

1 9 6 4
Nr 12 (39)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

ROK 4

WARSZAWA 1964

NR 12(39)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

inż. Edmund Janowski, prof. Stefan Jasiński,
mgr Kazimierz Kotowski, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH REKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

**Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 680. Druk ukończono
w czerwcu 1965 r.**

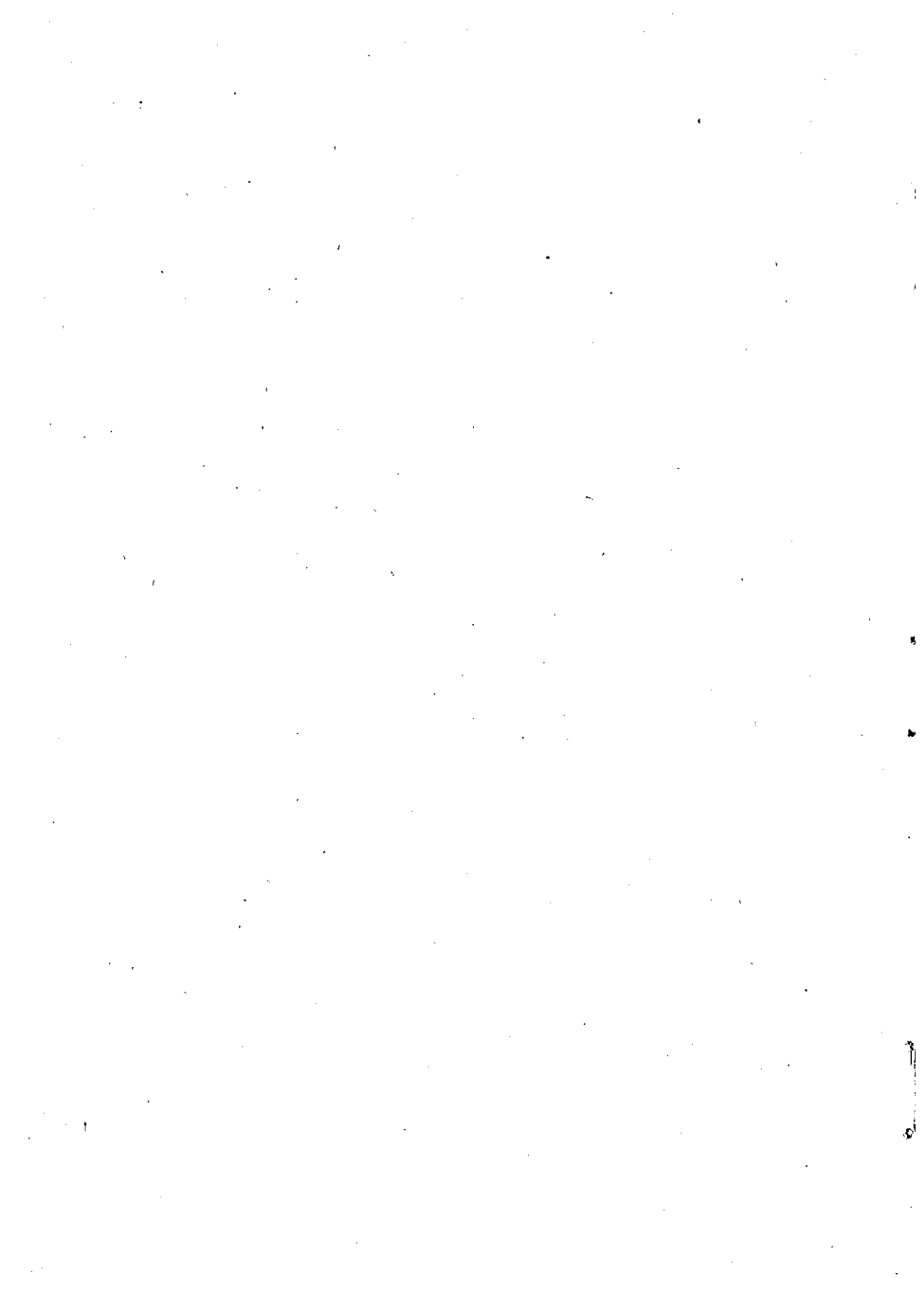
PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

Elektroniczne maszyny liczące

Część I

SPIS TREŚCI

	Str.
1. J. Puzman: Zasady działania maszyn liczących programowanych - Opracowała J. Przybysz	1
2. G.G. Owsiannikow, D. Lidin: Elektroniczne maszyny matematyczne - Opracował R. Grohman	35



ZASADY DZIAŁANIA MASZYN LICZĄCYCH PROGRAMOWANYCH¹⁾

J. Pužman: Základy funkce samočinných počítačů.
Československe Spoje, nr 9 - 1962 r., str. 4-10.

WSTĘP

W obecnej dobie coraz więcej mówi się o maszynach zdolnych zastąpić umysłową pracę człowieka, krótko mówiąc o maszynach matematycznych. Żadna inna dziedzina nie rozwijała się tak szybko. Z dialektycznego punktu widzenia jest to zrozumiałe, jeżeli uświadomimy sobie, że maszyny matematyczne są jedną z podstaw drugiej rewolucji przemysłowej (mechanizacja i automatyzacja tak pracy fizycznej, jak i umysłowej). A więc jest całkiem słuszną, aby podstawowa znajomość ich zasad stała się częścią wykształcenia ogólnego wszystkich pracowników (nie tylko techników), bowiem wcześniej czy później każdy się z nimi spotka w produkcji, czy w ośrodkach obliczeniowych.

Każde urządzenie, które modeluje fizykalnie zadanie matematyczne albo algorytm nazywa się maszyną matematyczną lub maszyną do przetwarzania informacji. Można je podzielić wg zasady fizykalnej na analogowe i cyfrowe. Maszyny analogowe są to maszyny, które opracowują informację wyrażoną kodem analogicznym - kodem ciągłym, (parametr fi-

¹⁾ Na podstawie oryginału opracowała J. Przybysz.

zykalny uzyskuje wartości ciągłe) i do nich należą: przyrządy analogowe (suwak logarytmiczny, planimetr), modele fizykalne (symulatory) i maszyny liczące analogowe (analizatory różniczkowe, maszyny do rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych itp.).

Naszym zadaniem jest jednak zajmowanie się maszynami cyfrowymi, które przetwarzają informacje w kodzie cyfrowym. Można je podzielić na maszyny biurowe (maszyny do dodawania, maszyny 4-działaniowe), maszyny o kartkach dziurkowanych (statystyczne) i maszyny liczące programowane (zwykle zwane elektronicznymi). Ostatnie z nich, maszyny liczące programowane, mają największe znaczenie, bowiem są zdolne pracować automatycznie (bez udziału człowieka) wg podanego programu. W odróżnieniu od maszyn analogowych, które są stosunkowo proste i szybkie, maszyny programowane są dokładniejsze i bardziej uniwersalne, tak że się ich coraz więcej używa również do zadań o charakterze analogowym (sterowanie, automatyzacja). W trakcie rozwoju przeszło się od jednozadaniowych maszyn do uniwersalnych, ale w ostatnich czasach konstruuje się obydwie typy. Według sposobu wprowadzania informacji różniamy maszyny liczące programowane, które zamieniają wielkości analogowe na cyfrowe i następnie je przetwarzają, oraz maszyny przyjmujące informację cyfrową (do pracy czysto obliczeniowej). Maszyny cyfrowe można także grupować z punktu widzenia poszczególnych operacji: równoległe (wszystkie rzędy jednocześnie), szeregowo (rzęd po rzędzie) lub kombinowane (szeregowo-równoległe). Z ekonomicznego punktu widzenia (w zależności od szybko-

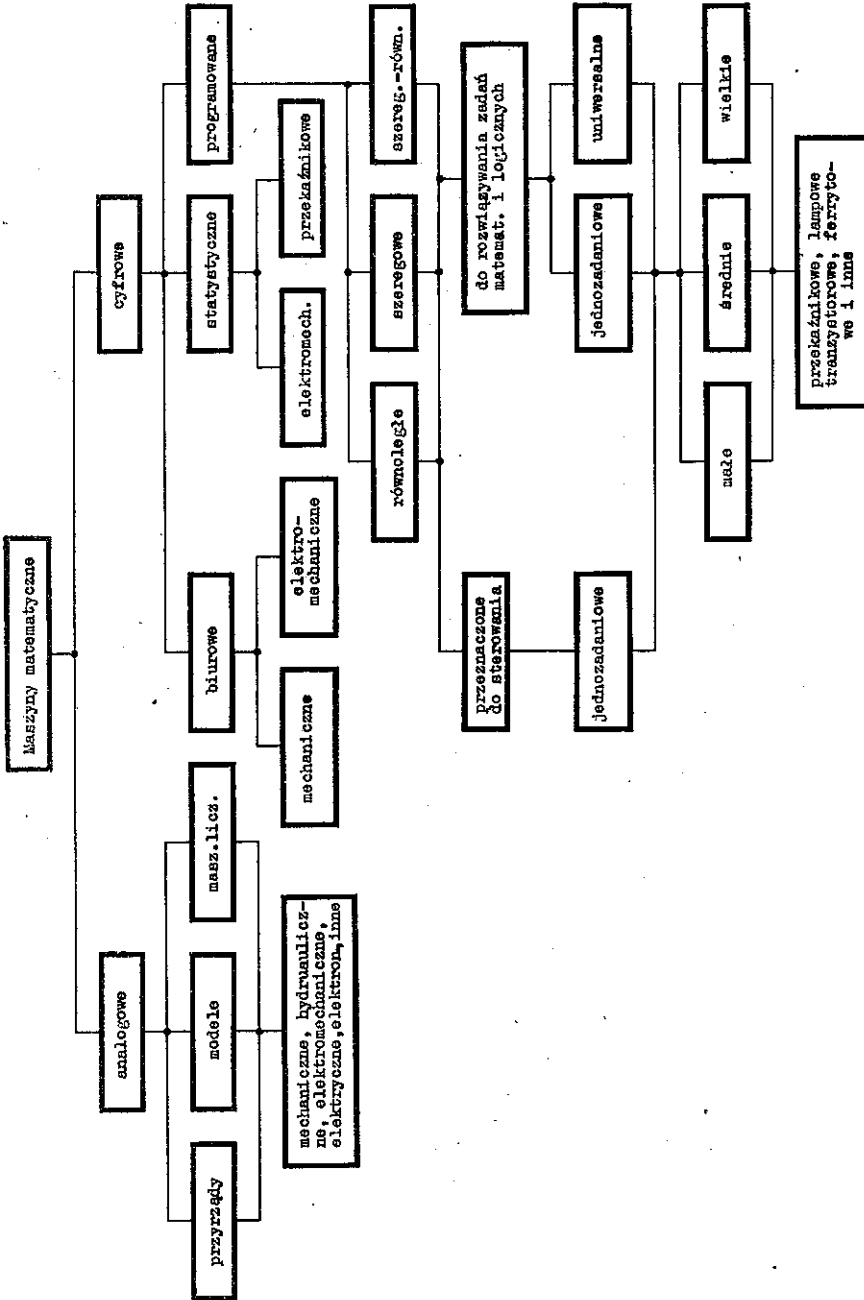
ści i ceny) mówimy o maszynach małych i dużych. W znacznej mierze także zależy, na jakiej zasadzie są zbudowane. Poglądowy podział maszyn matematycznych podany jest na tabl. 1.

