

Ø1Ø,
PZØ1,
US,
ØØØ,
TM,
Ø25,
PZ2Ø,
US,

2ØØ,
SK13,
Ø53,
ZA,
TM,
215,
WW37,
SK26,

Ø75,
NN,
NN,
NN,
ZA,
TM,
Ø2Ø,
WW23,

STRONA Ø76

ZA,
TM,
Ø6Ø,
WW23,
ZA,
TM,
Ø41,
WW23,

ZA,
TM,
ØØ1,
WW23,
SK13,
Ø76,
NN,
NN,

NN,
NN,
ZA,
TM,
24Ø,
WW35,
SK25,
Ø76,

WW37,
SK3Ø,
Ø76,
ZA,
TM,
371,
WW35,
SK36,

STRONA 077

076,
ZA,
TM,
275,
WW35,
SK04,
077,
NN,

NN,
NN,
ZA,
DS37,
AP,
AP,
AP,
AP,

PZ03,
US,
000,
TM,
011,
PZ22,
US,
200,

DS35,
AP,
AP,
AP,
AP,
PZ12,
TM,
017,

STRONA 100

ML35,
PZ13,
DS36,
AP,
AP,
AP,
AP,
PZ14,

TM,
017,
ML36,
PZ15,
PZ16,
US,
201,
PZ00,

US,
200,
NN,
NN,
PZ04,
PZ11,
NN,
PZ06,

TM,
001,
PZ07,
NN,
NN,
NN,
NN,
LZ,

STRONA 101

DS22,
ZZ,
PZ10,
DS10,
PZ05,
DS05,
ML07,
AZ,

SK13,
101,
DP06,
ZA,
DS11,
TM,
003,
SK32,

101,
DP11,
ZA,
DS05,
AP,
ZC,
SK04,
101,

NN,
NN,
ZA,
DS06,
ML07,
AZ,
SK30,
105,

STRONA 102

ZA,
TM,
260,
DS10,
PZ10,
DS10,
WW37,
SK06,

102,
US,
201,
ZA,
DS00,
US,
200,
AZ,

SK26,
102,
ZC,
SK16,
106,
NN,
ZA,
DS10,

WW35,
SK30,
102,
ZA,
DS04,
AZ,
SK34,
103,

STRONA 103

ZA,
DS03,
ML07,
AZ,
SK23,
103,
ZA,
DS04,

PZ17,
ZA,
TM,
056,
WW35,
SK14,
103,
NN,

NN,
NN,
NN,
ZA,
DS03,
AP,
PZ03,
DS04,

TM,
004,
SK04,
104,
DP04,
ZC,
SK25,
100,

STRONA 104

NN,
NN,
NN,
NN,
ZA,
DS37,
ML07,
AZ,

SK00,
106,
ZA,
TM,
055,
WW35,
SK15,
104,

WW37,
SK21,
104,
ZA,
TM,
240,
WW35,
SK26,

104,
WW37,
SK31,
104,
WW37,
SK34,
104,
WW37,

STRONA 105

SK37,
104,
US,
201,
ZA,
TM,
001,
PZ00,

US,
200,
DS17,
PZ10,
PZ04,
PZ11,
PZ00,
ZC,

SK03,
101,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,
NN,

ZA,
TM,
060,
ZC,
SK03,
102,
NN,
NN,

STRONA 106

ZA,
TM,
053,
WW35,
SK03,
106,
WW37,
SK06,

106,
ZC,
SK23,
104,
NN,
NN,
ZA,
TM,

012,
WW35,
SK21,
106,
WW37,
SK24,
106,
ZA,

TM,
215,
WW35,
SK32,
106,
WW37,
SK35,
106,

STRONA 107

ZC,
SK00,
052,
NN,
NN,
ZA,
TM,
012,

WW35,
SK10,
107,
WW37,
SK13,
107,
ZA,
TM,

215,
WW35,
SK21,
107,
WW37,
SK24,
107,
ZC,

SK26,
042,

D O D A T E K "D"

Program wyznaczania początkowego modelu badanej sieci

```
LIST
LIBRARY(SUBGROUPFSCE)
PROGRAM(GIST)
INPUT 1=TRO
OUTPUT 2=TPO
TRACE 2
END
```

