



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Swierczewskiego

WYDZIAŁ NR 2
KATEDRA NR 22

6

kpt. inż. Zygmunt NAWROCKI

Temat: ELEKTRYCZNE URZĄDZENIA PRZELICZAJĄCE
(Skrypt)



4213

1961



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Swierczewskiego

WYDZIAŁ NR 2
KATEDRA NR 22

6

kpt. inż. Zygmunt NAWROCKI

Temat: ELEKTRYCZNE URZĄDZENIA PRZELICZAJĄCE
(Skrypt)



4213

1961

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im.gen.broni K.Swierczewskiego

WYDZIAŁ Nr 2
Katedra Nr 22

6

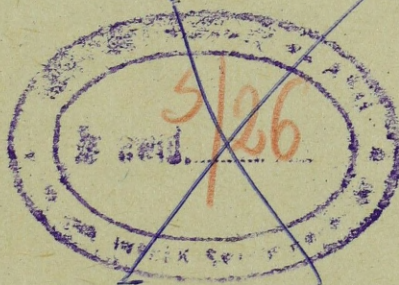
" ZATWIERDZAM "
SZEFA KATEDRY NR 22

płk dypl.mgr inż. J. ARTYCHOWICZ

kpt.inż.Zygmunt NAWROCKI

Temat: ELEKTRYCZNE URZADZENIA PRZELICZAJACE

/Opracowanie do sąjęd.Temat Nr 19/



SPRAWDZIŁ:
Z-CA SZEFA KATEDRY NR 22

ppłk mgr inż. Piotr ROGOWSKI

WARSZAWA-REMBERTÓW

MARZEC

1961r.

SPIS TREŚCI

str.

1. Wstęp	3
2. Zasada pracy elektronicznej maszyny cyfrowej	5
3. Systemy liczb i obliczenia w elektronicznych maszynach cyfrowych	9
4. Podstawowe związki logiczne	13
5. Kodowanie cyfr systemem dwójkowym w maszynach cyfrowych	19
6. Układy realizujące podstawowe operacje logiczne	26
7. Aritmometry	32
8. Pamięć w maszynach cyfrowych	35
9. Elementy programowania	36
10. Metody wykonania operacji matematycznych w maszynach o działaniu ciągłym	39
11. Obwody rozdzielające i oszukujące	45

W S T U P

Zapotrzebowanie nowoczesnego współczesnego pola walki na wszelkiego rodzaju urządzenia przebijające jest ogromne. Wynika ono z wprowadzenia precyzyjnej techniki bojowej, mianowicie: urządzeń radiolokacyjnych, pocisków kierowanych i balistycznych i innych nowoczesnych urządzeń techniki rozpoznania.

W wojsku zapotrzebowanie istnieje na dwa rodzaje techniki obliczeniowej.

- I technika licząca o działaniu ciągłym
- II " " " " " szybkim.

Pierwszą technikę liczącą o działaniu ciągłym nazywamy urządzeniami lub maszynami analogowymi.

W maszynach analogicznych wielkości matematyczne przedstawione są w postaci konkretnych wielkości fizycznych jak: długość, ciężar i napięcie elektryczne. Jako wielkości matematyczne należy rozumieć te wielkości, które wchodzi do danego równania różniczkowego i opisują dane zjawisko.

Wprowadzenie tych danych fizycznych możliwe jest tylko z określoną dokładnością. Dalsze zwiększanie dokładności natrafia na duże trudności technologiczne. Urządzenia liczące o działaniu ciągłym, analogowe powstały w wyniku rozwoju metod modelowania, opartych na prawach podobieństwa. Do znanych przykładów możemy zaliczyć: suwak logarytmiczny, planimetr integrator i inne. Rozwój prób modelowania doprowadził do tworzenia pełnych analogów /zjawisk analogicznych procesów analogicznych/ najczęściej stosowane są analogi elektryczne.

Urządzenia takie /analogi/ składają się z wielu zespołów z których każdy wykonuje określoną operację matematyczną w sposób trwały i w sposób ciągły. Jedno urządzenie przebijające służy jedynie do obliczenia jednego typu równania. Zespoły urządzenia są połączone w sposób trwały. Wynika z tego, że urządzenia posiadają wąski zakres specjalizacji /np. przyrząd kierowania ogniem artylerii/. Najszersze

zastosowanie znalazły urządzenia liczące o działaniu ciągłym, które przeznaczone są do całkowania zwykłych równań różniczkowych, a szczególnie te, które rozwiązują w rzeczywistej skali czasu. Ta możliwość rozwiązywania równań różniczkowych w rzeczywistej skali czasu jest cenną właściwością w układach sterujących kierowania i samokierowania automatycznego.

Ten system będzie dokładniej omówiony w drugiej części skryptu.

Druga technika obliczeniowa-przelicznikowa rozwinęła się później.

Pod pojęciem maszyn o działaniu szybkim rozumiemy elektroniczne maszyny cyfrowe.

Do znanych maszyn tego typu należą: arytometry ręczne klawiszowe, maszyny liczące, maszyny analityczno-liczące i elektroniczne szybko działające maszyny cyfrowe. Maszyny cyfrowe powstały i rozwinęły się w ostatnim piętnastolecu.

W maszynach o działaniu szybkim, w maszynach cyfrowych wielkości zmienne przedstawione są w postaci szeregu wartości liczbowych.

Rozwiązanie zadania w dowolnej maszynie cyfrowej polega na wykonaniu szeregu, kolejno po sobie następujących operacji arytmetycznych. Na podstawie opracowanych w matematyce metod rachunkowych można za pomocą maszyn cyfrowych rozwiązać najbardziej różnorodnie zagadnienia matematyczne i operacje logiczne. Rozwiązanie dowolnego zadania sprowadza się w zasadzie do wykonania czterech podstawowych działań arytmetycznych. W odróżnieniu od urządzeń analogicznych, w których dokładność przedstawienia wielkości ograniczona jest warunkami technicznymi i technologicznymi, w maszynach cyfrowych można uzyskać dowolną dokładność obliczeń. W tym celu wystarczy jedynie zwiększyć ilość pozycji cyfrowych do zobrazowania danej liczby, co jest jednoznaczne ze zwiększeniem ilości elementów, które przedstawiają daną liczbę w maszynie cyfrowej. Jednocześnie wymagania

co do dokładności wykonania i stabilności pracy samych elementów nie zwiększają się. Wystarczy aby elementy te np. lampy elektronowe, przekaźniki, kółka zębate i inne, miały określoną ilość wyraźnie zaznaczonych stanów wyróżnionych, jak przewodzenie i nieprzewodzenie prądu, styki zwarte lub rozwarte zazębienie kółka na określonym zębie itp. W związku z tym maszyna cyfrowa wykonująca obliczenia z dużą dokładnością może być zbudowana z elementów, które mają stosunkowo duży rozrzut parametrów w pracy oraz nie wymagają zbyt precyzyjnych elementów.

Tak więc maszyny cyfrowe w porównaniu z maszynami o działaniu ciągłym posiadają dwie ważne zalety - uniwersalność i dużą dokładność obliczeń. Dodatkową zaletą jest jeszcze duża prękość wykonywania działań.

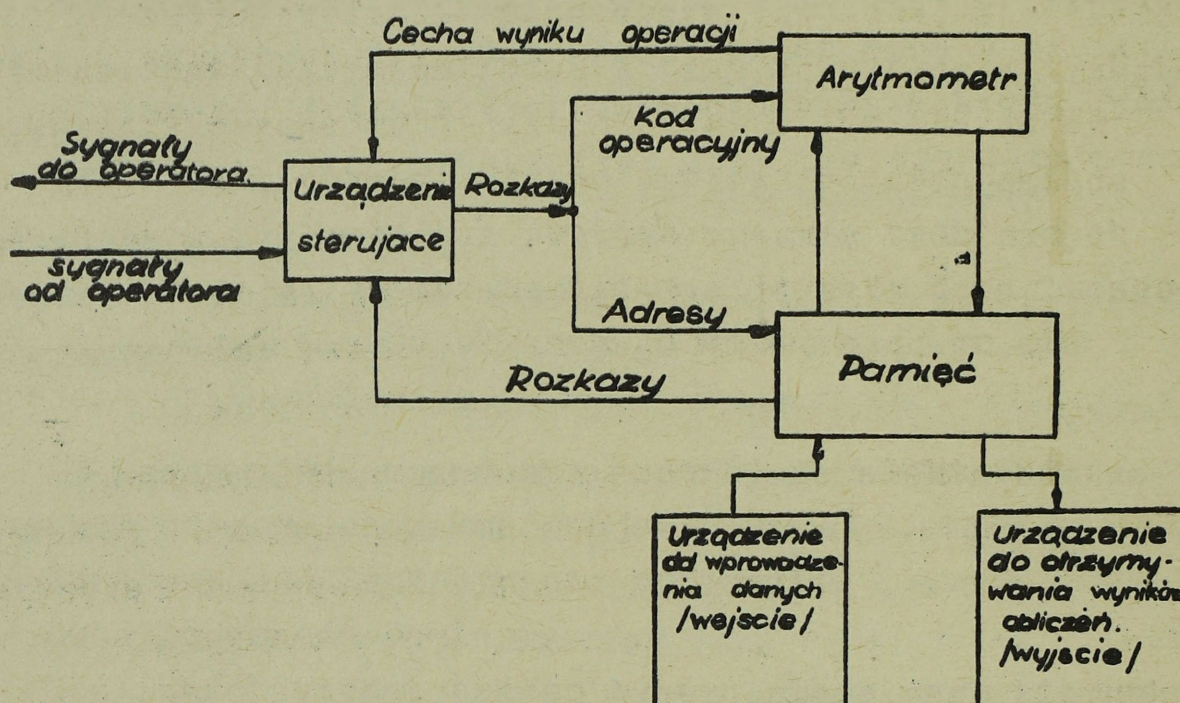
W maszynie cyfrowej konieczne jest sterowanie i programowanie. Każdej maszynie należy wydawać "rozkazy" dotyczące rodzaju żądanej operacji. W maszynach cyfrowych elementem rachującym jest sumator, który wykonuje operacje arytmetyczne.

Aby więc maszyna mogła w sposób automatyczny rozwiązywać zadanie matematyczne niezbędne są następujące warunki:

1. Zdolność wykonywania wszystkich operacji arytmetycznych niezbędnych do rozwiązania danego zadania.
2. Pojemność urządzenia wystarczającą do przechowania wielkości pośrednich i danych wyjściowych.
3. Możliwość automatycznego właściwego wybierania dalszych kierunków obliczeń w zależności od wyników operacji pośrednich.

ZASADA PRACY ELEKTRONICZNEJ MASZINY CYFROWEJ

Każda elektroniczna maszyna cyfrowa składa się z trzech zasadniczych zespołów:



Rys. 1. Ogólny układ funkcjonalny elektronicznej maszyny cyfrowej.

1. Rachującego, tzn. arytmometru, przeznaczonego do dokonywania operacji na liczbach.
2. Pamiętającego, tzn. pamięci, która przyjmuje, przechowuje i wydaje liczby.
3. Sterującego, przeznaczonego do automatycznego sterowania pracą maszyny.

Oprócz tego w skład maszyny wchodzi specjalne zespoły wprowadzenia danych /wejście/ i otrzymywania wyników obliczeń /wyjście/. Zespół "pamięci" urządzenia liczącego dzieli się na poszczególne komórki, w każdej z nich z zasady przechowywana jest jedna liczba,

wszystkie komórki są kolejno ponumerowane, a numery te noszą nazwę adresów. Maszyna dokonuje każdej operacji pod wpływem specjalnego sygnału sterującego, tj. "rozkazu", kolejność którego jest ustalona programem maszyny. W celu wprowadzenia do maszyny "rozkazu" programy są zakodowane w postaci cyfr, które przechowują się w odpowiednich komórkach pamięci. Liczbę, która wyraża "rozkaz", dzielimy na kilka części, każda część ma inne zadanie funkcjonalne: jedna nazwana kodem operacji, określa rodzaj operacji, druga - adres, wskazuje, gdzie mieszczą się liczby, na których należy dokonać operacji i dokąd skierować wynik. Adresami i rozkazami są a zasady odpowiednie numery komórek pamięci, gdzie powinny znajdować się te dane.

W "rozkazach" jako adresy występować mogą nie tylko numery komórek przechowujących liczby, lecz również numery komórek, w których są przechowywane rozkazy.

Dla każdego zadania zawnoszuje się program, który wprowadza się do maszyny wraz z danymi wejściowymi przed jego rozwiązaniem, następnie samo rozwiązanie odbywa się automatycznie.

Praca maszyny sprowadza się do kolejnego wykonania rozkazów zawartych w programie, przy czym dzieli się na dwa etapy:

- 1/ Kolejny rozkaz wybierany jest z pamięci przez urządzenie sterujące.
- 2/ Realizacja treści zawartej w rozkazie.