RYŚ HISTORYCZNY

Jeżeli pominiemy pierwsze dążenia do uproszczenia podstawowych operacji rachunkowych za pomocą liczydeł (zasada techniki cyfrowej) i suwaka logarytmicznego (zasada techniki analogowej), wówczas za pierwszą maszynę liczącą można uważać maszynę do liczenia francuskiego matematyka B. Pascala (opatentowaną w 1649 roku). Zasada działania była podobna do dzisiejszych maszyn 4-działaniowych (używano walcowych kół zębatach), a maszyna była zdolna do wykonania dwóch operacji arytmetycznych: dodawania i odejmowania. Na podstawie maszyny do liczenia Pascala, W. Leibnitz zbudował w 1694 roku maszynę mogącą również mnożyć i dzielić, która wszakże nie rozposzczęchniła się ze względu na niedostateczną jakość elementów. Jakkolwiek zdawałoby się, że został położony kamień węgielny rozwoju maszyn matematycznych, minęło jednak więcej niż 100 lat, zanim Charles Babbage stworzył swoją "Maszynę różniczkową" o pojemności 8 miejsc dziesiętnych. Maszyna nie była ukończona, ale idee Babbage'a przejął Szwed Scheutz, który zbudował dobrze pracującą maszynę liczącą o pojemności 14 miejsc dziesiętnych.

Babbage jednak nie dał się pozostawić w tyle i zbudował "Maszynę analityczną", nad którą pracował także

Tablica 1



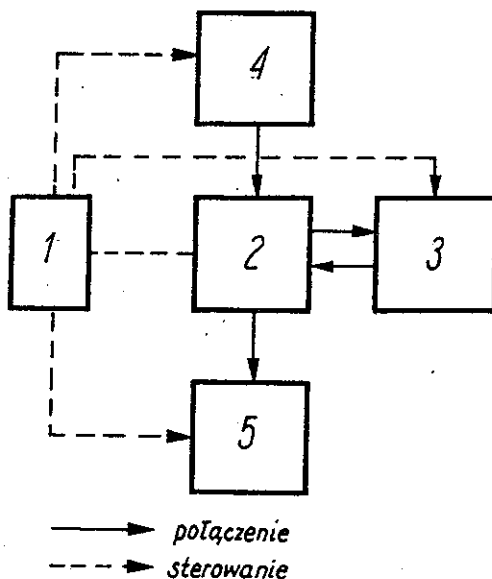
jego syn. Co do zasady była ona podobna do dzisiejszych maszyn programowanych, gdyż zawierała oprócz innych zespołu operacyjny, pamięć i układ sterujący. Babbage'owi zawdzięczamy również pomysł dziurkowanych kartek do wprowadzania informacji do maszyny, który dalej rozwinął H. Hollerith, jak również opracował maszynę dla dziesiątego spisu ludności w Stanach Zjednoczonych. Następnie (w 1911 roku) produkcję tych maszyn przejęło nowe towarzystwo IBM.

W rozwoju maszyn liczących programowanych rozpoczyna się nowy etap, który trwa do samej drugiej wojny światowej, gdy H. Aiken rozpoczął prace nad przekąźnikową koncepcją maszyny, w skrócie zwaną ASCC lub Mark I. W tym samym czasie została zbudowana maszyna matematyczna przekąźnikowa w laboratorium Bella i obie maszyny zostały wykończone w czasie wojny.

Pierwsza maszyna elektroniczna (tysiąc razy szybsza niż przekąźnikowa) zjawiała się dopiero w 1946 roku - autorami byli Eckert i Mauchley - jest znana pod nazwą ENIAC. Dalszy rozwój był już bardzo szybki. Produkcja prototypów ustąpiła miejsca produkcji seryjnej, szukano nowych dróg zwiększenia szybkości i pewności działania, a jednocześnie zakresów wykorzystania.

MASZYNY LICZĄCE PROGRAMOWANE

Aby czytelnik lepiej zrozumiał strukturę maszyny liczącej programowanej, porównamy jej działanie z organizacją ręcznego liczenia (rys. 1). Rachmistrz, który nie

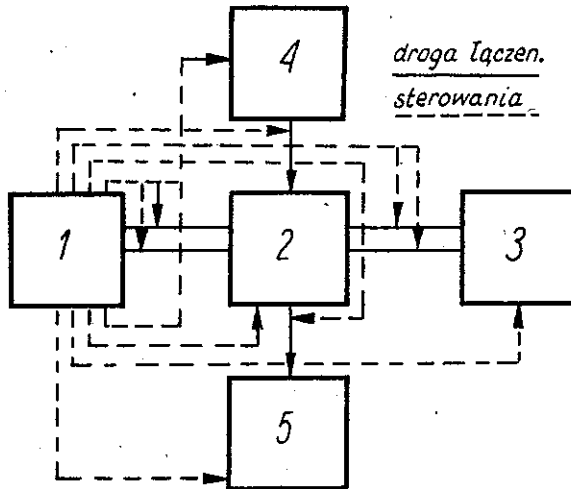


Rys. 1. Schemat organizacji rachunku ręcznego

1 - rachmistrz, 2 - formularz z wynikami częściowymi, 3 - maszyna do liczenia, 4 - wytyczne rozwiązywania i dane początkowe, 5 - formularz wyniku

musi rozumieć podstaw zadania, ma do dyspozycji maszynę do liczenia, formularze z wytycznymi rozwiązywania oraz formularze do zapisu wyników częściowych i końcowych. Wytyczne rozwiązywania (algorytm zadania dla maszyn liczących programowanych nazywa się programem lub siecią rozkazów) składają się z kolejnych rozkazów, które podają: skąd wziąć dane wyjściowe, dla jakiej operacji, gdzie umieścić wynik i według którego rozkazu postępować dalej. A więc według dobrze ułożonego programu rachmistrz może całkiem mechanicznie rozwiązać nawet najbardziej złożone zadania.

Schemat blokowy maszyny liczącej programowanej (rys.2) nie różni się zbytnio od schematu organizacji rachunku ręcznego.



Rys. 2. Schemat blokowy maszyny

1 - układ sterujący, 2 - pamięć, 3 - zespół operacyjny, 4 - zespół wejściowy, 5 - zespół wyjściowy

Funkcje podstawowych zespołów są w istocie takie same, tylko nazwy ich są różne. Układ sterujący, zastępujący rachmistrza, steruje według programu działaniem maszyny; zespół operacyjny dokonuje podstawowych operacji arytmetycznych i logicznych; pamięć zachowuje program, wyniki częściowe i ostateczne; zespół wejściowy służy do przyjmowania danych i rozkazów, a zespół wyjściowy przekazuje wyniki z pamięci w zrozumiałej formie. Te zespoły są związane razem częściowo drogami połączeniowy-

mi do przekazywania informacji cyfrowej, częściowo drogami sterującymi (z układu sterującego), które sterują całymi zespołami i drogami połączeniowymi.

Zanim przejdziemy do działania maszyny, objaśnimy niektóre terminy, których będziemy w dalszym ciągu używać. Ciąg znaków (np. 0 i 1) danej długości, całkowicie utworzony w maszynie liczącej (liczba, rozkaz itp.) nazywa się słowem. Słowa układają się w pamięci na numerowanych miejscach, zwanych adresami. Rozkaz zawiera znak operacji (liczba, w której jest zakodowana żądana operacja) i adresy. Według ilości adresów w jednym rozkazy dzieli się rozkazy a także maszyny liczące na jedno- do pięcioadresowych. Do ich rozróżnienia najlepiej posłuży przykład: dodawanie dwóch liczb. W maszynie jednoadresowej potrzeba trzech rozkazów (przekazanie jednego numeru z pamięci do zespołu operacyjnego, doliczenie drugiego numeru i umieszczenie wyniku na zapisanym adresie), przy czym rozkazy muszą być ułożone w pamięci kolejno (następny rozkaz jest na adresie o jednostkę wyższym). Maszyna bowiem musi być czasami zdolna do automatycznego wybrania następnego rozkazu według określonych warunków (np. nieujemnego i ujemnego wyniku). Do tego służy rozkaz skoku warunkowego, kiedy to według osiągniętego wyniku (ujemnego) nastąpi przeskok w programie na inny rozkaz (jego adres nie będzie o jednostkę wyższy niż poprzedni). Wady jednoadresowych, dwu i trzyadresowych rozkazów niepełnych są oczywiste: duża ilość rozkazów dla każdej operacji, konieczność rozkazu skoku warunkowego i kolejne umieszczanie rozkazów.

Te braki usuwa się przez zastosowanie cztero i pięcioadresowych rozkazów, które się także nazywa pełnymi (z jednym rozkazem możliwe są dowolne operacje). Np. pięcioadresowy rozkaz zawiera oprócz znaku operacji pięć adresów, z których dwa są adresami numerów wyjściowych, trzeci jest adresem wyniku, a dalsze dwa adresami następujących rozkazów, według podanych warunków. Niewygoda tych maszyn jest ich złożoność i duże koszty. Praktycznie najczęściej używa się maszyn liczących jednoadresowych (Ural, EDSAC, IBM-701), trzyadresowych (BESM, Strieła), dwuadresowych (ENIAC, Mark I), rzadziej czteroadresowych (EDVAC) i pięcioadresowych (SAPO).

Według treści rozkazy można podzielić na następujące typy: rozkazy określonej operacji w zespole operacyjnym, przekazania liczb z zespołu operacyjnego do pamięci, zmiany programu, skoku warunkowego i sterowania wejściem i wyjściem.

Opiszemy teraz działanie maszyny. Dla danego zadania wybiera się odpowiedni algorytm i wpisuje się szczególnie do szeregu rozkazów. Te razem z danymi liczbowymi, stałymi itp. wprowadza się przez zespół wyjściowy do pamięci i maszyna zaczyna działać. Zespół sterujący przyjmuje pierwszy rozkaz, zespół operacyjny ustawia na zadanie rachunkowe, pamięć umieszczona w zespole operacyjnym liczby z adresów podanych w rozkazie i następuje sama operacja. Wynik przekazany zostaje do pamięci, skąd zespół sterujący przyjmuje następny rozkaz itp. Jeżeli wszystkie instrukcje zostaną wyczerpane lub osiągnie

się skok warunkowy na zatrzymanie, wynik z pamięci zostanie przekazany do zespołu wyjściowego, gdzie zostaje np. wydrukowany.

Opisywanie bardziej szczegółowe działania maszyny matematycznej jest bardzo trudne, albowiem zależy to od typu i schematu połączeń, które się od siebie znacznie różnią. W dalszym ciągu artykułu poszczególne części maszyny będą rozważone szczegółowo, tak że czytelnik będzie miał ogólne wyobrażenie o tym, jakimi drogami przechodzi informacja i jak się ją przetwarza. Jednak dopiero przestudiowanie dokumentacji konkretnych maszyn liczących pozwoli zaznajomić się bardziej szczegółowo z ich działaniem.