MASTER MACIERZE

```
DIMENSION RM(7,7),R(7,7),Y(7),WAR(7),FI(7),WL(4),RMPOMT(50),
1RPOM(50),G1(50),P(7,7),G3(50),RMPOM(50),AN(7),W(21),RKOL(50)
2,WT(7)
```

```
2 READ(1,2)K,I
```

```
FORMAT(2I0)
```

```
WL(1)=0.
```

```
WL(2)=0.0002
```

```
WL(3)=0.02
```

```
WL(4)=2.
```

```
IF(I.EQ.1)GOTO400
```

```
DO 100 I1=1,K+1
```

```
20 READ(1,20)U
```

```
U=U/1000.
```

```
FORMAT(F0.0)
```

```
RM(I1,1)=1
```

```
DO 1000 J1=2,K+1
```

```
1000 RM(I1,J1)=U*(J1-1)
```

```
READ(1,3)IW,IS
```

```
WF=FLOAT(IW)
```

```
SF=FLOAT(IS)
```

```

3      FORMAT(2I0)
      Y(I1)=IW*10** (SF-3)
      WAR(I1)=0.0001* ((10** (SF-1) **2) * (2.8*0.00000001*WF*WF+0.33)+WF
2*WF*WL(IS))
100    CONTINUE
      GOTO 300
400    DO 150 I1=1,K+1
      READ(1,25)U1,U2
      U1=U1/1000.
      U2=U2/1000.
25     FORMAT(2F0.0)
      WT(1)=1
      WT(2)=U1
      WT(3)=U2
      WT(4)=U1*U2
      WT(5)=U1**2
      WT(6)=U2**2
      WT(7)=WT(5)*WT(6)
      DO 1500 J1=1,K+1
1500   RM(I1,J1)=WT(J1)
      READ(1,3)IW,IS
      WF=FLOAT(IW)
      SF=FLOAT(IS)
      Y(I1)=IW*10** (SF-3)
      WAR(I1)=0.0001* ((10** (SF-1) **2) * (2.8*0.00000001*WF*WF+0.33)+WF
2*WF*WL(IS))
150    CONTINUE
300    DO 101 I1=1,K+1
      DO 102 J1=1,K+1
      IF(I1,EQ.J1)GOTO103
      R I1,J1 =0.
      GOTO102
103    R(I1,J1)=1/WAR(J1)
102    CONTINUE

```



```

101 CONTINUE
DO 105 I1=1,K+1
DO 106 J1=1,K+1
RMPOMT(J1+(K+1)≡(I1-1))=RM(I1,J1)
RPOM(I1+(K+1)≡(J1-1))=R(I1,J1)
RMPOM(I1+(K+1)≡(J1-1))=RM(I1,J1)
106 CONTINUE
105 CONTINUE
IND=0
MP,NP,KP=K+1
CALL FPMUMT(MP,NP,KP,RMPOMT(1),RPOM(1),C1(1),IND,NRR)
DO 110 I1=1,K+1
110 CONTINUE
IND=0
MP,NP,KP=K+1
CALL FPMUMT(MP,NP,KP,C1(1),RMPOM(1),C3(1),IND,NRR)
NPO=K+1
EPS=10E-16
CALL FPMGEIN(NPO,EPS,C3(1),W(1),RET,IRANK,NRR)
DO 107 I1=1,K+1
DO 108 J1=1,K+1
P(I1,J1)=C3(I1+(K+1)≡(J1-1))
108 CONTINUE
107 CONTINUE
K1=K+1
DO 202 I1=1,K1
WRITE(2,200) P(I1,J1),J1=K1)
200 FORMAT(1X,7(F15.13,3X))
202 CONTINUE
IND=0
MPO,KPO=K+1
NPO=1
CALL FPMUMT(MPO,NPO,KPO,C1(1),Y(1),RKOL(1),IND,NRR)
IND=0
MPO,KPO=K+1

```

```
201 NPO=1  
CALL FPMUMT(MPO,NPO,KPO,C3(1),RKOL(1),AN(1),IND,NRR)  
WRITE(2,201)(AN(I1),I1=1,K1)  
FORMAT(2X,7(F11.8,3X))  
STOP  
END
```

D O D A T E K " E "

Program wyznaczania końcowego modelu metrologicznego badanej sieci

LIST

LIBRARY (SUBGROUPFSCE)

PROGRAM (NOWY)

INPUT 1=TR0

OUTPUT 2=LPO

TRACE 2

END

MASTER ESTYMACJA

DIMENSION AN(7),FI(7),C1(10),P(7,7),PM(50),C2(10),C3(10),WL(4),
1WK(50)

GA=0

IC=0

VA=0.