Kod operacji oddziałuje na arytmometr nastawiając go na wykonanie odpowiedniego działania, zaś adresy rozkazów na pamięć. Adres pierwszy powoduje wyjście jednej liczby z danej komórki pamięci, adres drugi - drugiej, natomiast adres trzeci kieruje wynik operacji do odpowiedniej komórki. Wybrane dwie liczby wprowadzane są do arytmometru, gdzie dokonuje się na nich operacji

określonej odpowiednim kodem, a otrzymany wynik ponownie kieruje się do pamięci. Dany rozkaz kończy się na zapisie wyniku tej operacji, a urządzenie sterujące wybiera z pamięci następny rozkaz. Analogicznie postępujemy z następnymi rozkazami, aż do wyczerpania się programu.

Maszyna cyfrowa winna charakteryzować się właściwym dalszym tokiem obliczeń w przypadku, gdy w trakcie rozwiązywania zadania jest możliwe kilka kierunków dalszego rozwiązania. Często proces obliczeń składa się z wielokrotnego ich powtarzania w/g tych samych wzorów, przy czym zmiany ulegają jedynie dane liczbowe, stąd konieczność okresowego zmieniającego się procesu obliczeniowego.

Reasumując, można stwierdzić, że elektroniczne maszyny cyfrowe charakteryzuje:

- 1/ Duża szybkość wykonywania operacji;
- 2/ Duża pojemność pamięci;
- 3/ Możliwość automatycznego wyboru właściwego kierunku dalszego toku obliczeń w zależności od wyników pośrednich;
- 4/ Możliwość zastosowania programów zmieniających się okresowo.

Na zakończenie tego działu podam zasadnicze dane maszyn cyfrowych:

Szybkość obliczeń 2 + 20 tysięcy działań arytmetycznych na sekundę. Ilość pozycji dla przedstawienia liczb w maszynie 8 + 20 bitów /cyfr/.

Pojemność pamięci wewnętrznej; 1024+2048 liczb /słów/,
-"- -"- zewnętrznej: 100 000+1000 000 liczb/słów/.

Ilość lamp elektronowych 3 + 5 tysięcy sztuk.

Zajmowana powierzchnia 100 + 200 m²

Moc pobierania 50 + 100 KW

Obsługa /na jedną zmianę/ 2+4 inżynierów i 3 + 5 techników.

Ilość matematyków przygotowujących zadania: 50+150 osób w zależności od charakteru i powtarzalności zadań.

Sredni czas użytecznej pracy maszyny na dobę 10+16 godz.

SYSTEMY LICZB I OBLICZENIA W ELEKTRONICZNYCH MASZYNACH
CYFROWYCH

Przyjęty powszechnie system liczb i liczenia jest system liczbowyⁿ o podstawie 10 zwany dziesiętnym. Jednak już NEWTON proponował wprowadzenie do potrzeb życia system liczbowy o podstawie 2, twierdząc, że jest on prostszym i lepszym. Jednak dopiero elektroniczne maszyny cyfrowe zmusiły wprowadzenie tego systemu w działaniach arytmetycznych, w tych warunkach bezsprzecznie system "zero-jeden" jest wprost idealny. Ten system wymaga układów dwu-stabilnych /stan przewodzenia i nieprzewodzenia, obwód zamknięty i rozwarty/.

System liczbowy "zero-jeden" posiada następującą postać. Podstawa tego systemu wynosi 2, zapis w systemie dwójkowym 10. W zapisie spotykamy tylko dwie wartości zero i jeden i dalszą kombinację tych znaków.

Zapis dwójkowy	-	Zapis dziesiętny
0	-	zero
1	-	jeden
10	-	dwa
11	-	trzy
100	-	cztery
101	-	pięć
110	-	sześć
111	-	siedem
1000	-	osiem
1001	-	dziewięć
1010	-	dziesięć
1011	-	jedenasto
1100	-	dwanaście
1101	-	trzynaście
1110	-	czternaście
1111	-	piętnaście
10000	-	szesnaście
10001	-	siedemnaście

10010	osiemnaście
10011	dziewiętnaście
10100	dwadzieścia
10101	dwadzieścia jeden
10110	dwadzieścia dwa
10111	dwadzieścia trzy
11000	cztery
11001	pięć
11010	sześć
11011	siedem
11100	osiem
11101	dziewięć
11110	dziesięć

Liczba sto dziewięćdziesiąt pięć napisana w systemie dwójkowym będzie miała postać

$$11000011 = 1 \cdot 10^7 + 1 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^5 + 0 \cdot 10^4 + 0 \cdot 10^3 + 0 \cdot 10^2 + 1 \cdot 10^1 + 1 \cdot 10^0$$

gdzie 10 oznacza 2 w systemie dwójkowym, jak również wykładniki potęgowe napisane w w/w systemie.

W celu przejścia z systemu dziesiętnego na system dwójkowy i odwrotnie należy zapoznać się z następującym twierdzeniem:

"Jeśli a_1 oznacza resztę z podziału liczby X przez liczbę b , a_2 resztę z podziału pierwszego przez b , a_3 resztę z podziału drugiego ilorazu przez b itd, zaś a_K oznacza resztę w tym dzieleniu, w którym iloraz jest równy zero to ciąg cyfr $a_K, a_{K-1}, \dots, a_2, a_1$ oznacza liczbę w systemie o podstawie b .

Przykład:

17 : 2 = 8 + 1	$a_1 = 1$
8 : 2 = 4 + 0	$a_2 = 0$
4 : 2 = 2 + 0	$a_3 = 0$
2 : 2 = 1 + 0	$a_4 = 0$
1 : 2 = 0 + 1	$a_5 = 1$

to liczba wynosi: $a_5, a_4, a_3, a_2, a_1 = 10001$
jest to liczba 17 zapisana w systemie liczbowym "zero-jeden".

Dodawanie liczb w systemie dwójkowym jest bardzo proste, należy jedynie zapamiętać następującą regułę:

$$\begin{array}{ll} 0 + 0 = 0 & 1 + 0 = 1 \\ 0 + 1 = 1 & 1 + 1 = 10 \end{array}$$

Jednak układy bistabilne są układami jedno-pozycyjnymi, dlatego też zapis w maszynie $1 + 1 = 0$. Wartość "1" przekazana jest do wyższego o jeden stopień układu sumowania.

Przykład:

$$\begin{array}{r} \text{siedem} \quad - \quad 111 \\ \text{dwanaście} - 1000 \\ \hline \end{array} \qquad \begin{array}{r} 7 + 12 = 19 \\ 1100 \\ + 111 \\ \hline 10011 \end{array}$$

10011 - dziewiętnaście.

Odejmowanie odbywa się w oparciu o podobną regułę co przy dodawaniu.

$$\begin{array}{ll} 0 - 0 = 0 & 10 - 1 = 1 \\ 1 - 0 = 1 & 1 - 1 = 0 \end{array}$$

Przykład:

$$27 - 14 = 13$$

$$\begin{array}{r} \text{dwadzieścia siedem} \quad - \quad 11011 \\ \text{czternaście} \quad \quad \quad - \quad \underline{1110} \\ \text{trzynaście} \quad \quad \quad - \quad 1101 \end{array}$$

Mnożenie przez siebie cyfrowych części liczb w systemie dwójkowym jest nieskomplikowane i polega na tym, że mnożna przesuwana się kolejno w lewo o ilość pozycji równą numerom znaczących pozycji mnożnika, a otrzymane w ten sposób iloczyny sumują się.

010011

110100

101101

000111

reszta

Aby przedstawić liczbę w systemie dziesiętnym korzystając z twierdzenia pośaonego wyżej, dzielimy liczbę a reszta utworzy nam liczbę w systemie dziesiętnym.

Przykład:

Dzielnik	Dzielnik	Reszta	Reszta w systemie dziesiętnym
11110011	-	-	-
11000	1010	011	3
10	1010	0100	4
0	1010	10	2

Zatem $\frac{11110011}{2} = \frac{243}{10}$

PODSTAWOWE ZWIĄZKI LOGICZNE

Aby ustalić dokładnie sens zadań, wypowiedzianych w matematyce, musimy ściśle umówić się co do treści takich słów jak i lub, jeśli to i niektórych innych którymi bezustannie posługujemy się nie tylko w matematyce ale również w maszynach cyfrowych. Słowa te w gramatyce nazywają się spójnikami międzyzdaniowymi. W logice matematycznej nazywa się je funktorami zdaniotwórczymi, gdyż służą one do tworzenia nowych zdań ze zdań już uprzednio utworzonych. Rola tych funkcyj w logice jest więc podobna do roli, jaką w arytmetyce gra np. znak "+", który pozwala utworzyć nazwę nowej liczby z dwu dowolnie danych nazw liczb.

Zatem w rachunku zdań nieistotna jest treść, lecz jego wartość logiczna.

Wartość logiczną "prawda" będziemy oznaczali 1, natomiast "fałsz" 0.

Funktorem nazywamy zależność w zdaniu pomiędzy wartością logiczną, a wartościami logicznymi argumentów,

Opiszemy teraz funktory najczęściej spotykane w praktyce.

1. Negację /zaprzeczenie/ Zaprzeczenie zdania.

Operację negacji oznaczamy symbolem \bar{A} /czyta się "nie A"/.

Możliwe zależności:

$$\begin{aligned} \bar{1} &= 0 \\ \bar{0} &= 1 \end{aligned}$$

2. Konjunkcję /iloczyn logiczny/ Operacja jest oznaczona

symbolem X /symbol czyta się jako związek "i"/

Zdanie $A X B$ /czyta się A i B / jest prawdziwe wtedy i tylko wtedy, gdy jednocześnie A i B prawdziwe w pozostałych wypadkach - fałszywe.

Możliwe zależności:

$$\begin{aligned} 0 X 0 &= 0 \\ 0 X 1 &= 0 \\ 1 X 0 &= 0 \\ 1 X 1 &= 1 \end{aligned}$$

3. Alternatywa /dodawanie logiczne/.

Operacja jest oznaczona symbolem V /czyta się "lub/

Wyrażenie $A V B$ oznacza zdanie fałszywe wtedy i tylko wtedy, kiedy jednocześnie obie składowe są fałszywe.

Możliwe zależności:

$$\begin{aligned} 0 V 0 &= 0 \\ 0 V 1 &= 1 \\ 1 V 0 &= 1 \\ 1 V 1 &= 1 \end{aligned}$$

4. Równoważność dwóch zdań.

Zależność tę oznaczamy symbolem \sim Zdanie złożone $A \sim B$ /czyta się "A równoważne B"/ jest prawdziwe wtedy, gdy wartości logiczne jego zdań składowych są jednakowe, fałszywe zaś w wypadku przeciwnym.

Możliwe zależności

$$\begin{aligned} 0 \sim 0 &= 1 \\ 0 \sim 1 &= 0 \\ 1 \sim 0 &= 0 \\ 1 \sim 1 &= 1 \end{aligned}$$

Te podstawowe związki logiczne są powszechnie stosowane w maszynach cyfrowych.

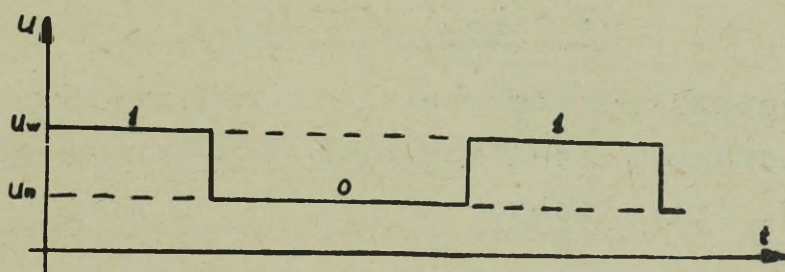
Omówienie tych pojęć jest konieczne do wyjaśnienia układów logicznych maszyn cyfrowych.

KODOWANIE CYFR SYSTEMU DWÓJKOWEGO W MASZYNACH CYFROWYCH

Przedstawianie cyfr systemu dwójkowego w elektronicznych maszynach cyfrowych jest realizowane za pomocą sygnałów elektrycznych. Praktycznie istnieją dwa sposoby przedstawienia cyfr za pomocą sygnałów elektrycznych.

I/ System statyczny.

Przy tym sposobie stosujemy dwa różne poziomy napięcia. Poziom wysoki U_w odpowiada jedności, a poziom niski U_n - zeru. Każdy z nich jest stały przez czas trwania danej cyfry.

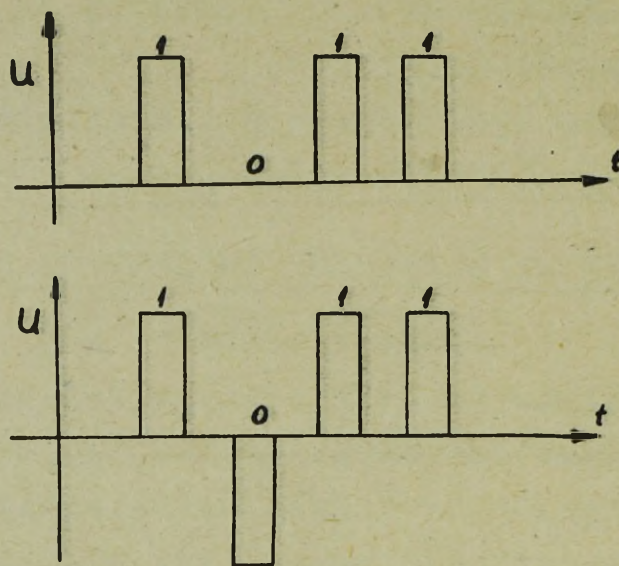


Rys. 2a

Jeżeli cyfry będą jednakowo występowały po sobie /np. 1,1,1 lub 0,0,0/ to poziom napięcia będzie taki sam i w przerwach pomiędzy cyframi.