Na koniec jeszcze wzmianka o pewności i szybkości działania, które określają użyteczność maszyny. Jedną z najważniejszych cech maszyny liczącej jest pewność działania. Nawet najszybsza maszyna licząca byłaby bezwartościowa, gdyby dawała błędne wyniki, zwłaszcza jeżeli chodzi o sterowanie lub zadania, od których zależy życie ludzkie (obliczanie dróg statków kosmicznych itp.). Ze względu na to, że proces obliczania jest złożony i że informacja jest przetwarzana w różnych częściach maszyny, prawdopodobieństwo pojawiania się błędów jest bardzo duże. Od wyboru algorytmu przez programowanie, wprowadzenie informacji do maszyny, właściwe przetwarzanie aż do wyjścia, to wszystko może być źródłem błędów. Dlatego oprócz wprowadzenia kodów detekcyjnych i korygujących oraz zwielokrotnienia niektórych części (w większości zespołów operacyjnych) kontroluje się obliczanie kilkoma sposobami:

- albo można zestawić dwa różne programy i obydwie oddzielnie rozwiązać lub zestawić przeciwny program, aby można było z wyników osiągnąć pierwotne dane;

- albo rozwiązuje się zadanie na dwu oddzielnych maszynach.

Jeszcze lepszym sposobem jest inna kontrola działania maszyny: zestawia się kilka zadań o znanych wynikach i wprowadza się do rozwiązywanego programu; w trakcie obliczania sprawdza się wyniki, a operacja postępuje dalej tylko w tym przypadku, gdy wyniki ze sprawdzenia są dobre. Podobnie postępuje się przy zapobieganiu uszkodzeniom: np. raz na tydzień sprawdza się maszynę za pomocą typowych zadań o znanym rozwiązaniu.

Co się tyczy szybkości, porównanie jest trudne, gdyż na szybkość można patrzeć z kilku punktów widzenia. Może to być szybkość podstawowej operacji w zespole operacyjnym, czas trwania jednego cyklu operacji razem z wyzwoleniem danych z pamięci i umieszczeniem wyników lub czas trwania jednego rozkazu. Każda z nich jest zależna od typu operacji, ilości miejsc liczb względnie od czasu wyzwolenia pamięci. Dla porównania maszyn liczących trzeba więc wiedzieć, z jakiego punktu widzenia podana jest szybkość. Praktycznie mówimy o maszynach powolnych, jeżeli szybkość wynosi kilkaset operacji na sekundę, o szybkich, jeżeli szybkość wynosi kilka tysięcy operacji na sekundę i bardzo szybkich przy szybkościach rzędu kilkudziesiąt tysięcy operacji na sekundę.

WYRAŻENIE LICZB I KODOWANIE

Liczby wprowadzane do maszyn liczących zwykle składają się z trzech części: znaku (plus lub minus), części całkowitej (w lewo od przecinka) i ułamka dziesiętnego (w prawo od przecinka). Każdą z tych części trzeba przełożyć na "język" maszyny, czyli zakodować. Ponieważ znak można oddzielić i wygodnie zakodować kodem dwójkowym, zwracamy baczniejszą uwagę na wyrażenie bezwzględnej wartości liczby. W zasadzie można użyć dwóch postaci: o przecinku stałym i ruchomym. Dla uproszczenia założymy pojemność pamięci 6 miejsc dziesiętnych, a mianowicie 3 przed przecinkiem i 3 po przecinku (przecinek dziesiętny między trzecią a czwartą cyfrą). Jeżeli przyporządkujemy każdemu miejscu stały element pamięciowy i stałą drogę przenoszenia, wówczas maszyna pracuje w układzie z przecinkiem stałym. Liczba 342,785 całkowicie wypełni pojemność, ale liczba 0,342785 będzie miała postać 000,342, a liczbę 0,000 342 785 przedstawi się jako zero dla maszyny. A więc względny błąd przy wyrażaniu małych liczb jest znacznie większy niż przy wyrażaniu liczb dużych. Podobny przypadek nastąpi przy zwiększaniu ilości miejsc części całkowitej, co na ogół nie nastąpi przy podawaniu zadania, lecz w czasie obliczania (dodawania lub mnożenia). Obydwa te zjawiska nazywamy przepełnieniem pojemności pamięci. Aby ograniczyć to przepełnienie, należy przygotować zadanie przez pomnożenie wartości przez odpowiednie współczynniki proporcjonalno-

T a b l i c a 2

Grupy w kodzie dwójkowym	Rodzaje kodów							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0000	0	0	0	0	0	-	-	0
0001	1	1	1	1	-	-	0	1
0010	2	2	2	2	-	-	1	3
0011	3	3	3	3	-	0	2	2
0100	4	4	4	4	4	1	3	7
0101	5	-	5	-	3	2	4	6
0110	6	-	6	-	2	3	5	4
0111	7	-	-	-	1	4	-	5
1000	8	-	7	5	8	5	6	-
1001	9	-	8	6	7	6	7	-
1010	-	-	9	7	6	7	8	-
1011	-	5	-	8	5	8	-	-
1100	-	6	-	9	-	9	9	8
1101	-	7	-	-	-	-	-	9
1110	-	8	-	-	-	-	-	-
1111	-	9	-	-	9	-	-	-

ści skali, co może być uciążliwe, albowiem trzeba się liczyć także z dalszymi działaniami arytmetycznymi w maszynie. W większości maszyn przecinek stały jest umieszczony przed pierwszą cyfrą znaczącą, tak że liczby przyjmują postać ułamków właściwych i nie nastąpi przepełnienie przy mnożeniu.

Wszelkie wyżej przytoczone niewygody można usunąć przez układ z przecinkiem ruchomym. Każda liczba jest przedstawiona przez dwie grupy cyfr: mantysę (m) i cechę (q), a więc $N = m \cdot 10^q$, przy czym: $|m| < 1$ oraz q jest liczbą całkowitą (tzw. postać półlogarytmiczna). Wzór jest słuszny dla wszystkich liczb z tym, że " m " i " q " są we właściwym układzie (10 pozostaje bez zmiany). Jeżeli jest słuszne $\frac{1}{10} \leq m < 1$, wówczas liczba N nazywa się znormalizowaną. Powyższe przykłady można przedstawić w postaci znormalizowanej: $0,342785 \cdot 10^3$, $0,342785 \cdot 10^0$; $0,342785 \cdot 10^{-3}$, wówczas liczby są podane z jednakową dokładnością. Brakiem tego układu są z jednej strony bardziej złożone schematy połączeń maszyn i większa ilość elementów, z drugiej strony konieczność wyrównania rzędów przed sumowaniem i odczytem. W praktyce mniejsze maszyny liczące programowane pracują z przecinkiem stałym, a większe z przecinkiem ruchomym; czasami są zbudowane tak, że można użyć obydwóch systemów.

Czytelnikom jest z pewnością wiadome, że dziesiętny system liczbowy nie jest dla maszyn najkorzystniejszy. Najczęściej używany jest system dwójkowy, gdyż rozróżnienie dwóch stanów można zrealizować bardzo łatwo: zam-

knięcie lub otwarcie zestyków przekaźnika, przewodzenie lub nieprzewodzenie lampy elektronowej, biegunowość rdzenia magnetycznego itp. Niekiedy stosuje się układy ósemkowe i szesnastkowe (w programowaniu zapisu liczb rozkazów, operacji kodów, adresów itp.). Systemy te są przydatne dlatego, że można je łatwo przekształcić na dwójkowe tak, że poszczególne cyfry przekształcą się na trzy- (czteromiejscowe) lub pięciomiejscowe (wzgl. czteromiejscowe) grupy dwójkowe.

Czysty system dwójkowy ma dwie wady: konieczność przekształcania z systemu dziesiętnego i odwrotnie oraz nieprzejrzystość liczby wielomiejscowej (w stosunku do systemu dziesiętnego około 3,3 krotnie więcej miejsc), co spowodowało powstanie kodowego systemu dwudziętnego. Podstawą jest liczba 10, ale każda cyfra (0 do 9) jest wyrażona kodem dwójkowym (tj. ciągiem 0 lub 1). Dla dziesięciu cyfr dekady określa się ilość rzędów dwójkowych p ze stosunku $2^p \leq 10$ (nierówność dlatego, że p musi być najbliższa wyższej liczbie całkowitej), a to można spełnić przy $p = 4$. Przykładem niech będzie liczba 195, która wyrażona kodem dwójkowym ma postać 110000111, a kodem dwudziętnym 0001 1001 0101. Na pierwszy rzut oka widać że ilość cyfr w drugim przypadku jest wyższa niż w czystym kodzie dwójkowym.

Można wykazać, że różnica wynosi w przybliżeniu 20%, co jednak przy pozostałych korzyściach nie ma znaczenia.

Ponieważ $2^4 = 16$, więc przy wyrażeniu 10 cyfr dekady zbywa 6 kombinacji (oczywiście niezależnie od tego, które 10 kombinacji wykorzystamy). Ilość wszystkich możliwych kodów jest wariacją 10 elementów z 16, tj. $\frac{16!}{6!} =$

$= 2,9 \cdot 10^{10}$. Zrozumiałe, że wszystkich kodów nie używa się, lecz wybiera się te, które mają odpowiednie własności.

W tabelicy 2 podano osiem kodów, które są najczęściej stosowane w maszynach liczących. Kod nr 1 jest prostym kodem dwójkowym dla 10 stanów. Należy do wagowych (poszczególne cyfry można przyporządkować wagi od prawej strony do lewej w następujący sposób: $2^0 = 1$, $2^1 = 2$, $2^2 = 4$, $2^3 = 8$, tak że suma iloczynów wag i cyfr da wymagane liczby: $0110 = 8 \cdot 0 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 0 = 6$). Ogólnie wagi nie muszą być potęgami dwóch, zresztą nie muszą być dodatnie, ale są tak wybranymi kombinacjami, aby można było przy ich pomocy wyrazić wszystkie cyfry od 0 do 9. Istnieje tylko 17 kodów z dodatnimi wagami (kody nr 2, 3 i 4). Poza tym kod dwójkowy ma tę własność, że większej cyfrze w układzie dziesiętnym odpowiada także cyfra w układzie dwójkowym (co spełniają kody nr 2, 3, 4, 6 i 7) oraz parzystym cyfry układu dziesiętnego odpowiadają kombinacje parzyste i nieparzyste - nieparzyste lub odwrotnie (kody 2, 5 i 6).