NLICZ=0

WL(1)=0

WL(2)=2=0.0001

WL(3)=2=0.01

WL(4)=2.

1 READ(1,1)K,N,I,AL,BE,DE,N1

FORMAT(2I0,I0,3F0.0,I0)

K1=K+1

DO 50 I1=1,K1

50 READ(1,2)(P(I1,J),J=1,K1)

2 CONTINUE

FORMAT(7F0.0)

READ(1,2)(AN(I1),I1=1,K1)

WRITE(2,100)K1,N,I

100 FORMAT(10X,44H ESTYMACJA PARAMETROW FUNKCJI REGRESJI METODA,

211H ITER ACYJNA//10X,6HK+1 = ,I1,10X,4HN = ,I2,

2X,4HI = ,I1)

WRITE(2,199)

```

199  FORMAT(1X,9HMACIERZ P)
      DO 51 I1=1,K+1
      WRITE(2,200) (P(I1,J),J=1,K+1)
51   CONTINUE
      WRITE(2,198)
      WRITE(2,200) (AN(I1),I1=1,K+1)
200  FORMAT(10X,7(F15,13,1X))
198  FORMAT(19H SKLADOWE WEKTORA A)
      L1=1
1000 IND=0
      MPO=1
      KPO,NPO=K+1
      DO 103 I1=1,K+1
      DO 104 J=1,NPO
      PM(I1+NPO*(J-1)) =P(I1,J)
104  CONTINUE
103  CONTINUE
      IF(I.NE.0) GOTO101
      READ(1,3)U
      U=U/1000.
3    FORMAT(F0.0)
      FI(1)=1
      DO 102 I1=2,K+1
102  FI(I1)=U**I1-1)
      GOTO105
101  FI(1)=1
      READ(1,4)U1,U2
      U1=U1/1000.
      U2=U2/1000.
4    FORMAT(2F0.0)
      FI(2)=U1
      FI(3)=U2
      FI(4)=U1*U2
      FI(5)=U1**2)

```

1
2
1

```

FI(6)=U2##(2)
FI(7)=FI(5)#FI(6)
105 CALL FPMUMT(MPO,NPO,KPO,FI(1),PM(1),C1(1),IND,NRR)
C=0
NN=K+1
IA,IB=1
CALL FPIPRODS(C1(1),FI(1),C,NN,IA,IB,D)
READ(1,5)WF,IS
SF=FLOAT(IS)
5 FORMAT(FO.0,I0)
Y=WF#10##(SF-3)
WAR=0.0001#((10##(SF-1) ##2) # (2.8#0.00000001#WF#WF+0.33)
6#WF#WF#WI(IS))
VA=VA#WAR
WRITE(2,205)L1,WAR
205 FORMAT(//1X,29HWARTOSC SIGMA KWADRAT /DLA N=,I2,1H/,1X,1H=,F14.8)
POM=1./ D+WAR
IND=0
KPO,MPO=K+1
NPO=1
CALL FPMUMT MPO,NPO,KPO,PM 1 ,FI 1 ,C2 1 ,IND,NRR
DO 503 I1=1,K+1
C3(I1)=C2(I1)#POM
503 CONTINUE
IND=0
MPO,NPO=K+1
KPO=1
CALL FPMUMT(MPO,NPO,KPO,C3(1),C1(1),WK(1),IND,NRR)
WRITE(2,203)L1
FORMAT(1X,9HTABLICA P,10X,I2)
DO 504 I1=1,K+1
P(I1,J1)=P(I1,J1)-WK(I1+(K+1)#(J1-1))
505 CONTINUE
WRITE(2,204)(P(I1,J).J=1,K+1)