2/ Sposób dynamiczny.

Sposobem dynamicznym cyfry przedstawione są za pomocą prądowych impulsów prostokątnych t określonym czasie trwania. Obecność impulsu dodatniego oznacza jedynkę, brak impulsu lub impuls ujemny - zero.



Rys.2 - Przebiegi elektryczne przedstawiające cyfry w maszynie cyfrowej:

2a/ sposób statyczny

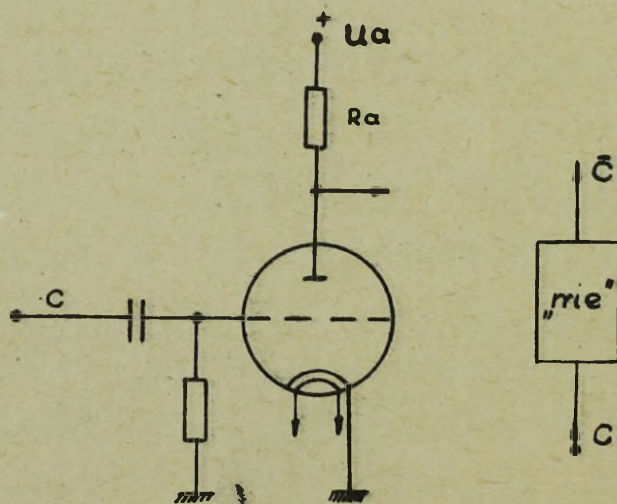
2b/ sposób dynamiczny

UKŁADY REALIZUJĄCE PODSTAWOWE OPERACJE LOGICZNE
I UKŁADY LOGICZNE

Zapoznamy się obecnie z najprostszymi układami elektronicznymi, realizującymi podstawowe operacje logiczne: "nie", "i", "lub".

1. Operacja "nie"

Każda lampa trójelektrodowa realizuje tę operację ponieważ napięcie na anodzie jest o 180° przesunięte w stosunku do napięcia na siatce.



Rys. 3. Inwertor realizujący operację "nie".

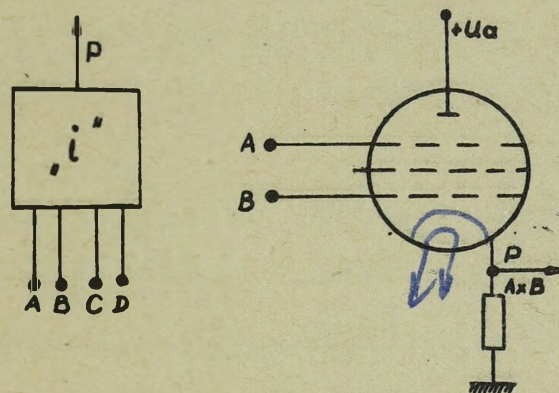
Układ inwertora /odwracacz fazy/ pokazany na rysunku Nr 3 realizuje operację negacji.

Gdy na siatkę przyłożymy impuls ujemny to na anodzie pojawia się impuls dodatni. Oznacza to, że realizuje operację "nie".

2. Operacja "i".

Układy realizujące operację logiczną "i" mają w ogólnym przypadku "n" wejść i jedno wyjście. Sygnał na wyjściu pojawi się tylko w tym przypadku, gdy na wszystkich wejściach sygnały pojawiają się jednocześnie.

Oznacza to, że układ taki realizuje iloczyn logiczny $P = A \times B$.

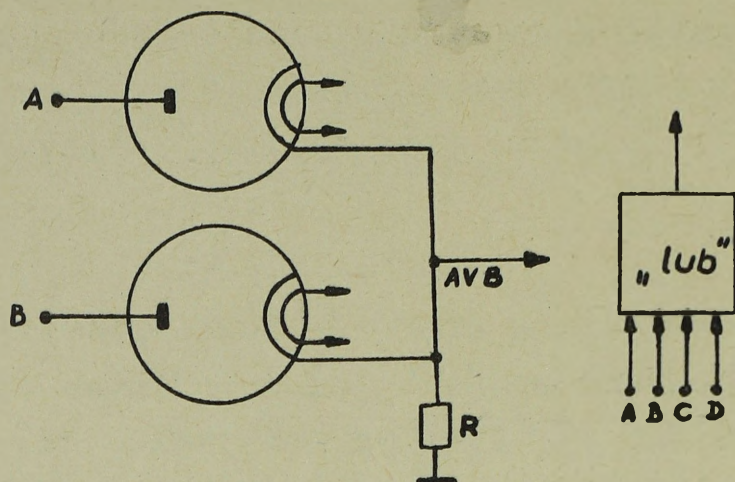


Rys. 4. Układ na pentodzie realizujący operację "i"

W przypadku braku sygnału na jednej siatce prąd przez lampę nie przepłynie. Impuls prądowy będzie wówczas, gdy jednocześnie na dwóch siatkach pojawią się impulsy.

3. Operacja logiczna "lub".

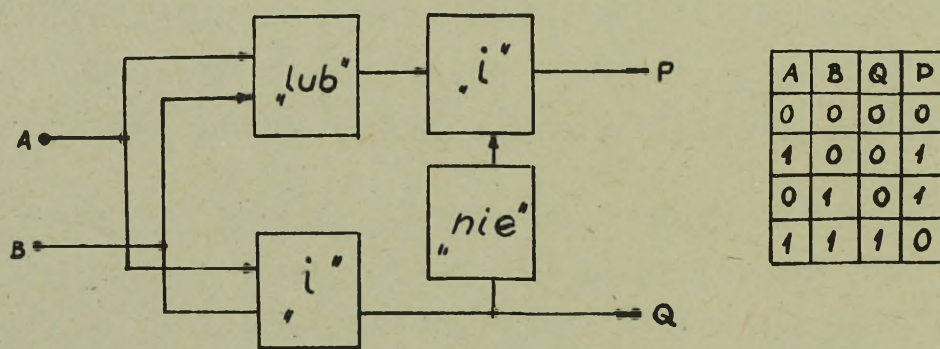
Układ realizujący tę operację może być dowolnie prosty. Warunkiem jest by sygnał na wyjściu powstał, gdy na jednym z wejść będzie on przyłożony.



Rys. 5. Układ na diodach realizujący operację "lub"

Gdy na jedną lampę podamy impuls dodatni to popłynie prąd i spowoduje spadek napięcia na oporze R w postaci impulsu dodatniego. Taki układ spełnia warunek alternatywy.

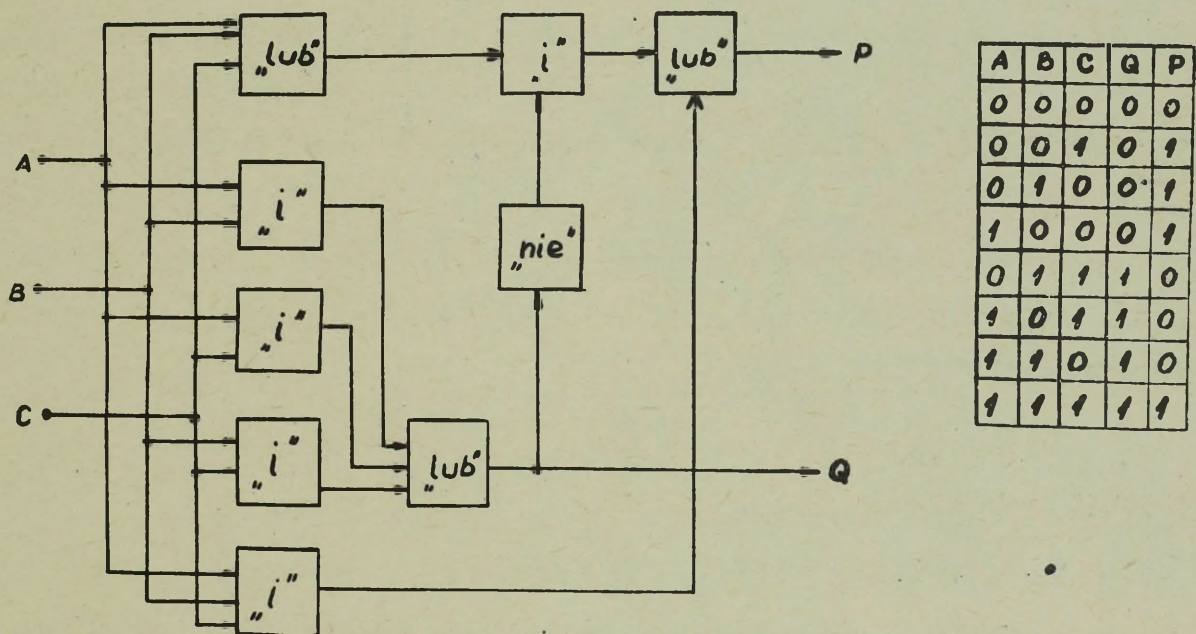
Dla przykładu omówimy układ funkcjonalny jednoocyfrowego sumatora dwójkowego o dwóch wejściach.



Rys. 6. Schemat funkcjonalny jednoocyfrowego sumatora dwójkowego o dwóch wejściach.

Na tablicy obok rysunku przedstawiono zasadę pracy sumatora dwójkowego o dwóch wejściach. Na wejściach A i B podawane są pozycje dodawanych cyfr dwójkowych, na wyjściu P pojawia się ich suma danej pozycji, a Q daje przeniesienie do następnej wyższej pozycji sumatora.

Można zbudować o trzech wejściach sumator jednocyfrowy, układ logiczny nieco się skomplikuje.



Rys. 7. Schemat funkcjonalny jednocyfrowego sumatora dwójkowego o trzech wejściach.

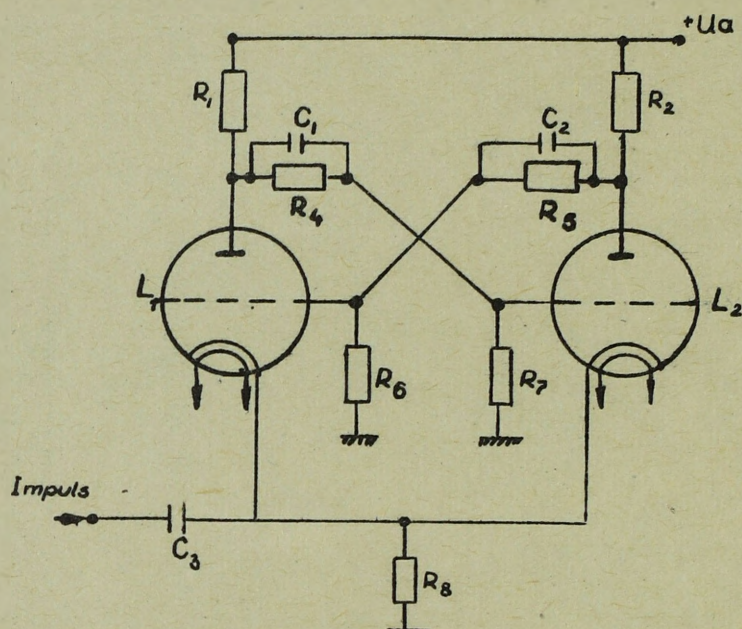
Układ powyższy jest również jednopozycyjnym sumatorem dwójkowym o trzech wejściach. Na wejścia A i B podawane są odpowiednie pozycje sumowanych liczb dwójkowych, natomiast na wejście C podawane jest przeniesienie z pozycji niższej do danej. Na wyjściu P otrzymujemy wartość danej pozycji sumy zaś wyjście Q daje nam wartość przeniesienia o sąsiednią wyższą pozycję.

O tym czy układ pracuje właściwie, można łatwo przekonać się podstawiając na wejścia A, B, C odpowiednie wartości podane w tablicy /Rys.7/ i porównując otrzymane wyniki z jej danymi w kolumnach P i Q.

np. $1 + 1 + 0 = 10$
czyli $A = 1 \quad B = 1 \quad C = 0 \quad \text{to } P = 0 \quad Q = 1$

Dwustanowy przerzutnik statyczny

W elektronicznych maszynach cyfrowych bardzo duże znaczenie ma układ o dwóch stanach równowagi /dwa stany stabilne/ tzw. dwustanowy przerzutnik statyczny.



Rys. 8. Dwustanowy przerzutnik statyczny.