Kod nr 2, zwany komplementarnym, ma poza tym tę własność, że uzupełnienie do 9 (komplement dziewiątkowy) uzyskuje się przez prostą zamianę zer i jedynek całej kombinacji (inwersja). Takich kodów można zbudować około $2 \cdot 2 \cdot 10^5$, a w tabelicy są to kody nr 5 i 6 (oprócz nr 2). Trzeci kod (z wagami 7, 4, 2, 1) zawiera w grupach nie więcej niż dwie jedynki, tak że dla wyrażenia cyfry w układzie dziesiętnym tworzy najmniejszą ilość jedynek, co jest korzystne dla obniżenia mocy doprowadzonej urzą-

dzenia mechanicznego. Podobnie kod nr 7, którego kombinacje zawierają jedną lub dwie jedyneki zmniejsza waha- nie ilości jedynek przy zmianie liczby. Kod z wagami 5, 4, 2, 1 (zwany bikwinarny, nr 4) jest podzielony na dwie grupy tak, że cyfry od 0 do 4 i od 5 do 9 różnią się tylko w najwyższej kolumnie. Kod piąty (Rubinoffa) utworzony jest z wag ujemnych (8, 4, -2, -1) i należy do kodów komplementarnych, a przez inwersję ostatnich dwóch cyfr (z wagami -2, -1) tworzy dalszy kod komplementarny. Utworzony jest on z kodu dwójkowego przez doliczanie 3 (jest więc w pewnym sensie wagowy ze stałą poprawką) i jest poza tym interesujący z tego powodu, że żadna kombinacja nie jest złożona z samych zer czy jedynek; jest więc częściowo detekcyjny (podobnie jak kody nr 3 i 7). Wreszcie kod Gray'a jest szczególnie ważny ze względu na przechodzenie wielkości analogowej w cyfrową, albowiem przy przejściu od niższej cyfry dekady do wyższej i odwrotnie kombinacja dwójkowa zmieni się tylko w jednej kolumnie. Nazywa się także kodem symetrycznym "ze zmianą w jednej kolumnie" lub cyklicznym (zmiana w 1 kolumnie następuje również przy przejściu z 9 na 0).

Omówione systemy nie wyczerpują problematyki kodowania. Można również dla wyrażenia 10 stanów stworzyć kody, które mają więcej kolumn niż 4. W ten sposób kody te będą miały nadmiar kombinacji, co wykorzysta się np. przy detekcji lub usuwaniu błędów. Tak z kodu nr 7 można przez danie parytetu (jedyneki lub zera tak, aby suma jedynek była dodatnia) stworzyć kod "dwa z pięciu" (tablica 3, lewa strona), który jest zdolny wykrywać jeden

T a b l i c a 3

	Kod "dwa z pięciu"	Kod Powersa
0	00011	00000
1	10001	00001
2	11000	10001
3	01100	00010
4	00110	10010
5	10010	00100
6	01001	10100
7	10100	01000
8	01010	11000
9	00101	10000

błąd (każda kombinacja zawiera 2 jedynki i przy przejściu od jednej do drugiej trzeba zmienić 2 cyfry). Ten kod jest właśnie stosowany przy 10 grupach, gdyż ilość kombinacji 2 elementów z 5 jest 10, oraz jest oczywiście niewagowy.

Na koniec podamy jeszcze kod Powersa, w jakim się dziurkuje kartki. Nie ma on żadnej z wyżej podanych własności, ale ze względu na rozpowszechnienie maszyny o

kartkach dziurkowanych na całym świecie nie można go zastąpić kodem ekonomiczniejszym. Można mu przypisać od prawej strony do lewej następujące wagi: 1, 3, 5, 7, 9 z tym, że cyfra parzysta wyrazi się najbliższą niższą nieparzystą razem z 9 (tabl. 3, strona prawa).

ZESPÓŁ OPERACYJNY

Jak już wspomniano, zespół operacyjny zastępuje urządzenia liczące, zdolne do szybkich operacji arytmetycznych (dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie i inne) oraz operacji logicznych (iloczyn logiczny, porównanie liczb itp.).

Każdy zespół operacyjny jest przeznaczony do operacji podstawowej, z której pozostałe się wywodzą. Najczęściej bywa to dodawanie lub mnożenie, ale także dzielenie lub działania bardziej złożone ($x y + z$) czy też kilka operacji. Krótko rozważmy podstawowe działania arytmetyczne. Dla ułatwienia przyjmijmy liczby w układzie dziesiętnym (który jest najwygodniejszy), a właściwe przejście do innego kodu (np. dwudziętnego) każdy może sobie wykonać sam. Zwykle dodawanie wygląda następująco:

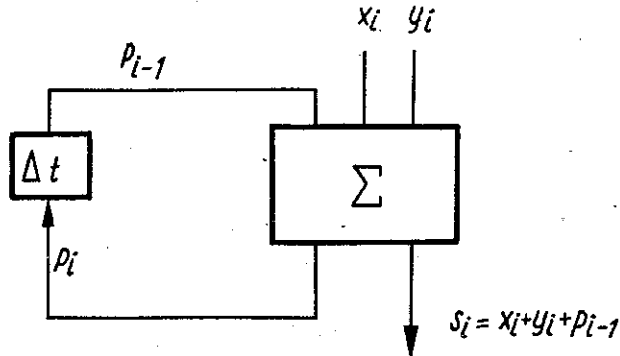
$$\begin{array}{r} 11 \\ + 438 \\ + \underline{675} \\ \hline 1111 \end{array}$$

gdzie górne dwie jedynki są napisane dla pamięci i tworzą tzw. przeniesienie z niższych do wyższych kolumn

(w praktyce nie zapisujemy ich, ale staramy się pamiętać). Z zapisanymi przeniesieniami liczenie odbywa się całkiem prosto. Wystarczy zliczyć oddzielnie każdą kolumnę (razem z przeniesieniem) i jako wynik zapisywać tylko resztę z dzielenia przez 10 (dodawanie wg modułu 10). Np. w powyższym przykładzie otrzymamy: $3 + 8 = 11$, podzielone przez 10 daje 1 i resztę 1, co krótko zapisano: $3 + 8 = 11 \pmod{10}$. Przy wyrażaniu liczb w innym układzie (dwójkowym, trójkowym) wystarczy zaznaczyć, że się dodaje "mod. 2", "mod. 3" itd.

W praktyce można dodawać kolejno, kolumna po kolumnie (szeregowo) lub jednocześnie (równoległe). Pierwszy sposób jest wólniejszy, lecz prostszy, podczas gdy drugi wymaga bardziej złożonego i kosztownego schematu. Jako bloku dodającego (dodawanie w obrębie jednej kolumny) używa się prostego obwodu logicznego z przekaźnikami, diodami i tranzystorami, którego danymi wejściowymi są oba składniki dodawania i przeniesienie z niższej kolumny, a wyjściem jest suma i przeniesienie do wyższej kolumny.

Szeregowy układ dodający pokazany jest na rys. 3. Na wejście podaje się składniki x_i i y_i (i - tej kolumny liczb x i y) i przeniesienie z niższego rzędu p_{i-1} ; na wyjściu zjawi się suma s_i i przeniesienie p_i , które jest opóźnione o 1 czas cyklu w linii opóźniającej, tak że przychodzi na wejście układu sumującego jednocześnie z dalszymi kolumnami x_{i+1} oraz y_{i+1} . Znacznie bardziej skomplikowane są układy sumujące równoległe (rys. 4),



Rys. 3. Schemat blokowy szeregowego układu dodającego:
 Σ = obwód logiczny, Δt - linia opóźniająca, $x_i, y_i = i - t_e$ -
 - kolumny składników, $s_i = i$ - to kolumna sumy, p_{i-1} - prze-
 niesienie z niższej kolumny, p_i - przeniesienie do wyższej
 kolumny

albowiem muszą zawierać tyle bloków sumujących, ile ko-
 lumn mają poszczególne składniki. Poza tym bloki sumują-
 ce mogą być takie same, jak w układzie sumującym szere-
 gowym. To, co odpowiada dodawaniu 2 liczb, można rozsze-
 rzyć również na więcej składników w ten sposób, że układ
 sumujący zastępuje się magazynem (urządzenie zbiorcze
 większej ilości liczb kolejnych).

Sumowanie rozważaliśmy nieco dokładniej, wykażemy bo-
 wiem, że można pozostałe działania arytmetyczne wyrazić
 przez dodawanie. W ten sposób odejmowanie można zastą-
 pić przez uzupełnienie do dziewięciu (komplement) odjem-
 nika i dodaniu do odjemnej. Na skutek tego zjawi się w
 najwyższej kolumnie jedynka, która dopisana do najniż-
 szej kolumny sumy (przeniesienie okrężne) da poszukiwa-
 ną różnicę. Następujący przykład:

$$\begin{array}{r} 839 \\ - 357 \\ \hline 482 \end{array}$$

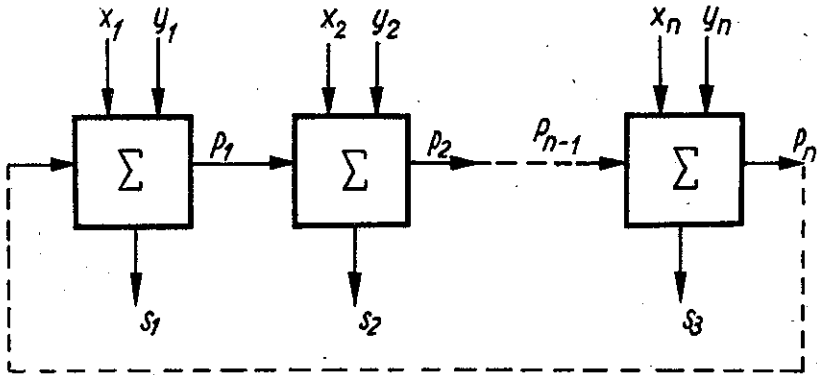
przedstawmy w opisany powyżej sposób: uzupełnienie do dziewięciu liczby 357 uzyskuje się przez odjęcie od 999, tj. $999 - 357 = 642$, a to dopisanie do odjemnej 839 razem z przeniesieniem okrężnym daje

$$\begin{array}{r} 839 \\ + 642 \\ \hline 1481 \\ + 1 \\ \hline 482 \end{array}$$

Wynikiem jest rzeczywiście pierwotna różnica. Całe odejmowanie zredukowało się do wytworzenia uzupełnienia do dziewiątki lub ogólnie uzupełnienia o jeden mniejszego niż wynosi zespół cyfr.

Uważny czytelnik jednak szybko spostrzeże, że odejmowanie jest właśnie ukryte w poszukiwaniu dopełnienia. Można jednak znaleźć odpowiedni kod (komplementarny), w którym uzupełnienie uzyskuje się łatwo przez inwersję. Schematy blokowe równoległe urządzenia sumującego umożliwiającego odejmowanie są takie same, jak na rys. 4, tylko wprowadzono sprzężenie zwrotne z przeniesienia p_n z prawej strony do bloku pierwszego.