```

```

204 FORMAT (1X,7(F14.8,2X))
504 CONTINUE
C=0.
NN=K+1
IA,IB=1
CALL FPIPRODS(FI(1),AN(1),C,NN,IA,IB,D)
DELTA=Y-D
IND=0
MPO,KPO=K+1
NPO=1
DO 506 I1=1,K+1
DO 507 J1=1,K+1
PM(I1+(K+1)*(J1-1))=P(I1,J1)
507 CONTINUE
506 CONTINUE
CALL FPMUMT(MPO,NPO,KPO,PM(1),FI(1),C3(1),IND,NRR)
D1=DELTA/WAR
DO 509 I1=1,K+1
AN(I1)=AN(I1)+C3(I1)*D1
509 CONTINUE
IF(I.EQ.0)GOTO600
WRITE(2,601)U1,U2,Y,I1
601 FORMAT(5X,5HU1 = ,F13.10,5X,5HU2 = ,F13.10,5X,4HY = ,F13.10,5X,
24HN = , I2)
GOTO610
600 WRITE(2,602)U,Y,L1
602 FORMAT(5X,4HU = ,F13.10,5X,4HY = ,F13.10,5X,4HN = ,I2)
610 WRITE(2,611)(AN(I1),I1=1,K1)
611 FORMAT(19H SKLADOWE WEKTORA a/5X,7(F13.10,3X))
WRITE(2,612)DELTA
612 FORMAT(5X,8HDELTA = ,F13.10////)
NLICZ=NLICZ+1

```

```

SD = GA + ABS (DELTA)
IF (IC.EQ.0) GOTO 330
GOTO 331
300 IF (L1.LT.N1) GOTO 332
IF (SD.LT.DE*(L1/2)) GOTO 333
IF (GA.GT.ABS (DELTA)*(L1-1)) GOTO 332
333 NA=L1-1
IC=1
GA=0
SD=GA+ABS (DELTA)
WYRH= (((ALOG ((1-BE)/AL)+0.693)*(VA/(L1-NA))) /DE)+ DE/2 *(L1-NA)
WRITE (2,220) WYRH
220 FORMAT (1X,12HWARTOŚĆ H= ,F14.8)
WYR L=- (((ALOG ((1-AL) BE)-0.693)*(VA/(L1-NA))) /DE)+ DE/2 *(L1-NA)
WRITE (2,222) WYRL
222 FORMAT (1X,12HWARTOŚĆ L= ,F14.8)
IF (SD.LT.WYRL) GOTO 334
IF (SD.GT.WYRH) GOTO 335
IF (L1.EQ.N) GOTO 500
332 L1=L1+1
GA=SD
GOTO 1000
334 WRITE (2,336)
336 FORMAT (1X,28HMODEL SPEŁNIA WARUNKI TESTU)
GOTO 500
335 WRITE (2,337)
337 FORMAT (1X,33HMODEL NIE SPEŁNIA WARUNKOW TESTU)
500 CONTINUE
STOP
END

```

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------|--------------|--------------------------------|------------|---|----------|---|---------------------|---|---------------------------------------|-------------------|
| * N * | | D.N.S.R.T.N.A.N | | | | | | | | 05 04 02 14 02 09 |
| | Rozpocz. pr. | Zakończ. pr. | Opubl. pr. | | Instytut | | Nr tematu | | | |
| | 06 73 | 01 77 | | | I 21 | | 1 1 6 1 3 7 7 / 0 0 | | | |
| Nr zlecenia | | Nr archiwalny | | | | | | | | |
| | | I 21 / K - 13 0 / 77 * | | | | | | | | |
| Symbol UKD | | Elektronika Teoria pomiarów | | | | | | | 77: Inst. Metrol. PWr MNSzWT | |
| 621.38 621.317.08 | | | | | | | | | pol. | |

Opis bibliograficzny

Gizewski Stefan

Zagadnienie automatyzacji wyznaczania modeli metrologicznych obiektów statycznych na przykładzie wyznaczania modeli metrologicznych elektronicznych sieci stałoprądowych

Komunikaty Inst. Metrol. PWr 1977 nr 130 s. 140+29, rys. 49, tabl. 2+1, bibliogr. 72 poz. /maszyn., powiel./

Rozprawa doktorska
Politechnika Wrocławska, Instytut Metrologii Elektrycznej, Wrocław

Promotor: prof. dr inż. Andrzej Jellonek

Charakter pracy: stosowana
Materiały odpłatne A

Rozpowszechnienie na praw.
ręk.