Zbudowany jest on na dwóch lampach o wspólnym przedpięciu oraz ze wzajemnym sprzężeniem z anod na siatki, dzięki czemu znajduje się on zawsze w jednym z dwóch stanów stabilnych tak długo, dopóki sygnał zewnętrzny nie zmieni jego stanu na przeciwny. W układzie tym anoda lampy L_1 poprzez oporność R_4 zbocznikowaną kondensatorem C_1 połączona jest z siatką lampy L_2 , a anoda lampy L_2 przez oporność R_5 zbocznikowaną kondensatorem C_2 połączona jest z siatką lampy L_1 . Wzrost prądu płynącego przez jedną z lamp wywołuje na jej anodzie, a tym samym i na siatce lampy sąsiedniej spadek napięcia. Na przykład wzrost prądu lampy L_1 spowoduje wzrost spadku napięcia na oporności R_1 i obniżenie potencjału na siatce lampy L_2 . W wyniku tego zmniejszy się prąd płynący przez lampę L_2 powodując wzrost potencjału na jej anodzie i siatce lampy L_1 , zwiększając jeszcze bardziej jej prąd itd. Proces ten będzie trwał tak

długo, dopóki lampa L_2 nie zostanie całkowicie zatkana, a przez lampę L_1 płynąć będzie prąd maksymalny. Cechą charakterystyczną tego układu jest stabilny potencjał na obu anodach, na jednej wysoki, a na drugiej niski. Prąd anodowy lampy przewodzącej powoduje spadek napięcia zarówno na jej oporze anodowym $/R_1$ lub $R_2/$ jak i na wspólnym oporze katodowym R_3 . Opory powinny być tak dobrane aby napięcie na ich katodach, gdy jedna jest całkowicie zatkana, było wyższe od potencjału siatki lampy zatkanej. Różnica potencjałów stanowi dla lampy nieprzewodzącej ujemne przecięcie podtrzymujące układ w stanie stabilnym. I dopiero impuls zewnętrzny wypro-wadzić może go ze stanu równowagi. Istnieje kilka sposo-bów podawania sygnałów zewnętrznych na przerzutnik. Można podawać impulsy o tej samej biegunowości na jedno wejście, na przykład na katody obu lamp. Każdy pojawiający się na wejściu impuls spowoduje w układzie kolejne zmiany jego stanów sumując impulsy według modułu dwa, w tym przypadku układ taki jest jednopozy-gyjnym licznikiem dwójkowym. Stosuje się również taką metodę sterowania przerzutnikiem, w którym sygnał poda-je się na dwa różne punkty układu, na przykład na siatki. W tym przypadku stan układu uzależniony jest od bieguno-wości podanego sygnału. I tak na przykład zmianę stanu układu może spowodować jedynie impuls ujemny podany na siatkę lampy, która w danej chwili przewodzi. Można je łączyć szeregowo w taki sposób, że sygnał wyjściowy jednego układu jest jednocześnie sygnałem wejściowym drugiego. Na tej zasadzie zbudowane są rejestry /pamięć/ do przechowywania jednej liczby. Każdy przerzutnik odpowia-da określonej pozycji liczby dwójkowej, a szeregowo ich połączenie zapewnia przeniesienie między poszczególnymi pozycjami przy sumowaniu liczb dwójkowych.

A R Y T M O M E T R Y

Arytmometry dokonują operacji arytmetycznych i logicznych w maszynach na liczbach i rozkazach. Arytmometr składa się z kilku oddzielnych urządzeń o różnym przeznaczeniu funkcjonalnym. Podstawowymi elementami arytmometrów są jednopozycyjne sumatory, przerzutniki, rejestry, układy przesuwania, które zostały już omówione w poprzednim punkcie. Rozpatrzmy urządzenia służące do dodawania i odejmowania, gdyż z tych można tworzyć układy do wszystkich pozostałych działań matematycznych.

Istnieją dwa rodzaje urządzeń realizujących operację dodawania:

- a/ bez rejestru - sumatory
- b/ z rejestrem - akumulatory.

Sumator ma dwa wejścia na które jednocześnie podaje się obie liczby przedstawione w postaci wysokich i niskich poziomów napięcia. Równocześnie z ich wprowadzeniem pojawia się suma, a wartość jej określa stan elektryczny układu cyfrowego, który przyjmie sumator przy jednoczesnym podaniu sygnałów charakteryzujących obie liczby. Jeżeli jednego ze składników brak to wartość sumy znika.

Akumulatory mogą mieć albo dwa wejścia /osobno dla każdej składowej/, albo jedno dla obu składowych. W obu przypadkach dodawane cyfry nie są wprowadzane do sumatora jednocześnie. Wartość sumy określana jest wynikiem dodawania wszystkich składowych wprowadzonych w różnym czasie do sumatora.

Akumulator przechowuje wartość sumy również po zniknięciu sygnałów, które charakteryzują liczby. Wymazanie sumy może nastąpić za pomocą specjalnego impulsu. Sumator zbudowany z przerzutników statycznych będzie akumulatorem również bez rejestru, ponieważ przerzutniki mają zdolność zachowania swego stanu. Wprowadzona do niego liczba dodaje się do liczby, która się w nim znajdowała,

a otrzymana suma zawierać będzie również liczbę poprzednią.

Według charakteru wykonywania operacji na pozycjach liczb sumatory dzieli się na szeregowe i równoległe.

W sumatorze szeregowym pozycje wprowadzanej liczby podawane są jedna za drugą, poczynając od pozycji niższej, przy czym wprowadzenie n - cyfrowej liczby wymaga n razy dłuższego czasu od wprowadzenia jednej pozycji. W sumatorze równoległym wszystkie pozycje dowolnej liczby wprowadza się jednocześnie w czasie n razy krótszym niż w sumatorze szeregowym, wymaga to jednak większej ilości kanałów wejściowych aparatury.

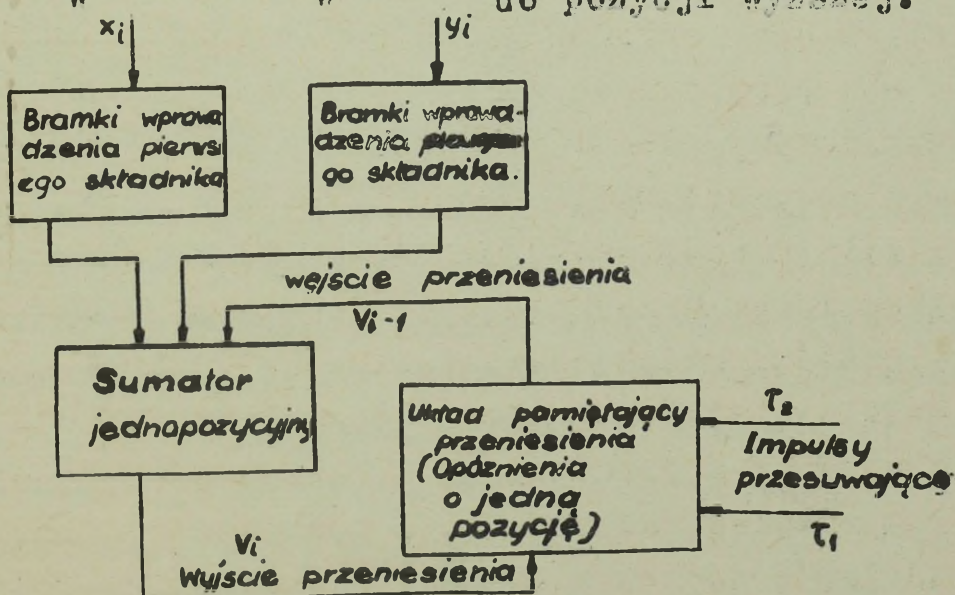
Na rysunku nr 9 podany jest schemat blokowy sumatora szeregowego. W tym wypadku stosuje się tylko jeden jednopozycyjny sumator i układ opóźniający jedynkę przeniesienia o czas równy pojawieniu się dwóch kolejnych pozycji liczby.

W systemie dwójkowym układ pracuje na podstawie wzoru

$$Z_i = X_i + Y_{i-1} - 2V_i$$

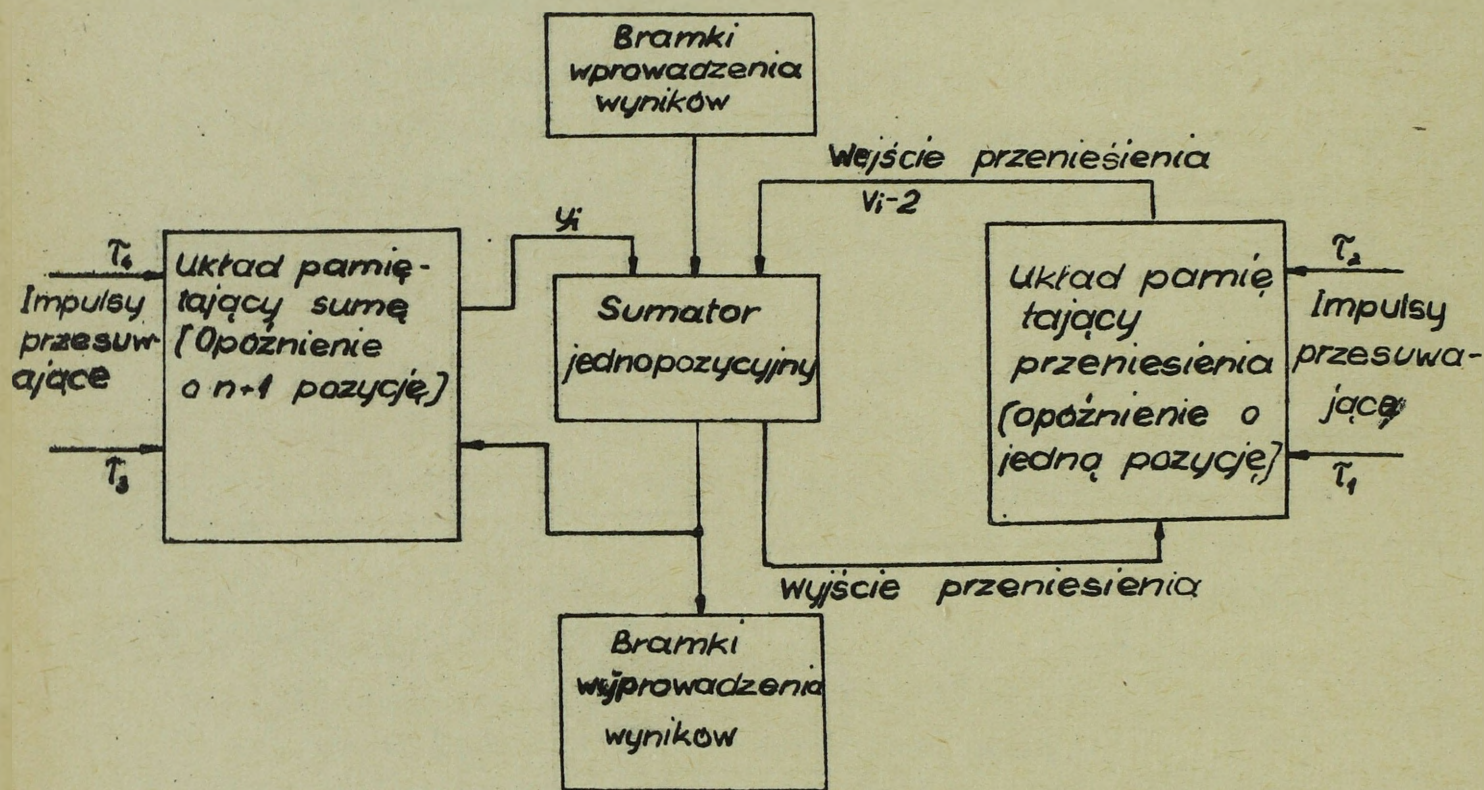
gdzie Z_i - wartość cyfry sumy i - tej pozycji X_i oraz Y_i - wartość cyfr i - tych pozycji poszczególnych składowych.

V_{i-1} jedynka przeniesienia z niższej pozycji.
 V_i " " do pozycji wyższej.



Rys.9. Schemat blokowy sumatora szeregowego.

Przez τ_1 i τ_2 oznaczono impulsy synchronizujące, podawane na przerzutniki, które realizują układ opóźniający w celu zapewnienia jednoczesnego pojawienia się impulsów przeniesienia V_{i-1} oraz impulsów wejściowych X_i, Y_i . W sumatorze szeregowym nie można uzupełnić przeniesienia cyklicznego, używa się go albo do sumowania liczb dodatnich albo ujemnych danych w kodzie uzupełniającym, w tym przypadku przeniesienie cykliczne jest zbędne, gdyż impuls V_{i-1} równa się zero, a impuls V_i odrzuca się. Na rysunku Nr 10 pokazany jest schemat blokowy akumulatora szeregowego.



Rys. 10. Schemat blokowy akumulatora szeregowego.

Obecność układów pamiętających przekształca sumator w akumulator, którego można używać do sumowania liczb ujemnych. Istota pracy pozostaje bez zmian. Układy można budować o różnych zadaniach arytmetycznych, będą one proste lub bardziej uwickiane.

PAMIEĆ W MASZYNACH CYFROWYCH

Istnieje bardzo dużo typów pamięci różniących się od siebie zasadą pracy, pojemnością, szybkością działania, czasem przechowywania danych itp.

1. Pamięć na kartach i taśmach perforowanych.

Liczby i rozkazy przedstawiane w systemie dwójkowym za pomocą cyfr 0 i 1 odtwarzane są na kartkach i taśmach poprzez odpowiedni system otworów /dziurek/.

Otwór na odpowiedniej pozycji może oznaczać jedynkę, a jego brak - zero.

2. Pamięć na przekaźnikach elektronowych.

Omówiliśmy już działanie elektronowego przerzutnika dwustanowego, który ma zdolność zapamiętania tylko jednej cyfry /0 lub 1/.

Do zapamiętania dużej ilości cyfr należy zastosować również wiele układów przerzutników i układów pomocniczych.