Mnożenie można zastąpić przez dodawanie w ten prosty sposób, że działanie dzieli się według ilości kolumn mnożnika i dodaje się według poszczególnych kolumn moż-



Rys. 4. Schemat blokowy urządzenia sumującego równoległego: oznaczenia takie same, jak na rys. 3; linia przerywana oznacza przeniesienie okrężne przy odejmowaniu

nej. Na przykład $238 \times 751 = (1 \times 238 + 5 \times 2380 + 7 \times 23800)$ a poszczególne iloczyny są prostym sumowaniem:

$$\begin{array}{r}
 5 \times 2380 = 2380 \\
 2380 \\
 2380 \\
 2380 \\
 2380 \\
 \hline
 11900
 \end{array}$$

Ten sposób nie jest najkorzystniejszy. Z jednej strony trwa dość długo, z drugiej strony długość operacji nie jest stała, lecz zmienia się w zależności od ilości cyfr mnożnika. Wygodniej można postępować tak, że najpierw przemnoży się wszystkie wielokrotne mnożnej (tj. 1×238 do 9×238), a więc 10 operacji dodawania, wyniki przekazuje się do pamięci i w razie potrzeby pobiera się z niej lub jeszcze lepiej: redukuje się wielokrot-

ne do 1, 2, 2, 4-krotnych (do czego potrzeba tylko 3 operacji sumujących), a przez ich kombinacje osiąga się wszystkie wartości.

Podobnie dzielenie można zastąpić przez odejmowanie (dodawanie uzupełnienia) np. w ten sposób: dzielnik odejmuje się od dzielnej tak długo, aż wynikiem jest liczba ujemna (ilość odjęć zachowuje się w pamięci), dzielnik raz się dopisuje i wynikiem jest iloraz (ilość odejmowań do liczby ujemnej zmniejszona o jeden) i reszta, określona dopisaniem dzielnika do liczby ujemnej. Najlepiej cały problem objaśnimy na przykładzie: $155:74$, co zastąpione odejmowaniem wygląda następująco:

$$155 - 74 = 81 - 74 = 7 - 74 = -67 + 74 = 7$$

(1 x) (2 x) (3 x)

Iloraz wynosi $3 - 1 = 2$, a reszta 7.

Nie wyczerpuje to wszystkich czynności zespołu operacyjnego, musi on bowiem wykonywać jeszcze inne operacje logiczne i arytmetyczne. Ale dla wstępnego zrozumienia struktury maszyny programowanej wystarczą omówione przykłady.

UKŁAD STERUJĄCY

Razem z zespołem operacyjnym układ sterujący jest najważniejszą częścią, która określa szybkość i przydatność programowanej maszyny liczącej. Układ sterujący z jednej strony utrzymuje kolejność poszczególnych rozkazów według danego programu i steruje czynnościami wszy-

stkich części maszyny, z drugiej strony kontroluje maszynę i wyniki. Pracę układu sterującego można porównać z centralą telefoniczną, albowiem umożliwia połączenie poszczególnych miejsc, które biorą udział w operacji liczenia. Bardzo trudno przedstawić go w postaci schematu blokowego, gdyż jego części są rozrzucone po całej maszynie i w każdym typie maszyny znacznie się od siebie różnią.

W pierwszym przybliżeniu zespół sterujący zawiera pamięć rozkazów, układ sumujący i deszyfrator. Pamięć służy do zanotowania aktualnego rozkazu, układ sumujący przez dopisanie jedyńki określa adres, z której ma być wzięty następny rozkaz (przy rozkazach niepełnych), a deszyfrator przekształca informacje na sygnały elektryczne, którymi steruje się liczącą maszynę programowaną. Przebieg działania jest następujący: do pamięci rozkazów przekazuje się potrzebny rozkaz, a do zespołu sumującego adres wyniku (z pamięci maszyny). Pierwsza część (znak operacji) działa przez deszyfrator na zespół operacyjny, który się ustawi na odpowiednią operację. Następnie zespół sterujący za pomocą adresu działa na pamięć, aby liczby ułożone na adresach były przekazane zespołowi operacyjnemu. Gdy tylko zespół operacyjny zakończy obliczenie, powiadomi o tym odpowiednim sygnałem; wynik przemieści się do pamięci na określony adres i do tego zostanie w zespole sumującym dodana jedyńka, co określa adres następnego rozkazu. Jeżeli dojdzie do rozkazu skoku warunkowego, kasuje się zawartość układu sumującego i umieszcza się w nim nowy adres, do którego

się znowu dolicza jedynek. Konstrukcja zespołu sterującego nie jest trudna, raczej trudne jest jego zaprojektowanie.

PAMIĘĆ

Pamięć jest w swej istocie urządzeniem, które przyjmuje, przechowuje i następnie wydaje informacje. Używało się jej już dawniej (łańcuchy przekaźnikowe w telefonii, taśma perforowana w telegrafii itp.), ale jej szybki rozwój łączy się dopiero z maszynami matematycznymi. Chociaż słowo "pamięć" przypomina ludzką właściwość, nie można obu pojęć ze sobą mylić (lepiej byłoby mówić o urządzeniu przechowującym informacje). Mózg człowieka przy swojej małej objętości i nieznacznej stracie energii ma olbrzymią pojemność (rzędu 10^{20} bitów), czego nie da się porównać z urządzeniem w maszynie liczącej. Z drugiej strony można w szerszym znaczeniu mówić o drukowanym tekście lub o płycie gramofonowej, jako o pamięci. Tutaj się jednak będziemy zajmować tylko urządzeniami umieszczonymi w liczącej maszynie programowanej, przechowującymi informacje dyskretne.

Podstawowe cechy, według których można określić odpowiednie zastosowanie, są następujące: szybkość, pojemność, łatwość uzupełnienia, kasowanie i poprawianie, pewność pracy (zgodność między zapisanym i przeczytanym), łatwość odszukania miejsc pamięci, możliwość kontroli i niektóre inne (opłacalność, złożoność konstrukcji, cena i rozmiary). Szybkość jest określona zdolnością przyjmo-

wania i wydawania informacji w określonym czasie i charakteryzuje się czasem potrzebnym do wyszukania potrzebnego miejsca pamięci. Pojemność wyraża się ilością liczb z odpowiednią ilością miejsc (kolumn), które można w pamięci umieścić.

Dla porównania różnych typów pamięci wprowadzono pamięć średnią, która się wyraża w bitach na jednostkę objętości (bit/cm^3).

Pamięć idealna musiałaby spełniać wszystkie wymagania, w szczególności powinna by być szybka przy wielkiej pojemności, ale dotychczas nie udało się takiej zbudować. W liczącej maszynie programowanej osiąga się to w pewnej mierze przez zastosowanie kilku rodzajów pamięci współpracujących ze sobą. W zależności od poszczególnych własności, jeżeli nie uwzględnimy konstrukcji i zasad fizykalnych, można sklasyfikować pamięci według tabl. 4.

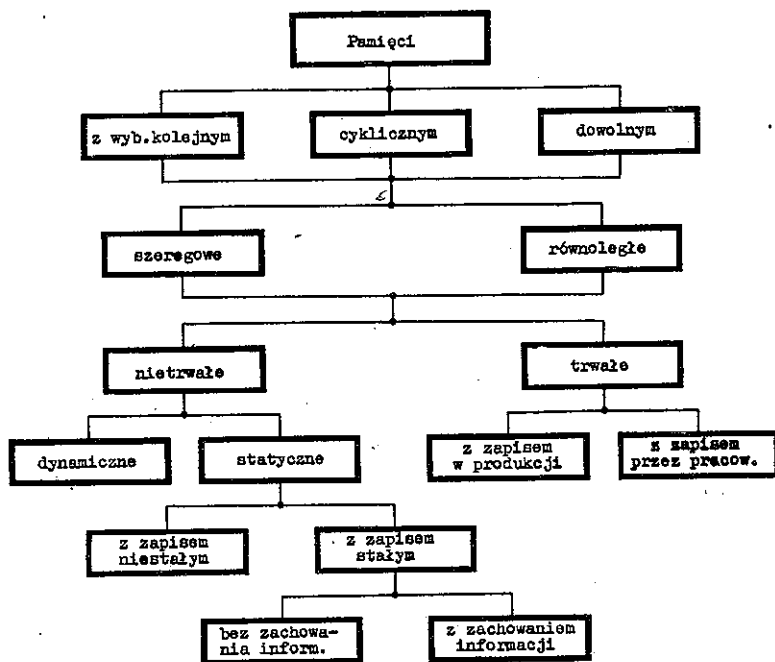
Z punktu widzenia dostępności do miejsc pamięci różniamy pamięci:

- z kolejnym (szeregowym) wyborem, gdy do wyszukania określonej informacji trzeba przebiegnąć prawie całą pojemność: są to taśmy magnetyczne i perforowane;

- z cyklicznym wyborem, gdzie informacje można wydobywać w określonych przedziałach czasowych: są to bębny magnetyczne, pamięć tarczowa i pętlicowa, linie opóźniające;

- z wyborem dowolnym, gdzie informacje można zapisywać i odczytywać kiedykolwiek: są to pamięci macierzowe i elektrostatyczne.

Tablica 4



Jak tylko zostanie znalezione potrzebne miejsce w pamięci, można wprowadzać i pobierać informację zakodowaną równoległe (wszystkie bity na raz) lub szeregowo (bit za bitem). Wszystkie pamięci w zależności od wielokrotności użycia jednej informacji można również podzielić na pamięci trwałe (pasywne) i nietrwałe. Tym pierwszym wystarczy jedyny zapis dokonany bądź w produkcji (macierz diodowa), bądź przez pracownika obsługującego maszynę (taśma lub kartka perforowana) z możliwością powtórnego odczytania, podczas gdy drugie umożliwiają wielokrotny zapis i odczyt ciągle nowej informacji z tego

miejsca (w praktyce są ograniczone tylko zużyciem). Te ostatnie można dalej podzielić na statyczne i dynamiczne. W pamięciach statycznych informacja zapisana jest zawsze dostępna (pamięć przekaźnikowa, elektrostatyczna i magnetyczna oraz macierz ferrytowa) a w pamięciach dynamicznych (linie opóźniające oraz niektóre statyczne, np. bęben magnetyczny) informacja nieustannie obiega (są one jednocześnie cýkliczne). Wszystkie pamięci statyczne mogą być stałe, tj. zachowują informacje nieograniczenie długo (przekaźniki, przerzutniki, ferryty) i niestałe, gdzie należy informację nieustannie odnawiać lub jest ona automatycznie tracona (pamięci kondensatorowe i elektrostatyczne z kineskopem). Pozostaje jeszcze na koniec klasyfikacja na pamięci z zachowaniem informacji również po wyłączeniu zasilania (magnetyczne i ferrytowe) i na pamięci, w których informacja po wyłączeniu zasilania zniknie (przerzutnik, kineskop). Według ostatnich podziałów do pamięci dynamicznych należą niestałe, bez zachowania informacji.

W maszynach programowanych w zależności od różnych własności stosuje się z grubsza biorąc pięć podstawowych pamięci:

1) pamięci dla zespołu wejściowego i wyjściowego, które łączą maszynę z otoczeniem (szczegółowiej o nich piszemy w następnym rozdziale);

2) pamięci do zapisu wartości stałych (programów, liczb i stałych). Używa się pamięci trwałych z zapisem dokonanym przy produkcji (na stałe); są to zwykle macierze diodowe lub kondensatorowe;

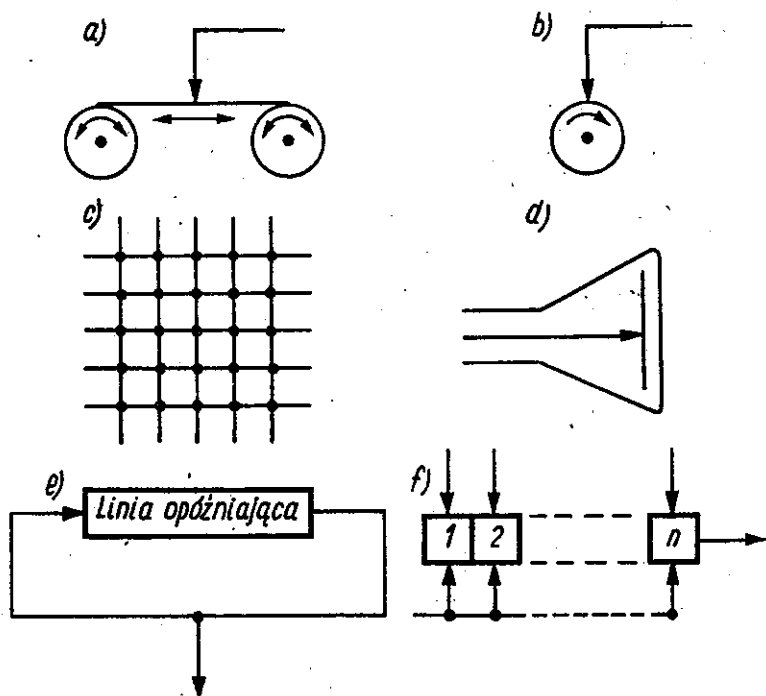
3) pamięci zewnętrzne (długotrwałe); które zawierają wielką ilość informacji rzędu setek tysięcy. Zapisuje się w nich wszystkie dane, których używa się kolejno w procesie rozwiązywania zadania (podprogramy, dane pomocnicze itp.). Ze względu na swą pojemność nie mogą być szybkie. Na ogół są to pamięci magnetyczne w postaci taśmy;

4) pamięć wewnętrzna lub operacyjna, bezpośrednio połączona z zespołem operacyjnym służy do zapisu dotychczasowych wyników obliczeń i musi dokonywać tego dostatecznie szybko (rzędu usek), gdyż od tego zależy szybkość całej maszyny. Jednak pojemność jej jest tylko rzędu setek liczb. Tym warunkom odpowiada najlepiej macierz ferrytowa i niekiedy, przy mniejszych szybkościach, bębny magnetyczne;

5) pamięci wyrównawcze, które tworzą pośredni człon między pamięcią zewnętrzną i wewnętrzną a swoją pojemnością (kilka tysięcy) i szybkością (msek) tworzą średni typ pamięci. Używa się do nich bębnow magnetycznych.

Rozwiązań konstrukcyjnych jest bardzo dużo i zajmować się nimi szczegółowo nie jest celem tego artykułu. Najczęściej stosowane rozwiązania są pokazane schematowo na rys. 5. W pamięciach taśmowych informacje zapisuje się na taśmie dziurkowanej, magnetycznej lub filmowej mechanicznie, magnetycznie lub optycznie, a pasek może się poruszać w obydwóch kierunkach. Konstrukcyjnie kłopotliwe są pamięci obrotowe (bębny i pierścienie z magnetycznym lub optycznym zapisem), obracające się stale

w jednym kierunku. Bardzo wygodne ale kosztowne ze względu na rodzaj i jakość elementów (diod, kondensatorów, rdzeni ferrytowych i magnetycznych) są pamięci macierzowe, w których element pamięciowy wyszukuje się przy użyciu poziomych i pionowych szyn zbiorczych. W pamięci z kineskopem lub selektronem użyto do zapisu i odczytu promienia elektronowego, co daje dużą szybkość. Linie opóźniające mogą być wykonane jako rtęciowe, piezoelektryczne, magnetostrykcyjne, elektromagnetyczne lub falowody zależnie od szybkości obiegającej informacji. Reje-



Rys. 5. Typy pamięci:

a/ - pamięć taśmowa, b/ - pamięć obrotowa, c/ - pamięć macierzowa, d/ - pamięć z kineskopem, e/ - linia opóźniająca, f/ - rejestr z przesuwaniem

strów z przesuwaniem zastępujących pamięć używa się rzadko i tylko do celów specjalnych (w zespole sterującym itp.).

ZESPÓŁ WEJŚCIOWY I WYJŚCIOWY

Obydwa można rozważać jednocześnie, ponieważ zasadą i konstrukcją zbyt się od siebie nie różnią i praktycznie mają to samo zadanie: połączyć maszynę z otoczeniem zewnętrznym. Zespół wejściowy przyjmuje informacje potrzebne do rozwiązania zadania i przedstawia je w takiej postaci, z którą maszyna może pracować. Analogicznie zespół wyjściowy: wyniki z "języka" maszyny przekształca do postaci zrozumiałej dla odbiorcy lub dalszego urządzenia. W przypadku zastosowania maszyny programowanej do sterowania to zadanie spełniają przetworniki analogowo-cyfrowe lub cyfrowo-analogowe. Urządzenia wejściowe i wyjściowe można dzielić albo według przystosowania maszyn - na bezpośrednie i pośrednie lub wg przekazywania informacji - na równoległe i szeregowo.

Bezpośrednie zespoły wejściowe są zdolne szybko przekształcić wprowadzane liczby na kod maszyny i po większej części nie przechowują trwale informacji. Należą do nich głównie przyciski lub klawiatury, elektryczne maszyny do pisania, dalekopis, czytniki itp.

Aby praca maszyny nie była wstrzymywana, urządzenia te musiałyby być bardzo szybkie, ale na razie najszybsze z nich urządzenia czytające, które osiągają 30 zn/sek nie wystarczają dzisiejszym maszynom. Dlatego używa się

głównie urządzeń pośrednich, które są w istocie pamięcią i które można pomalu nagrywać, ale nadawać ze zwiększoną szybkością. Są to taśmy i kartki perforowane z odczytem elektromechanicznym, elektrycznym lub optycznym, taśma filmowa, dalekopis z dziurkarką oraz drut, taśma lub bęben magnetyczny. Ostatnie trzy są najszybsze (kilkadziesiąt tysięcy znaków na sekundę).

Zespoły wyjściowe mają funkcję odwrotną i dlatego używa się tu podobnych urządzeń. Zespoły bezpośrednie są to głównie urządzenia optyczne, działające przy użyciu żarówek lub neonówek, urządzenia stosujące zdjęcia fotograficzne, elektryczne maszyny do pisania i dalekopis, wyświetlenie za pomocą kineskopu, szybka drukarka z drukiem szeregowym lub równoległym (mechaniczna, elektrostacyjna). Najszybsze z nich to urządzenia ze zdjęciem fotograficznym i równoległą szybka drukarka (do 1000 wierszy na sekundę). Pośrednie zespoły wyjściowe są korzystniejsze z punktu widzenia przystosowania szybkości maszyny, ale nie można użyć ich do szybkiej kontroli, gdyż wyniki można otrzymać po dłuższym czasie. Takich samych urządzeń używa się jako pośrednich zespołów wejściowych z tymi samymi praktycznie szybkościami.

Z tego powodu, że w większych maszynach używa się kilka typów zespołów wejściowych i wyjściowych, powstają stale duże dysproporcje między szybkością maszyny a jej zastosowaniem. W zakończeniu podamy, jak radzą sobie z tym konstruktorzy.

ZAKOŃCZENIE

Warto jeszcze wspomnieć, dokąd prowadzi dotychczasowy rozwój programowanych maszyn liczących. Od pierwotnych małych maszyn liczących przeszliśmy do seryjnej produkcji wielkich maszyn matematycznych z wszelkimi zdobyczami techniki, z czego się jednak okazało, że wszystkie części nie są całkowicie wykorzystane. Tak więc zespołowi operacyjnemu, najszybszej części, nie może wystarczyć pamięć, zespół wejściowy i wyjściowy. Wówczas nastąpiło nowe, oryginalne rozwiązanie. Jeżeli zespół operacyjny jest szybki, wówczas może rozwiązywać nie jedno, lecz kilka zadań jednocześnie zgodnie z tym, jak informacje są do niego wprowadzane (podział czasowy). Jednak pierwotny zespół sterujący znacznie się komplikuje, również funkcja jego jest właściwie inna (raczej organizacja obliczenia), tak że razem z pamięcią operacyjną i zespołem operacyjnym nazywa się on "organizatorem". Do niego jest dołączone kilka pamięci pomocniczych, kilka zespołów wejściowych i wyjściowych. Wówczas jest możliwe przeprowadzanie kilku operacji jednocześnie: sterowanie produkcją, obliczenia naukowo-techniczne, prace administracyjne itp. Poszczególnym zadaniom jest przyporządkowane pierwszeństwo według ich ważności, a maszyna licząca może wówczas pracować z największą sprawnością.

Dalszy rozwój maszyn liczących jest związany z rozwojem cybernetyki i elektroniki, a ich zastosowanie to

głównie dziedzina automatycznego sterowania procesami przemysłu, transportu, planowania, księgowości, ewidencji ludności, statystyki i wiele innych.

ELEKTRONICZNE MASZINY MATEMATYCZNE¹⁾

G.G. Owsiannikow, D. Lidin: Elektronnyje wycisłitielnyje masziny. Awtomatika, Tielemechanika i Swiaź, nr 10 - 1962 r., nr nr 2 i 9 - 1963 r.

1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

1.1. Zakres zastosowania maszyn elektronicznych

Przyczyną szybkiego rozwoju elektronicznych maszyn matematycznych w ciągu ostatnich lat była konieczność wykonywania coraz bardziej skomplikowanych obliczeń ze wszystkich dziedzin nauki i techniki.

Elektroniczne maszyny cyfrowe rozwiązują zarówno proste zadania matematyczne, jak i bardzo skomplikowane, np. rozwiązanie całego układu równań różniczkowych, opisujących przestrzenny ruch rakiety sterowanej w ciągu dwu godzin (przy użyciu arytmometru wymagałoby to około dwu lat).

Również maszyny elektroniczne kierują procesami produkcyjnymi, np. automatycznie regulują system ener-

¹⁾ Na podstawie oryginału opracował R. Grohman.

tyczny pracy elektrowni, prowadzą pociąg, rozwiązując równanie ruchu pociągu w zależności od warunków (normalnej szybkości, profilu trasy, wskazań sygnałów itd.) i wybierają najekonomiczniejszą pracę elektrowozu.

Oprócz tego maszyny elektroniczne używa się do rozwiązywania zadań logicznych. W tym celu zadania logiczne przedstawia się w formie zadań matematycznych na podstawie trzech słów: "lub", "i", "nie". Przypuśćmy, że mechanik kolejowy ma wyjechać na sąsiednią stację. Rozumowania jego będą następujące: "wyjadę pociągiem lub drezyną, jeżeli nie spóźnię się, gdy odejdą". Warunki wyjazdu są takie: pociąg, lub drezyna, nie spóźnię się.