3. Pamięć na liniach opóźniających.

Zasada działania linii opóźniającej polega na tym, że doprowadzona do jednego końca linii informacja rozchodzi się w postaci fali w ośrodku, z którego jest zbudowana dana linia, z pewną określoną szybkością i dopiero po danym czasie pojawia się na drugim jej końcu. Łącząc wyjściem danej linii otrzymany zamknięty obwód informacji powtarzający się cyklicznie, z którego można pobierać informację i składać informację. Jako ośrodek rozchodzenia najczęściej używa się rtęci. Fala w tym ośrodku rozchodzi się stosunkowo wolno.

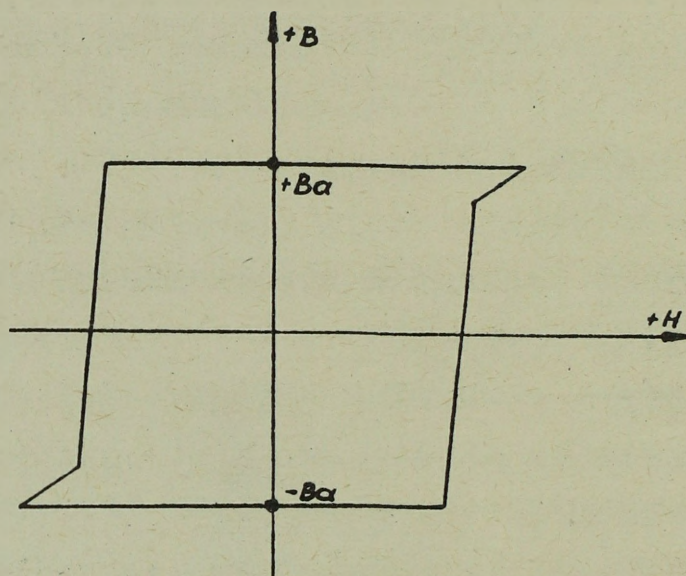
4. Pamięć na bębnach i taśmach magnetycznych.

Głowice magnetyczne stosowane w maszynach cyfrowych podobne są do używanych w technice zapisu dźwięku. Na taśmach czy bębnach zapisywane są cyfry /1 lub 0/ i rozkazy i odpowiednio posegregowane. Można odtworzyć w odpowiednim czasie odpowiednie cyfry i rozkazy.

5. Pamięć na rdzeniach magnetycznych.

Jeden z typów pamięci mającym przed sobą największe perspektywy rozwoju są układy, w których wykorzystujemy materiały o prostokątnej pętli histerezy magnetycznej. Z materiału ferromagnetycznego wykonuje się rdzenie w postaci pierścieni, które umożliwiają pamiętanie cyfr dwójkowych /0 i 1/ w postaci magnetyzmu szostatkowego rdzenia o tej lub innej biegunowości.

Zasada pracy takiej pamięci opiera się na tym, że dla przemagnesowania rdzenia o prostokątnej pętli histerezy należy wytworzyć pole o odpowiednim natężeniu. Jeśli na przykład będzie ona dwukrotnie mniejsza od wymaganej wartości, rdzeń nie przemagnesuje się nawet po wielokrotnym przyłożeniu impulsów pola o takim natężeniu.



Rys. 11. Idealizowana pętla histerezy.

Pojemność pamięci zależna jest od ilości rdzeni. Ilość ta sięga 10.000 i więcej, umożliwia to dowolny wybór zapisu.

ELEMENTY PROGRAMOWANIA

1. Ogólne uwagi o operacjach w elektronicznych maszynach cyfrowych.

Elektroniczna maszyna cyfrowa każde zadanie rozwiązuje przez dokonanie szeregu działań arytmetycznych

i logicznych w określonej kolejności, zadanych przez program.

Zespół operacji, które powinna ^{wykonać} maszyna ustala się przy jej projektowaniu, biorąc za podstawę pewne typowe obciążenia.

W elektronicznych maszynach cyfrowych przeważnie przewiduje się wykonanie jedynie podstawowych operacji arytmetycznych, a mianowicie:

- algebraiczne dodawanie dwóch liczb;
- algebraiczne odejmowanie;
- mnożenie dwóch liczb z uwzględnieniem ich znaków;
- dzielenie liczb z uwzględnieniem znaków.

Często dzielenie nie jest działaniem elementarnym, lecz dokonuje się za pomocą innych operacji. Jednak i pozostałe operacje arytmetyczne można sprowadzić do innych form operacji np. dodawania. Odejmowanie można realizować przez dodawanie liczby w kodzie /układ szeregu ciąg liczboweg/ uzupełniającym lub odwrotnym, mnożenie natomiast sprowadza się do wielokrotnego dodawania, wreszcie operację dzielenia można zastąpić kolejnym odejmowaniem dzielnika od dzielnej z przesunięciem, czyli dodawaniem w kodzie uzupełniającym lub odwrotnym.

Tak więc każdy proces obliczeniowy można byłoby sprowadzić w zasadzie do dodawania.

To nasuwa konieczność opracowywania kolejności i składu wykonywania operacji na określonych z góry i wynikowych liczbach.

2. R o z k a z y

Na podstawie wybranego składu operacji arytmetycznych i logicznych opracowuje się w maszynie system rozkazów. Każda operacja ma swój określony numer, zwany kodem operacji. Do zapisu operacji w czasie składania opracowania programu używa się oprócz numerów operacji również szeregu innych symboli, jak początkowe litery nazw poszczególnych operacji /sumowanie S, odejmowanie O/, znaki działań arytmetycznych /dodawanie "+", mnożenie "X" itd/.

Wszystkie rozkazy podzielić można na dwa podstawowe rodzaje:

a/ rozkazy operacji arytmetycznych i logicznych, których wykonanie połączone jest z jakimkolwiek przekształceniem liczb /dotyczy to również liczb wyrażających rozkazy/.

b/ rozkazy sterujące pracą maszyny /zmiana kolejności wykonywania rozkazów, zatrzymanie oraz zmiany systemu pracy maszyny i inne/.

Rozkazy operacji logicznych i arytmetycznych powinny zawierać w sobie wszystkie informacje niezbędne do wykonania danego działania. Po pierwsze, powinny określać rodzaj operacji, jaką należy wykonać, czyli kod operacji, po drugie, powinny podawać, skąd pobrać liczby wyjściowe i dokąd skierować wynik operacji to znaczy adresy danych wyjściowych i wyniku.

Adresami w rozkazach są kolejne numery komórek pamięci wewnętrznej, w której znajdują się liczby.

W różnych typach maszyn używa się rozkazów jedno-dwu-trzy-adresowe.

Rozkazy trzyadresowe prócz wskazań rodzaju operacji zawierają adresy liczb wyjściowych oraz wyniku operacji.

Np. rozkaz trzyadresowy na wykonanie mnożenia dwóch liczb, które znajdują się w komórkach o numerach 1010^{x/} i 1020 z przesłaniem wyniku do komórki 1030, będzie miała postać

M 1010 1020 1030

M - symbol operacji mnożenia

Pełny rozkaz obrazuje tablica:

x/ W układach cyfr adresowych stosuje się liczbowy system ósemkowy.

Numer pozycji	0	1	...	11	12	...	23	24	...	35	36	37	...	42	
Część liczby	+	mantyssa										+	wykładnik potęgowy		
Część rozkazow	1 adres			2 adres				3 adres				pp	Kod operacyjny		

Pełny system programowania maszyny cyfrowej odbywa się automatycznie w tejże maszynie cyfrowej.

Zakończona została część dotycząca maszyn cyfrowych. Omówimy teraz podstawy maszyn analogowych tzn. elementarne i wyższego rzędu działania matematyczne wykonywane przez te maszyny

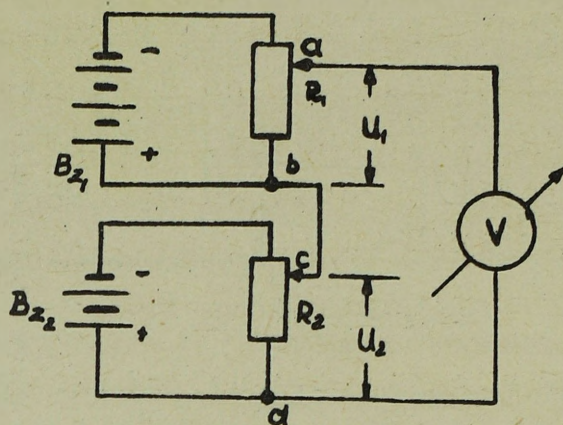
METODY WYKONANIA OPERACJI MATEMATYCZNYCH W MASZYNACH
O DZIAŁANIU CIĄGŁYM

a/ Struktura elektrycznych urządzeń przeliczających.

Liczne operacje matematyczne jak: dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie, różniczkowanie, całkowanie itp. mogą być wykonane nie tylko na drodze mechanicznej lecz i na drodze elektrycznej.

Dla rozwiązania zadania na drodze elektrycznej wszystkie wielkości nieelektryczne winny być zamienione na proporcjonalne wielkości elektryczne. Załóżmy, że musimy dodać do siebie dwie wielkości mechaniczne A i B, stosując metodę elektrycznego wyliczenia. Zadanie to można wykonać przy użyciu dwóch potencjometrów połączonych jak na rys. 12.

Woltomierz podłączony jest do potencjometrów R_1 i R_2 .



Rys. 12. Schemat układu dodawania na potencjometrach.

i pokazuje sumę spadków napięć U_1 i U_2 na odcinkach $a-b$ oraz $c-d$, przy założeniu, że opór wewnętrzny woltomierza jest znacznie większy od sumy oporów R_1 i R_2 .

Przy przemieszczeniu szczotek potencjometrów wskazanie woltomierza będzie się zmieniać lecz zawsze będzie wskazywało sumę dwóch napięć.

Aby sądzić o wielkości sumy $A+B = C$ koniecznym jest znalezienie zależności między napięciem U_1 i U_2 a wielkościami A i B .

$$\text{Jeżeli } U_1 = mA \quad \text{i} \quad U_2 = mB$$

$$\text{to } U = U_1 + U_2 = m / A+B/ = mC$$

W tym wypadku znając współczynnik "m", który odpowiada wielkości mechanicznej jednej działki na skali woltomierza, można woltomierz wyskalować wprost w wielkościach odpowiadających A i B . Wielkości A i B są wprowadzane do potencjometrów przez przesuwanie szczotek potencjometrów.

W tym prostym przykładzie dodawania na wejściu działały wielkości mechaniczne, natomiast w operacji liczenia brały udział wielkości elektryczne w postaci napięć U_1 i U_2 .

Tak więc widzimy, że aby dokonać elektrycznym sposobem operacji matematycznych należy wielkości nie-

elektryczne przekształcić na elektryczne i dopiero na nich dokonać działania.

W poznanym przykładzie zastosowano potencjometry, lecz mogą być stosowane i inne elementy, jak np: tachometry prądu stałego i zmiennego, w których napięcie wyjściowe zależy od ilości obrotów na sekundę lub transformatory obrotowe, które dają na wyjściu napięcia zależne od kąta obrotu wirnika transformatora.

W podanym przykładzie przyrządem rejestrującym wynik zadania był woltomierz, którego wskazówka wychylała się wskazując napięcie proporcjonalne do sumy mechanicznych wielkości A i B.

W urządzeniach elektrycznych, celem odczytania wyniku, koniecznym jest zamiana wyniku elektrycznego w wynik mechaniczny /w przykładzie woltomierz wykonał to zadanie/. Woltomierz jest tu indykatozem /wskaznikiem/, który nie jest zdolny wykonać żadnej czynności np. obrotu lufy działa/.

Dokładność wyniku działania zależy między innymi od dokładności wskazań woltomierza. W przykładzie założyliśmy, że opór wewnętrzny woltomierza jest znacznie większy od oporności obu potencjometrów, w praktyce jednak nie zawsze tak jest i powoduje to powstawanie błędów na skutek przepłynięcia prądu przez woltomierz.

Aby wyeliminować pobór prądu przez woltomierz stosuje się metodę kompensacji jak na rys. 13. W tym wypadku składowe wielkości A i B wprowadza się przemieszczając szczotki potencjometrów R_1 i R_2 jak i przedtem, natomiast indykator /v/ jest wskaźnikiem zerowym wskazującym czy suma napięć U_1 i U_2 jest równa napięciu U. W wypadku gdy

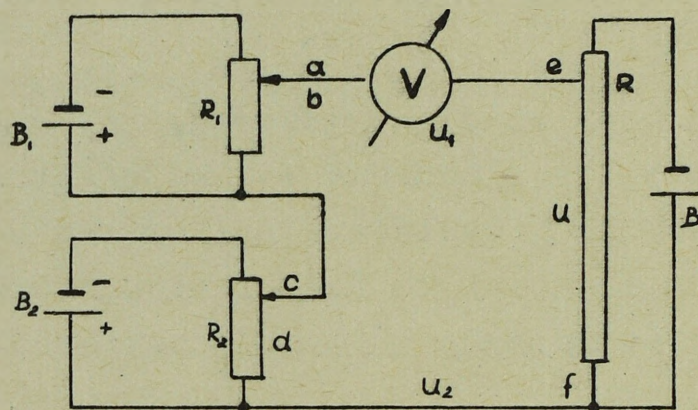
$$U = U_1 + U_2$$

to nie ma różnicy potencjałów między punktem "a" i "e", prąd przez wskaźnik nie płynie, a wskazówka przyrządu wskazuje zero. Wynik działania odczytuje z miejsca położenia szczotki "e" potencjometru R. Tego typu sposób

zmiany wielkości elektrycznej na wielkość mechaniczną /w postaci przesunięcia suwaka "e" potencjometru R/ nosi nazwę METODY KOMPENSACYJNEJ.