Jeżeli oznaczymy odjazd pociągu przez "p", odjazd drezyny "d", nie spóźnię się " \bar{s} ", "lub" znakiem "+", "i" znakiem ".", "nie" znakiem "-" (minus) nad słowem, to otrzymamy:

$$\text{Wyjazd } W = p \cdot \bar{s} + d \cdot \bar{s} = (p + d) \cdot \bar{s}.$$

Można podobnie zapisać inne logiczne zadania.

1.2. Podstawowe określenia

Rozwiązanie każdego zadania wymaga określonych kolejnych działań.

Schemat rozwiązania zadania, podany do maszyny w formie instrukcji nazywa się algorytmem numerycznym. Algorytm numeryczny zadania matematycznego w postaci ciągu rozkazów nazywa się programem zadania.

Część maszyny interpretująca układy cyfr jako instrukcję nazywa się urządzeniem sterującym, część ma-

szyny interpretująca układy cyfr jako liczby - arytmometrem.

Oprócz tego rozróżnia się części: "wejście" do wprowadzenia cyfr do maszyny, "wyjście" do otrzymania wyników i "pamięć" - układ komórek, z których każda może przechowywać 1 cyfrę.

1.3. Główne typy maszyn

Elektroniczne maszyny dzielą się na:

- a) maszyny o działaniu nieciągłym (cyfrowe),
- b) maszyny o działaniu ciągłym (analogowe).

Maszyny cyfrowe mogą otrzymać wynik z dokładnością do 0,0001% i szybkością dziesiątków tysięcy działań na sekundę.

Maszyny o działaniu ciągłym reagują natychmiast na zmianę podstawowych wielkości, ale mają dokładność do 8 - 10%, w zależności od dokładności pomiarów. Maszyny te nazywają się modelującymi lub analogowymi, ponieważ używane są do przeanalizowania skomplikowanego zjawiska fizycznego według analogicznego prostego, np. wymianę ciepła według wzorów z elektrotechniki, dlatego, że równania dla tych dziedzin są podobne.

Ze względu na szybkość, elektroniczne maszyny matematyczne dzielą się na:

- małe - do 1000 operacji na sekundę,
- średnie - od 1000 do 10000 operacji na sekundę,
- duże - powyżej 10000 operacji na sekundę.

Pracujące w Polsce: XYZ w Zakładzie Aparatów Matematycznych PAN jest maszyną średnią, Emal-2 w Instytucie Badań Jądrowych PAN oraz Z-KTR w Politechnice Warszawskiej są maszynami małymi.

2. PODSTAWY ARYTMETYCZNE

2.1. Liczby w różnych postaciach

Aby elektroniczna maszyna cyfrowa mogła wykonywać działania na liczbach, należy wybrać znaki i zasady, które pozwalają zapisywać tymi znakami każdą liczbę.

Na całym świecie rozpowszechniony jest dziesiętny system liczenia. Częściowo są używane inne systemy liczenia: w Anglii na 12-kowym systemie jest oparty system monetarny; w przedwojennej Rosji liczono towary na sztuki, tuziny i grosy; z Babilonu doszedł do nas sześćdziesiętny system liczenia czasu: w godzinie 60 minut, w minucie 60 sekund.

W dziesiętnym systemie jest 10 znaków (cyfr), z których każdy ma swoje oznaczenie. Według jego reguł każda cyfra liczby ma swoją pozycję i dziesięciokrotnie różni się od cyfry napisanej obok. Cyfra 5 drugiej pozycji oznacza liczbę 50, trzeciej - 500, czwartej 5000 itd. Ale dla każdej z 10 cyfr nie potrzeba określonego oznaczenia. Na przykład liczbę 325 można zapisać .../.../..... jak na najstarszej maszynie matematycznej - liczydłach z jednym znakiem - krążkiem. Ale taki sposób jest niewygodny dlatego, że od razu nie można określić liczby;

dla szybszego obliczenia na liczydłach dwa średnie krążki pomalowane są na czarno. Każdą cyfrę można też zapisać kombinacją dwóch znaków, np. kropką i kreską, jak w alfabecie Morse'a.

Maszynie wystarczy zafiksować określoną ilość impulsów prądu różnej długości.

Jeszcze wygodniejszy jest alfabet Bodeau, gdzie dowolna cyfra przedstawia się, jak kombinacja impulsów prądu i przerw jednakowej długości.

Sposób zapisywania liczb określoną ilością impulsów jednakowej długości jest podstawą dla elektronicznych maszyn cyfrowych, ale ten zapis wykonuje się nie według dziesiętnego, lecz dwójkowego systemu liczenia.

Chodzi o to, że reguły wykonywania działań z liczbami dwójkowymi są dużo prostsze, niż z dziesiętnymi. Oprócz tego dwójkowe liczby łatwo zapisują się w maszynie prostymi elementami elektrycznymi (przekaźniki, lampy elektronowe itd.). To pozwala znacznie uprościć schemat i konstrukcję maszyny, wykonać ją znacznie mniejszą, tańszą i pewniejszą.

2.2. Arytmetyka "tak" - "nie"

W systemie dwójkowym każda następna pozycja liczby jest większa od poprzedniej nie 10-krotnie, lecz 2-krotnie. Jeżeli "cena" drugiej pozycji w systemie dziesiętnym jest 10, to w dwójkowym - 2, trzeciej - 4, czwartej - 8 itd. Widać to wyraźnie z tablicy 1.

T a b l i c a 1

(Kategoria) Pozycja	6	5	4	3	2	1
System dziesiętny	100000	10000	1000	100	10	1
Inny zapis systemu dziesiętnego	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0
System dwójkowy	32	16	8	4	2	1
Inny zapis systemu dwójkowego	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

Z tablicy można zauważyć podobieństwo obydwu systemów liczenia. Wartość dowolnej pozycji jest podstawą systemu (10 lub 2), podniesioną do potęgi o jedność mniejszej od liczby, określającej pozycję. Rzeczywiście, wartość piątej pozycji w systemie dziesiętnym jest $10^4 = 10000$, a w dwójkowym $2^4 = 16$.

W systemie dwójkowym dowolne liczby zapisuje się tylko dwoma znakami, które mogą mieć dowolny kształt i są symbolami określającymi obecność liczby w pozycji lub jej brak. Na przykład, jeżeli przyjąć, że znak 1 określa obecność liczby, a 0 jej brak, to liczba 25 w systemie dwójkowym napisze się 11001. Rzeczywiście, czytając zapis z prawej strony do lewej, łatwo ustalić, że cyfry są w pierwszej, czwartej i piątej pozycji (tam gdzie jest 1). Wypisując te liczby według przytoczonej reguły podnoszenia do potęgi (lub z tablicy) i sumując

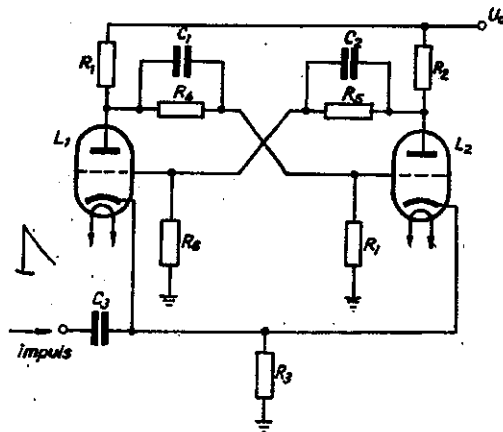
je, otrzymamy liczbę, która przedstawia zapis dwójkowy $2^4 + 2^3 + 2^0 = 25$. Stąd w systemie dwójkowym symbole zapisu liczb mają dwa znaczenia: "tak" (liczba jest) i "nie" (liczby brak). Dlatego obliczenia według systemu dwójkowego nazywają czasami arytmetyką "tak" - "nie". Te znaczenia bardzo łatwo przenoszą się na język elektronicznych maczyn cyfrowych. Aby maszyna taka mogła wykonywać na liczbach działania arytmetyczne, przedstawia się cyfry dwójkowe w postaci rozmaitych sygnałów elektrycznych za pomocą dwóch sposobów: kodem impulsowym lub statycznym.

W pierwszym przypadku cyfry dwójkowe przedstawia się jako symbol "tak" (1) - impuls jest, symbol "nie" (0) - impulsu brak. Jedynkę i zero można zapisywać też znakami rozmaitych biegunowości. Sposób drugi - statyczny wykorzystuje różny poziom napięcia: jedynka - poziom wysoki, zero - niski. Przy każdym systemie cyfra "zapisana" musi zachować się w postaci niezmiennej w ciągu czasu potrzebnego do wykonania działań przez maszynę. Najprostszym sposobem zachowania zapisu, to zafiksowanie go przekaźnikiem elektromagnetycznym. Jednak takie przekaźniki mają dużą bezwładność i nie są przydatne dla maszyn szybko pracujących.

3. URZĄDZENIA ELEKTRONICZNYCH MASZYN CYFROWYCH

3.1. Przerzutnik dwustanowy

Podstawowym urządzeniem elektronicznych maszyn cyfrowych jest przerzutnik. Jest on zbudowany na dwóch lampach o wspólnym napięciu i wzajemnym sprzężeniu zwrotnym z anod na siatki, dzięki czemu jest on zawsze w jednym z dwóch stanów stabilnych tak długo, dopóki sygnał zewnętrzny nie zmieni jego stanu na przeciwny (rys. 1). Za pomocą przerzutnika można łatwo zapisać cyfrę dwojkową. Przypuśćmy, że prawa lampa jest otwarta, a lewa zamknięta i przerzutnik fiksuje zero. Jeżeli lewa lampa jest otwarta a prawa zamknięta, fiksuje się jedyńka. Przerzutnik pracuje błyskawicznie, ponieważ rozładowanie elektryczne trwa drobne części sekundy i przerzutnik może zmieniać swój stan więcej, niż milion razy na sekundę.



Rys. 1. Przerzutnik 2-stanowy

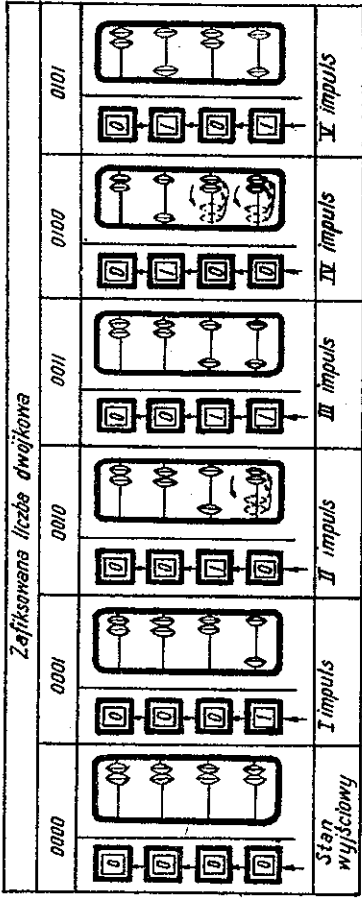
3.2. Sumator

Połączmy w szeregowy łańcuch przerzutniki, jak na rys. 2, na którym obok pokazano liczydła dla liczb dwójkowych z dwoma krążkami na każdym drucie. Na początku wszystkie przerzutniki pokazują zero i wszystkie krążki na liczydłach są ułożone z prawej strony. Jeżeli na wejściu pierwszego przerzutnika łańcucha podać impuls, to on zafiksuje jedynkę 0001, co jest równoznaczne z przesunięciem na liczydłach krążka pierwszej pozycji na lewo.