Przesunięcie suwaka potencjometru R może być dokonane ręcznie lub automatycznie. Gdy napięcie U nie jest równe sumie U_1 i U_2 to powstaje różnica napięć / ΔU / między punktami "a" i "e":

$$U = U_1 + U_2$$



Rys. 13. Kompensacyjna metoda odczytu wyniku działania.

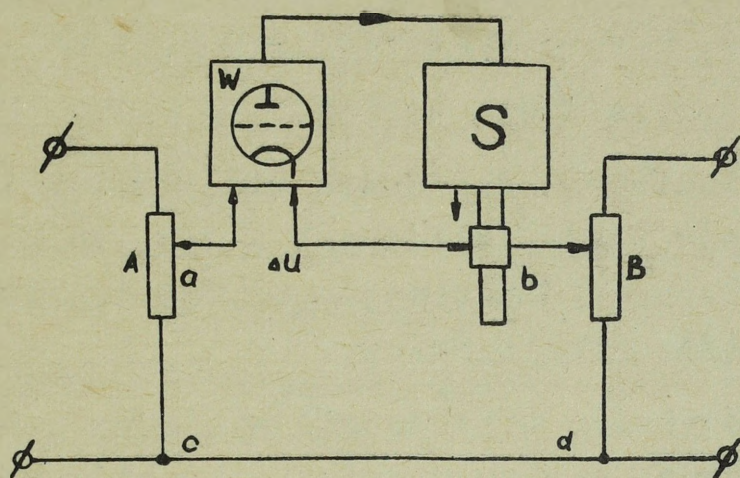
Różnicę napięć ΔU nazywamy sygnałem błędu, który powoduje wychylenie się wskazówki wskaźnika w lewo lub prawo od położenia zerowego /rys. 12/ zależne od tego czy posiada sygnał błędu wartość dodatnią czy ujemną.

Spróbowanie sygnału błędu / ΔU / do zera nazywa się odpracowaniem sygnału błędu.

Kompensacyjny sposób odpracowania sygnału błędu jest najprostszym sposobem, a jednocześnie najbardziej dokładnym.

Dokładność rozwiązania zadania może być znacznie zwiększona w wypadku zastosowania automatycznego odpracowywania sygnału błędu.

W metodzie kompensacyjnej porównujemy dwa napięcia. Różnica napięć może być wykorzystana do sterowania silnikiem związanym mechanicznie z kompensacyjnym układem /potencjometrem R/.



Rys. 14. Zasada automatycznego odpracowania sygnału błędu.

Na rys.14 widzimy schematycznie przedstawiony układ automatycznego odpracowania sygnału błędu. Ponieważ sygnał błędu jest za słaby by poruszać silnik /S/ dlatego zastosowano tu wzmacniacz /w/, który wzmacnia sygnał błędu do dostatecznej wielkości tj. takiej, która będzie w stanie uruchomić silnik.

Z potencjometru B zdejmuje się napięcie kompensujące. Silnik /S/ obraca śrubę i przesuwą nakrętkę, do której przymocowana jest szczotka /ślizgacz/ potencjometru.

Kierunek obrotu silnika zależy tu od znaku ΔU , a moment obrotowy silnika jest równy zeru gdy ΔU równe jest w przybliżeniu zeru.

Czynnikami powodującymi błędy w odpracowaniu ΔU są: zmiany napięcia zasilania układu /konieczność stabilizacji/, tarcie w silniku, śrubie itp. elementach trących. W wypadku jednego źródła zasilania wszystkich potencjometrów nie występują błędy wynikające z wahań się napięcia.

W wypadku zasilania urządzenia przeliczającego prądem zmiennym mogą wystąpić przesunięcia fazowe co może spowodować dodatkowe błędy.

Odejmowanie dwóch wielkości od siebie można dokonać przez zmianę biegunów źródła zasilania np. po-

tenojometru R_2 /rys. 12/ wtedy woltomierz /v/ będzie wskazywał napięcie U .

$$U = U_1 - U_2 = m / A - B / = mC$$

które jest różnicą dwóch napięć.

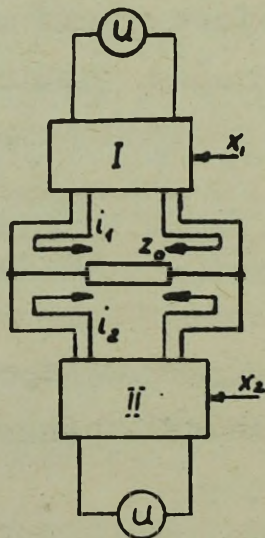
Podobnie jak dla dwóch wielkości A i B można sumować większą ilość składowych z tym, że każdy składnik posiada swój potenjojometr czy też inny element jak np. transformator obrotowy.

W powyższym przykładzie mieliśmy dodawanie i odejmowanie dwóch napięć z dwóch elementów połączonych szeregowo.

Sumowanie kilku wielkości można dokonać łącząc elementy tzn. czwórniki^{x/} równolegle, które pracują na wspólne obciążenie Z_0 jak na rys. 15. Przez obciążenie Z_0 płyną prądy i_1 oraz i_2 , które zależą od napięć wyjściowych czwórników I i II. Napięcie "U" jest to napięcie zasilania czwórników, a x_1 i x_2 są to wielkości np. mechaniczne wprowadzone do czwórników I i II, gdzie są zamieniane na wielkości elektryczne. Przez opór Z_0 płynie prąd wypadkowy

$$i = i_1 + i_2$$

dając w wyniku na oporze Z_0 napięcie, które jest proporcjonalne do sumy dwóch wielkości x_1 i x_2 wprowadzonych do urządzenia sumującego.



Rys. 15. Równoległe połączenie dwóch czwórników.

x/ czwórnik - element elektryczny, który posiada dwa zaciski wejściowe i dwa zaciski wyjściowe.

b/ Ogólne metody mnożenia.

Łącząc elektromechaniczne ozworniki tak, by napięcie wyjściowe jednego było napięciem wejściowym następnego ozwornika, otrzymamy układ za pomocą którego będziemy mogli dokonać mnożenia przez siebie kilku wielkości /Rys. 16/.

Napięcie wyjściowe z pierwszego ozwornika na podstawie zasady Tewelina^{x/} określone jest wzorem

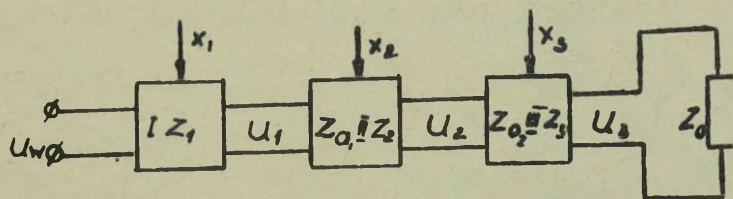
$$U_1 = \frac{U_w \cdot f_1 / x_1 / Z_{01}}{Z_1 + Z_{01}}$$

gdzie: U_w - napięcie zasilania pierwszego ozwornika

$f_1 / x_1 /$ - funkcja wg której zmienia się napięcie wyjściowe nieobciążonego ozwornika w zależności od wprowadzonej zmiennej x_1 ;

Z_{01} - obciążenie pierwszego ozwornika /czyli oporność wejściowa drugiego /następnego ozwornika;

Z_1 - oporność wewnętrzna /wyjściowa/ pierwszego ozwornika.



Rys. 16. Połączenie ozworników celem dokonania mnożenia.

x/ Zasada Tewelina mówi nam, że układ składający się ze źródła o pewnym napięciu oraz z kilku oporów można zastąpić jednym oporem oraz źródłem napięcia, które posiada rzecz jasna inną wartość SEM.

I tak napięcie wyjściowe czwórnika I jest napięciem wejściowym /napięciem zasilania/ II czwórnika, wobec tego napięcie wyjściowe II czwórnika będzie zależało od $f_2/x_2/$ oraz od napięcia wejściowego U_1 i równe jest:

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot f_2 /x_2/ \cdot Z_{o1}}{Z_2 + Z_{o2}} =$$

$$= \frac{U_w \cdot f_1 /Z_1/ \cdot Z_{o1}}{Z_1 + Z_{o1}} \cdot f_2 /Z_2/ \cdot \frac{Z_{o2}}{Z_2 + Z_{o2}}$$

Przeprowadzając analogiczne rozumowanie w stosunku do czwórnika III otrzymujemy wyrażenie na napięcie U_3

$$U_3 = \frac{U_w \cdot f_1 /x_1/ \cdot Z_{o1}}{Z_1 + Z_{o1}} = f_2 /x_2/ \cdot \frac{Z_{o2}}{Z_2 + Z_{o2}} \cdot$$

$$\cdot f_3 /x_3/ \cdot \frac{Z_o}{Z_3 + Z_o}$$

czyli $U_3 = K f_1 /x_1/ \cdot f_2 /x_2/ \cdot f_3 /x_3/$

gdzie $K = \frac{Z_{o1} \cdot Z_{o2} \cdot Z_o}{/Z_1 + Z_{o1}/ \cdot /Z_2 + Z_{o2}/ \cdot /Z_3 + Z_o/}$

Jeżeli współczynnik K jest wielkością stałą, co odpowiada stałym wielkościom oporności wejściowych i wyjściowych wszystkich czwórników i także oporności obciążenia Z_o , to układ /rys. 16/ zapewnia mnożenie trzech funkcji $f_1 /x_1/$, $f_2 /x_2/$ i $f_3 /x_3/$ bez zniekształceń, w przeciwnym wypadku / K nie jest wartością stałą/ występują mniejsze lub większe błędy zależne od wielkości zmian współczynnika K .

C. Sposoby różniczkowania i całkowania

W układach liczących często dokonuje się operacji różniczkowania i całkowania. Proces znajdowania pochodnej lub całki z ciągle podawanej wielkości może być dokonany dowolnym elementem jeżeli tylko jego wyjściowa wielkość jest proporcjonalna do pierwszej pochodnej wielkości wchodzącej. Do takich elementów można zaliczyć tachometry prądu stałego lub zmiennego,

przedstawiające sobą maszyny elektryczne pracujące jako generatory, a także w niektórych warunkach układy składające się z oporności rzeczywistej R i oporności biernej pojemnościowej $/C/$ lub indukcyjnej $/L/$.

Zastosowanie tachometrów w celu różniczkowania wymaga wprowadzenia wejściowej wielkości w postaci mechanicznej, natomiast zastosowanie pasywnych układów $/RL$ lub $RC/$ wymaga wprowadzenia wejściowych wielkości w postaci elektrycznej.

Przy zastosowaniu pasywnych układów różniczkowania dokładność wykonania operacji zależy od wybranych parametrów układu: wielkości aktywnej oporności R i pojemności C dla układu RC , aktywnej oporności R i indukcyjności L dla układu RL .

Wybór tych parametrów tylko na podstawie wymaganej dokładności różniczkowania jest niekorzystny, gdyż ze zwiększeniem dokładności pracy obwołu zwiększa się osłabienie /przez układ różniczkujący/ wyjściowej wielkości, co odbija się ujemnie na czułości układu w szczególności do wolno zmieniających się wielkości wejściowych.

Dlatego układy różniczkujące pracują wraz z układami wzmacniającymi z ujemnym sprzężeniem zwrotnym.

Rola wzmoocnienia w danym wypadku wprowadza się do wyeliminowania wpływu obciążenia na źródło wejściowego napięcia podlegającego różniczkowaniu, a sprzężenie zwrotne we wzmacniaczu zmniejsza zależność współczynnika wzmoocnienia od napięć zasilających, rozrzutu parametrów lamp itp.

W elektromechanicznym sposobie różniczkowania /tachometryczne maszyny/ dokładność wykonania operacji zależy przede wszystkim od tego, na ile dokładnie zachowana jest proporcjonalność między wyjściowym napięciem a prędkością /obrotami/ wirnika tachometru.

Podobnie jak różniczkowanie, proces całkowania może być dokonany na drodze elektrycznej i elektromechanicznej.

W elektrycznym sposobie całkowania mogą być stosowane całkujące odwody, na wejściu i wyjściu których działają elektryczne wielkości /w postaci napięć lub prądów/.

Tu także stosowane są wzmacniacze ze sprzężeniem zwrotnym ujemnym polepszającym pracę wzmacniacza.

Układ całkujący wykonuje się często jako układ nadążny. Na rys. 17 przedstawiony jest jeden z możliwych wariantów układu całkującego.

Sygnał wejściowy, przedstawiony jest w postaci napięcia U_w , podawanego na układ sumujący / Σ /, a więc na wzmacniacz, na wyjściu którego podłączony jest silnik. Z wałem silnika mechanicznie związany jest tachogenerator, którego napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do ilości obrotów /na jednostkę czasu/ wirnika. Napięcie z tachogenerora jest podawane na wejście wzmacniacza, z tym, że działa ono przeciwnie do napięcia wejściowego, kompensując tym samym napięcie U_w . W praktyce pełnej kompensacji nie będzie, jednak jeżeli wykonamy wzmacniacz /W/ o dostatecznie dużym wzmocnieniu, to różnica między napięciem wejściowym U_w a napięciem z tachometru U_r będzie bardzo mała tak, że praktycznie biorąc, można przyjąć $U_w = U_r$.

Napięcie generowane przez tachogenerator jest proporcjonalne do prędkości kątowej ω wirnika.

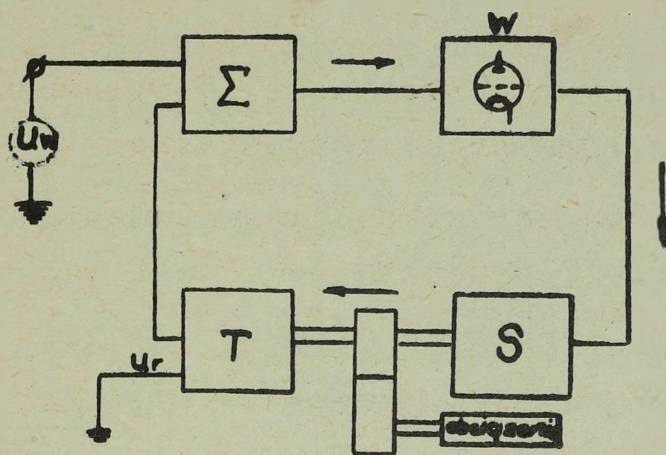
$$U_w = U_r = K\omega = K \frac{d\alpha}{dt}$$

gdzie: α - kąt obrotu wirnika

K - współczynnik

Na podstawie otrzymanego wyrażenia można określić kąt w zależności od napięcia wyjściowego

$$\alpha = \frac{1}{K} \int_0^t U_w dt$$



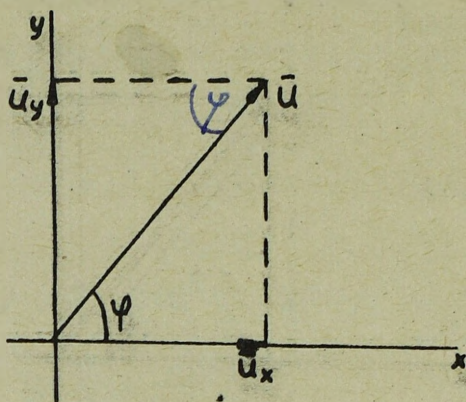
Rys. 17. Schemat układu całkującego.

Dokładność pracy układu całkującego przede wszystkim zależy od dokładności tachometru oraz od wielkości wzmocnienia wzmacniacza /W/.

Im bardziej zachowana jest proporcjonalność między wyjściowym napięciem z tachometru a prędkością kątową obrotów wirnika, tym dokładniej pracuje układ całkujący.

d/ Metody obliczeń trygonometrycznych

Przy rozwiązywaniu zadań w przyrządach kierowania ogniem artylerii spotykamy się z koniecznością określania wektora znając jego składowe lub znając składowe znaleźć jego wielkość, a także musimy dokonać prostych działań trygonometrycznych. Do tych celów mogą być stosowane metody elektryczne. Dla znalezienia wektora znając jego składowe lub składowych znając wektor, wykorzystuje się możliwość przedstawienia prądu sinusoidalnie zmiennego lub napięcia w postaci wektora, moduł którego odpowiada amplitudzie napięcia lub prądu, a argument - fazie.



Rys. 18. Określenie wektora znając jego składowe.

Założmy, że mamy dwa sinusoidalne napięcia tej samej częstotliwości w postaci dwóch wektorów /Rys.18/

$$U_y = U \sin \varphi \quad U_x = U \cos \varphi$$

W tym wypadku faza napięcia U_x różni się od fazy napięcia U_y o 90° .

Składając oba wektory U_y i U_x , otrzymamy wektor \vec{U} , którego moduł równy jest

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

a argument czyli faza napięcia wypadkowego względem napięcia składowej U_x określa się wzorem

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_y}{U_x}$$

Z powyższego wynika, że dla określenia modułu i argumentu wektora \vec{U} przy znanych jego składowych, koniecznym jest posiadanie urządzenia elektrycznego dającego składowe tego wektora w postaci dwóch napięć U_x i U_y przesuniętych względem siebie w fazie /w danym wypadku o 90° /.

Sumując dwa napięcia U_x i U_y otrzymamy wynik w postaci szukanego wektora.

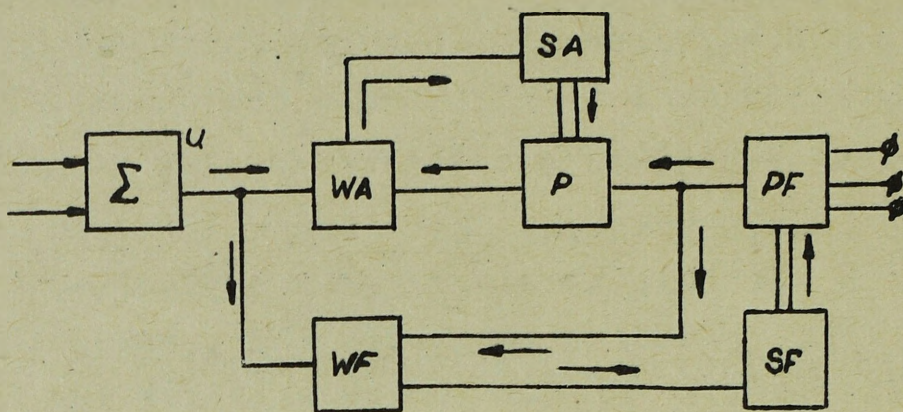
Zadanie można uznać w pełni rozwiązane w tym wypadku gdy określony zostanie moduł oraz argument. W tym celu stosuje się urządzenia wypracowujące taki sam wektor ^{jak} otrzymany w wyniku.

Z położeń mechanicznych elementów można odczytać wielkości modułu i argumentu. Określenie wektora oparte na zasadzie porównania lub kompensacji parametrów wektora /podlegającego odpracowaniu/ z parametrami drugiego wektora wypracowanego i określonego urządzeniem kompensacyjnym jest pokazane na rys. 19.

Na rys.19 pokazany jest zasadniczy schemat wypracowania wektora, składający się z przesuwnika fazowego /PF/, wskaźnika amplitudy /WA/, wskaźnika fazy /WF/, potencjometru /P/ oraz dwóch silników /SF i SA/.

Przesuwnik fazy lub wektorowy transformator obrotowy, przedstawia sobą maszynę indukcyjną, która od strony wzbudzenia zasilana jest ze źródła prądu trójfazowego, dzięki czemu otrzymuje się wirujące pole magnetyczne. Uzwojenie wyjściowe przesuwnika fazowego ułożone jest na obrotowej części maszyny /na rotorze/ i przecięte jest wirującym polem magnetycznym. Napięcie uzyskane na wyjściu z tego urządzenia posiada fazę zależną od ustawienia uwojenia rotora względem uzwojeń trójfazowych /na stojanie/ tj. zależy od kąta obrotu uzwojenia wirnika. Przesuwnik fazowy daje nam napięcie stałe oo do amplitudy ale o dowolnej fazie. Obracając wirnik możemy otrzymać taką fazę, że będzie ona równa fazie porównywanego wektora na wejściu urządzenia.

Napięcie z przesuwnika fazy podawane jest na wskaźnik fazy. Z drugiej strony do tego wskaźnika wchodzi napięcie z fazą podlegającą odpracowaniu. W wypadku różnicy faz pomiędzy napięciami fazy mamy napięcie, które podawane jest na silnik /SF/ mechanicznie związany z rotorem przesuwnika fazy. Silnik obracając się ustawia wirnik przesuwnika fazy tak, że napięcie na wskaźniku fazy staje się równe zeru. Podobnie uzyskuje się odpracowanie amplitudy.



Rys. 19. Zasadniczy schemat odpracowania wektora

Napięcie z przesuwnika fazy podaje się do potencjometr /P/, wyjście którego połączone jest ze wskaźnikiem amplitudy /WA/. Na wskaźnik ten podaje się jednocześnie napięcie z układu sumującego, którego amplituda określona zostaje w wyniku odpracowania amplitudy. Przy istnieniu różnicy między amplitudami, na wyjściu wskaźnika /WA/ mamy napięcie podawane na silnik /SA/, który jest mechanicznie związany z potencjometrem /P/ i przesuw jego szczotkę w położenie odpowiadające równości amplitud porównywanych napięć.

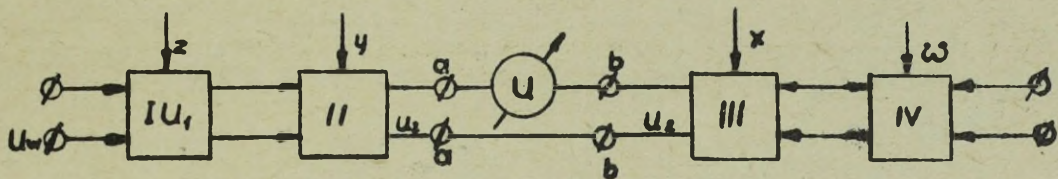
Takim sposobem, położenie rotora przesuwnika fazy określa fazę czyli argument wektora U , a położenie szczotki potencjometru - amplitudę odpracowywanego napięcia czyli moduł wektora U .

Tego rodzaju metoda określenia wektora nosi nazwę metody wektorowo-elektrycznej.

Dla dokonania obliczenia zadania, w skład którego wchodzi trygonometryczne zależności, stosuje się metodę polegającą na wykonaniu zwykłych algebraicznych operacji. Na przykład, trzeba znaleźć wielkość A określoną wyrażeniem

$$A = B \frac{\sin y}{\sin x}$$

Do tego celu można zastosować czwórniki elektromechaniczne połączone wg schematu pokazanego na rys. 20.



Rys. 20, Schemat otrzymania wyrażenia $A = B \frac{\sin y}{\sin x}$

Na podstawie zasady Tewelina napięcia wyjściowe ozwornika I równe jest:

$$U_{\text{wyj.1}} = \frac{U_1 Z_0}{Z_{\text{wyj.1}} + Z_0}$$

Zakładając, że podstawowa zależność ozwornika I określona jest wyrażeniem:

$$U_1 = U_{w1} Z \cdot K_1$$

gdzie: Z - mechaniczne przemieszczenie elementu ruchomego ozwornika I.

K_1 - współczynnik proporcjonalności.

Dla dokładnego otrzymania podstawowej zależności koniecznym jest, żeby opór obciążenia Z_0 i opór wyjściowy $Z_{\text{wyj.1}}$ były stałymi wielkościami, tj. spełniały warunek:

$$\frac{Z_0}{Z_{\text{wyj.1}} + Z_0} = K_1' \approx \text{const.}$$

Po uwzględnieniu tego warunku napięcie wyjściowe $U_{\text{wyj.1}}$ przyjmuje postać:

$$U_{\text{wyj.1}} = K_1 \cdot K_1' \cdot U_{w1} \cdot Z$$

Jeżeli zasadnicza zależność II czwornika spełnia równanie

$$U_2 = U_{\text{wyj.1}} K_2 \cdot \sin y$$

To napięcie działające na zaciskach a-a, przy nieobecności obciążenia, posiada postać $U_2 = K_1 K_1' \cdot K_2 U_{w1} \cdot Z \sin y$

lub: $U_2 = K_{1-2} \cdot Z \cdot \sin y$

gdzie: $K_{1-2} = K_1 \cdot K_1' \cdot K_2 \cdot U_{w1}$

Robiąc tak, by napięcie wyjściowe czwórnika IV spełniało zależność

$$U_{wyj4} = K_4 \cdot K_4' \cdot U_{w4} \cdot \omega$$

A napięcie na wyjściu czwórnika III określone było

$$U_3 = U_{wyj4} \cdot K_3 \cdot \cos X$$

otrzymamy napięcie na zaciskach b-b przy nieobecności obciążenia:

$$U_3 = K_3 \cdot K_4 \cdot K_4' \cdot U_{w4} \cdot \omega \cos x$$

lub $U_3 = K_{3-4} \cdot \omega \cdot \cos X$

gdzie

$$K_{3-4} = K_3 \cdot K_4 \cdot K_4' \cdot U_{w4}$$

Przy założeniu, że napięcie U_2 równe jest napięciu U_3 otrzymamy

$$K_{1-2} \cdot Z \cdot \sin y = K_{3-4} \cdot \omega \cdot \cos X$$

stąd $\omega = K \cdot Z \frac{\sin y}{\cos x}$

gdzie $K = \frac{K_1 \cdot K_1' \cdot K_2 \cdot U_{w1}}{K_3 \cdot K_4 \cdot K_4' \cdot U_{w4}}$ - współczynnik proporcjonalności. 122

A więc dla rozwiązania zależności wg schematu /rys. 20/ po wprowadzeniu potrzebnych wielkości do czwórników I, II i III koniecznym jest jak przemieścić ruchomy element czwórnika IV, żeby strzałka wskaźnika /U/ ustawiła się w położeniu zerowym. Wtedy wielkość ω , wprowadzana do czwórnika IV będzie odpowiadać szukanej wielkości A wyrażenia.

Metoda rozwiązania zastosowana dla obliczenia trygonometrycznej zależności typu może być zastosowana

i do innych zadań trygonometrycznych. Jako elektromechaniczne czwórniki mogą być zastosowane potencjometry funkcjonalne, jak też i transformatory obrotowe.

Jeżeli układ jak na rys. 20 nie będzie posiadał II-go czwórnika oraz czwórnik III daje nam prostą zależność napięcia U_3 od wielkości X , a mianowicie

$$U_3 = U_{wyj4} \cdot K_3 \cdot X$$

to jest $U_3 = K_{3-4} \omega \cdot X$

oraz $U_{wyj.} = U_1 = U_{w1} \cdot Z \cdot K_1$

to gdy wskaźnik wskazuje zero możemy powiedzieć, że

$$U_1 = U_3$$

czyli $K_1 \cdot U_{w1} \cdot Z = K_{3-4} \cdot \omega \cdot X$

stąd $\omega = K \frac{Z}{X}$

gdzie $K = \frac{K_1 \cdot U_{w1}}{K_{3-4}} = \frac{K_1 \cdot U_{w1}}{K_3 \cdot K_4 \cdot K_4 \cdot U_{w4}}$ - współczynnik proporcjonalności

Tego rodzaju układ byłby układem rozwiązującym zadanie dzielenia jednej wielkości Z przez drugą wielkość X , gdzie wynik dzielenia jest proporcjonalny do ω .

$$A = \frac{\omega}{K} = \frac{Z}{X}$$

ODWODY RÓŻNICZKUJĄCE I CAŁKUJĄCE

Dla dokonania operacji różniczkowania i całkowania mogą być zastosowane układy pasywne, złożone z oporów aktywnych oraz z pojemności lub indukcyjności. Takiego typu układy, noszące nazwę obwodów pasywnych, znajdują zastosowanie nie tylko w układach liczących lecz i w układach automatycznego odpracowywania jego elementy korygujące właściwości dynamiczne układów.

W porównaniu z innymi elementami dokonującymi te same operacje, obwody te posiadają pewne zalety, do których należy zaliczyć prostotę budowy /z tanich standartowych elementów/, brak elementów ruchomych, proste ich połączenie z obwodami.

a/ Różniczkujący obwód RC

Przedstawmy sobie układ składający się z oporu aktywnego R i pojemności C, połączonych szeregowo /rys.21/

Jeżeli na zaciski wejściowe A-B obwodu RC podamy pewne napięcie $U_{wej.}$, to w obwodzie popłynie prąd i. Suma spadków napięć na pojemność C i oporze aktywnym R równa się napięciu przyłożonemu $U_{wej.}$ tj.

$$U_{wej} = iR + U_0$$

Ponieważ

$$U_0 = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

więc

$$U_{wej} = iR + \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

Napięcie wyjściowe zdejmovane z zacisków C-D, równe jest spadkowi napięcia na oporze R, można więc napisać

$$i = \frac{U_{wyj}}{R}$$

Podstawiając wyrażenie na prąd "i" do równania otrzymujemy

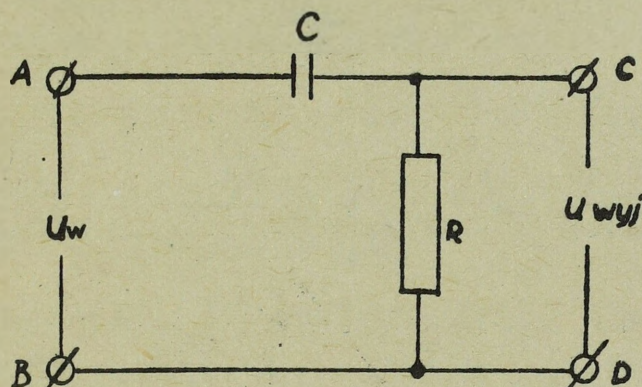
$$U_{wej} = U_{wyj} + \frac{1}{RC} \int_0^t U_{wyj} dt$$

po zróżniczkowaniu obustronnie i pomnożeniu przez RC otrzymujemy

$$RC \frac{d U_{wej}}{dt} = RC \frac{d U_{wyj}}{dt} + U_{wyj}$$

Otrzymane wyrażenie pokazuje nam, że obwód różniczkujący charakteryzuje się błędem określonym członem $RC \frac{dU_{wyj}}{dt}$ w powyższym równaniu.

Błąd wnoszony obwodem, można zmniejszyć przez zmniejszenie stałej czasu RC, lecz to związane jest ze zmniejszeniem się napięcia wyjściowego ze zmniejszeniem się oporności układu. Dla polepszenia pracy obwodu stosuje się wzmacniacz, który między innymi jest stopniem eliminującym wpływ obciążenia na obwód.



Rys.21 Schemat różniczkującego obwodu RC

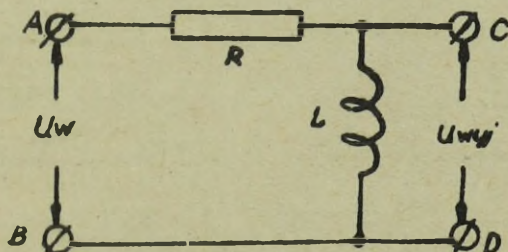
b/ Różniczkujący obwód RL

Na rys. 22 przedstawiony jest schemat obwodu różniczkującego RL. Zaciśki A-B są wejściem układu, zaciśki C-D wyjściem. Zależność między wejściowym a wyjściowym napięciem można przedstawiać za pomocą równania różniczkowego

$$U_{wej} = iR + L \frac{di}{dt}$$

Mnożąc obie strony równania przez stałą czasu obwodu równą

$$T = \frac{L}{R}$$



Rys. 22. Schemat różniczkującego układu RL

otrzymujemy:

$$TU_{wej} = iL + TL \frac{di}{dt}$$

po zróżniczkowaniu obustronnie mamy:

$$T \frac{dU_{wej}}{dt} = L \frac{di}{dt} + TL \frac{d^2 i}{dt^2}$$

Ponieważ napięcie wyjściowe, zdejmowane z indukcyjności L równe:

$$U_{wyj} = L \frac{di}{dt}$$

to równanie różniczkowe otrzymuje postać:

$$T \frac{dU_{wej}}{dt} = U_{wyj} + T \frac{dU_{wyj}}{dt}$$

Widzimy, że obwód różniczkujący RL tak samo jak i RC różniczkuje z błędem określonym członem $T \frac{dU_{wyj}}{dt}$ powyższego równania. Zmniejszając stałą czasu T zmniejszamy błąd lecz tym samym zmniejszamy wielkość wyjściowego napięcia.

Należy zauważyć, że obwód RL stosowany jest znacznie rzadziej w porównaniu z obwodem RC ze względu na trudność uzyskania cewki z dużą indukcyjnością a małym oporem rzeczywistym.

o/ Obwód całkujący

Obwód całkujący, składający się z oporu aktywnego R i pojemności C, posiada strukturę jak i układ różniczkujący RC, a różni się od niego tym, że napięcie wyjściowe zdejmuje się z pojemności C.

Na rys. 25 pokazany jest układ obwodu całkującego, wejściem którego są zaciski A-B, a wyjściem - zaciski C-D. Napięcie wejściowe U_{wej} podane na zaciski A-B równa się sumie spadków napięć na oporze R i pojemności C tj.

$$U_{wej} = iR + \frac{1}{C} \int i dt$$

Otrzymane równanie różniczkowe można przekształcić do postaci

$$\frac{1}{RC} \int U_{wej} dt = U_{wyj} + \frac{1}{RC} \int U_{wyj} dt$$

Równanie to mówi nam, że obwód całkujący RC całkuje z błędem, który określony jest członem

$$\frac{1}{RC} \int U_{wyj} dt$$

Jeżeli na wejście podamy napięcie stałe

$$U_{wej} = U$$

to rozwiązaniem równania różniczkowego będzie wyrażenie

$$U_{wyj} = U / 1 - e^{-\frac{t}{RC}} //$$

Jeżeli obwód całkowałby idealnie, to wyjściowe napięcie określałoby się wyrażeniem

$$U_{wyj1} = \frac{1}{RC} \int U_{wej} dt,$$

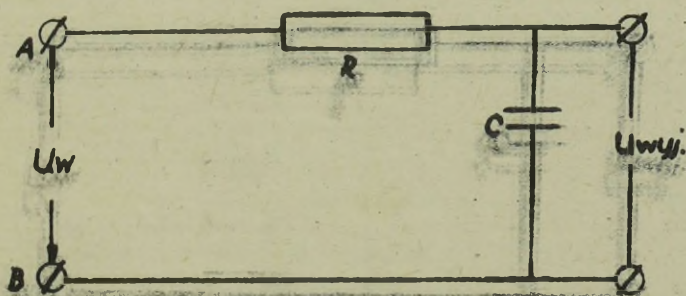
które po rozwiązaniu daje nam zależność

$$U_{wyj1} = \frac{U}{RC} t$$

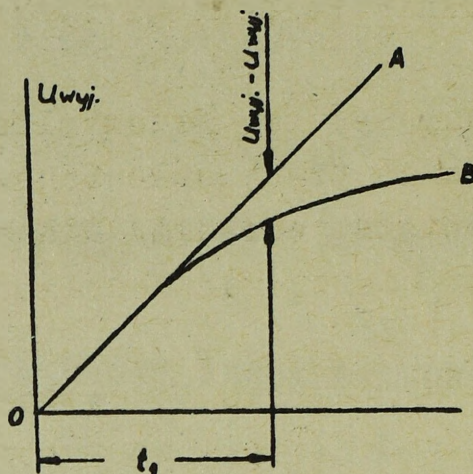
Wielkość błędu znajdujemy w ten sposób, że obliczamy różnicę napięć między U_{wyj1} a U_{wyj}

$$U = U_{wyj1} - U_{wyj} = \frac{U}{RC} t - U / 1 - e^{-\frac{t}{RC}} /$$

Dla jasnego przedstawienia błędu powstałego w obwodzie całkującym na rys. 24 otrzymany przebiegi U_{wyj1} oraz U_{wyj} jako funkcji czasu.



Rys. 23. Układ obwodu całkującego.



Rys. 24. Błąd przy całkowaniu.

Na rysunku tym napięcie wyjściowe z idealnie całkującego obwodu przedstawione jest jako prosta OA , natomiast z obwodu rzeczywistego jako krzywa OB . Należy zauważyć, że prosta OA jest styczną do krzywej OB w punkcie $t = 0$

Zwiększając stałą czasu RC możemy układ zrobić bardziej dokładnym dla określonego przedziału czasu.

Jednak zwiększone RC zmniejsza wartość napięcia wyjściowego.

W celu polepszenia pracy tj. zmniejszenia błędów układów różniczkujących i całkujących stosuje się układy lampowe, które zmniejszają lub zwiększają stałą czasu bez zmniejszenia napięcia wyjściowego.

Z a k o ń c z e n i e

Przy konstruowaniu układów liczących konstruktor ma swobodę w wyborze tego czy innego rozwiązania.

Układy liczące nie są zbyt skomplikowane w swojej zasadzie pracy, jednak ze względu na wymaganą dokładność znacznie komplikują się.

W niektórych wypadkach rozwiązanie zadania upraszcza się.

Przykładowo weźmiemy cosinus pewnego kąta. Dla małych kątów można napisać że:

$$\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$$

Jeżeli błędy wynikłe z przybliżonego przedstawienia pewnych funkcji nie przekraczają dopuszczalnych, to stosujemy je tam, gdzie to pociąga za sobą uproszczenie układów liczących.

Układy winny być tak przemyślane i konstruowane, by wyeliminować podczas pracy człowieka.

Praca człowieka /obsługi/ winna sprowadzać się do uruchomienia oraz niezbędnej regulacji danego urządzenia.

W powyższych punktach poruszone zasady pracy urządzeń rozwiązujących zadania matematyczne i dlatego należy na zakończenie powiedzieć, że jak wszędzie zasady nie rozwiązują problemu do końca, a jedynie wskazują możliwości, a reszta to już rozwiązania konstrukcyjne, gdzie trzeba rozwiązać cały szereg zagadnień. Do takich zagadnień należy zaliczyć sprawę stabilności układu, dokładności, prostoty w budowie i obsłudze oraz zagadnienia z automatyki.

Omówione zasady pracy nie wyczerpują całokształtu zagadnienia "maszyn liczących", a jedynie wiążą się z zasadą pracy przyrządów centralnych służących do kierowania ogniem artylerii.

Powyższy skrypt opracowałem na podstawie następujących materiałów:

1. prof. Czesław RAJSKI - "Wiadomości wstępne o elektronicznych maszynach cyfrowych".
2. A. KITOW - "Elektroniczne maszyny cyfrowe".
tłumaczył: - mgr in. M. STOLARSKI
3. Prof. MOSTOWSKI - "Logika Matematyczna".
4. mjr inż. Jerzy PUREK - "Urządzenia przeliczające".

/ z brudnopisu za zgodą autora/

Wykonano w 30 egz.

Druk GB dn. 15.03.61r.

Nr. ks. 108/WW.-