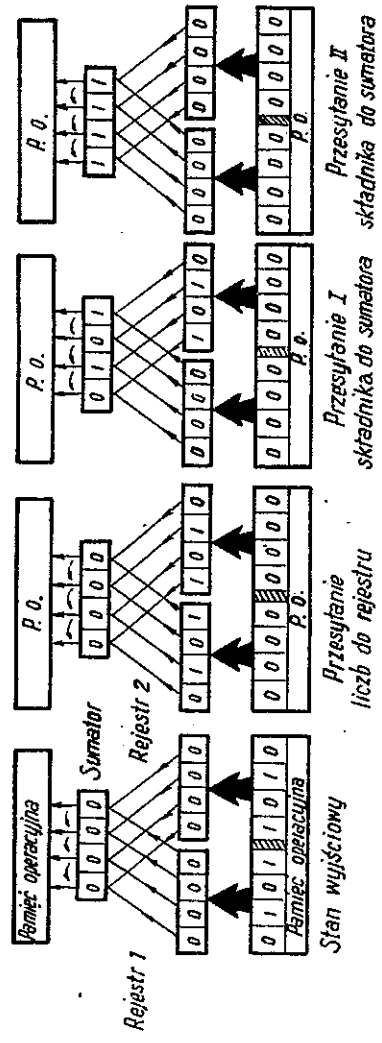
Drugi impuls podany na wejściu pierwszego przerzutnika zafiksuje na nim 0 i na II przerzutniku 1; to samo będzie na liczydłach i łańcuch przerzutników i liczydła zapiszą liczbę 0010. Trzeci impuls zafiksuje na I przerzutniku 1 i cały łańcuch zapisze 0011 itd.

Stąd wynika, że łańcuch przerzutników dodaje i fiksuje sumę oddzielnych impulsów i stanowi w zasadzie liczydła elektroniczne, które razem z urządzeniem wykonującym dodawanie przedstawiają tak nazywany sumator szeregowego działania. Sumator szeregowego działania ma ten mankament, że przy wprowadzeniu do niego liczby na przykład o pięciu pozycjach zajmuje pięciokrotnie więcej czasu, niż dla liczby o jednej pozycji. Dla przyspieszenia procesu dodawania stosuje się sumator równoległego działania, w którym dodaje się wszystkie pozycje liczby jednocześnie.

Omówimy pracę takiego uproszczonego sumatora. Przy-



Rys. 2. Szeregowy łańcuch przerzutników



Rys. 3. Sumator

puśćmy, że trzeba dodać 5 i 10; liczby te w systemie dwójkowym wprowadza się do pamięci operacyjnej (rys. 3). Z pamięci operacyjnej wszystkie pozycje liczb dodawanych jednocześnie przechodzą na odpowiednie przerzutniki do swoich rejestrów (I i II), gdzie fiksują się. Następnie liczba z rejestru I wszystkimi pozycjami od razu przenosi się na przerzutniki sumatora, po czym tam przychodzi liczba dodawana z rejestru II i dodaje się do istniejącej liczby.

W tym przykładzie na każdy przerzutnik przechodził impuls (1) tylko z jednego rejestru. Jeżeli zaś przy dodawaniu na przerzutnik sumatora z jedynką dodaje się liczba z jedynką w tej pozycji, to przerzutnik sumatora przechodzi na zero, a jedynka przechodzi do wyższej pozycji, jak na liczydłach.

Powyższy sumator jest tylko częścią urządzenia arytmetycznego maszyny matematycznej. Oprócz tego są układy mnożenia, odejmowania i dzielenia, ale wszystkie wykonują swoje działania za pomocą dodawania. Stąd wynika, że szybkość pracy sumatora jest bardzo istotna dla szybkiego działania maszyny.

Od schematu i konstrukcji urządzenia arytmetycznego zależą szybkość pracy maszyny, wymiary i ekonomiczność. W sumatorze są dziesiątki przerzutników i urządzenie arytmetyczne ma setki i tysiące lamp, które obecnie są zastępowane przez tranzystory. Ponieważ w niektórych maszynach nie potrzeba szybkiej pracy, stosuje się w nich sumatory szeregowego działania, przez co wymiary oraz

koszty tych maszyn są znacznie mniejsze. Stąd maszyny dzielią się na specjalne - proste i o małej szybkości oraz uniwersalne - skomplikowane i szybko pracujące. Maszyny uniwersalne zajmują do 200 m².

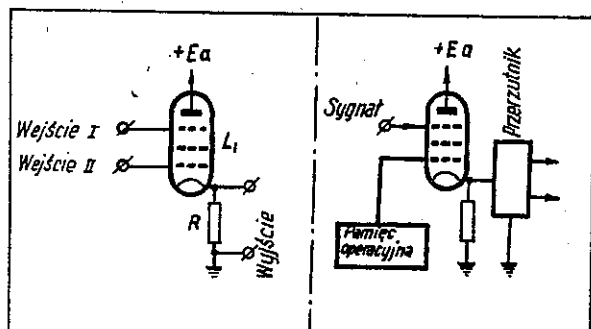
Na wyjściu pamięci operacyjnej tych pozycji i liczb, gdzie zafiksowane są jedynki, istnieją stałe potencjały, które należy w określonym czasie przenieść na wejścia odpowiednich przerzutników rejestru. Stąd między pamięcią operacyjną a przerzutnikiem - powinno znajdować się urządzenie, które otrzymawszy rozkaz przeniesienia liczby do rejestru otwiera potencjałowi drogę.

3.3. Układy realizujące operacje logiczne

Urządzenie to może wykonać zadanie logiczne - połączenie rejestru z przerzutnikami przy następujących warunkach: połączenie nastąpi, jeżeli będzie rozkaz przeniesienia liczby do rejestru i jeżeli na wejściu urządzenia będzie potencjał, przechodzący z pamięci operacyjnej.

Poprzednio było ustalone, że podobne zadania logiczne można zapisać matematycznie: wydarzenie $W = R$ (rozkaz) $\cdot U$ (napięcie pamięci operacyjnej).

Schemat urządzenia, które może wykonać takie logiczne zadanie pokazany jest na pentodzie (rys. 4). Prąd przejdzie przez pentodę tylko w tym przypadku, jeżeli na wejściowych siatkach I i II są dodatnie potencjały i dzięki spadkowi napięcia w oporności R powstanie sygnał na wyjściu. Taki schemat nazywa się schematem "I".



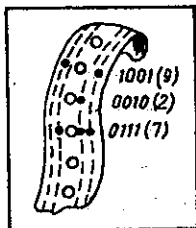
Rys. 4. Schemat logiczny "I"

Pamięć operacyjną łączy się z przelotnikiem (rys. 4 prawy), i układ będzie pracował, jeżeli sygnały rozkazu i z pamięci operacyjnej będą wchodzić na wejście jednocześnie.

Oprócz schematu "I", gdzie sygnał zjawia się na wyjściu, gdy impulsy podane są na wejściu I i II, są jeszcze logiczne schematy: "LUB", kiedy impulsy podaje się na I lub na II wejście oraz "NIE", kiedy na wejściu nie ma impulsu, natomiast na wyjściu sygnał się zjawia. Te trzy schematy pozwalają maszynie "rozumować" podczas pracy.

3.4. Kod wewnętrzny maszyny

Wyniki obliczeń i liczby wprowadzane do maszyny wyrażone są w systemie dziesiętnym, maszyna zaś pracuje w systemie dwójkowym. Dlatego potrzebne są urządzenia do automatycznego przetwarzania liczb z jednego systemu na drugi.



Rys. 5. Zapis liczby na taśmie telegraficznym

Rozpatrzmy jeden ze sposobów przetwarzania liczby dziesiętnej na dwójkową w dwóch fazach. Najpierw na taśmie papierowej perforuje się liczbę dziesiętną cyframi dwójkowymi, np. 927 (rys. 5), przy czym cyfry jednostek, dziesiątek i setek są uło-

żone jedna pod drugą. Lecz to nie jest liczba 927 w systemie dwójkowym. Należy cyfrę 9 pomnożyć przez 100, co w systemie dwójkowym automatycznie wykona maszyna, jak tylko do niej z taśmy przejdzie cyfra 9 i zafiksuje 1001×1100100 , cyfra 2 mnoży się przez 10 i dodaje się do poprzedniej - 0010×1010 , na końcu dodajemy cyfrę 7, dając liczbę 927 w systemie dwójkowym 1110011111. Po tych działaniach liczba ta przechodzi do pamięci operacyjnej i jest tam przechowywana do chwili rozpoczęcia obliczeń matematycznych.

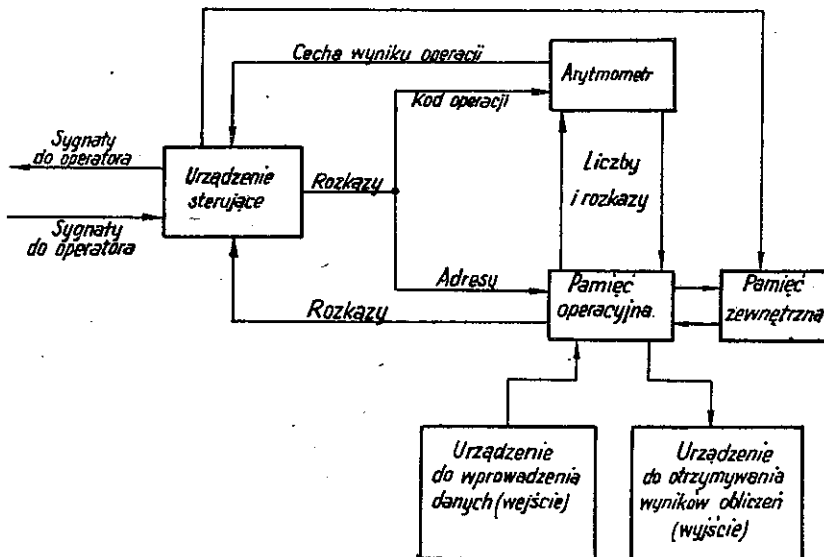
Po obliczeniach wynik w systemie dwójkowym przetwarzają się najpierw w liczbę dwójkowo-dziesiętną, tj. tak, aby każda pozycja liczby dziesiętnej była napisana liczbą dwójkową, a potem dziurkują ją na taśmie perforowanej jak poprzednio (rys. 5). Mając zapis na taśmie, można wydrukować go na zwykłym aparacie telegraficznym. Szybkość druku jest niewspółmiernie mniejsza, niż maszyny matematycznej, dlatego urządzenia drukujące nie wchodzi do kompletu maszyny. Wyniki obliczeń zapisuje się na taśmach perforowanych lub magnetycznych. Zapis ma-

gnetyczny można przetworzyć na cyfry i wydrukować na papierze za pomocą urządzenia fotodrukującego, którego szybkość działania dochodzi do 200 liczb na sekundę.

Wynalazcy i konstruktorzy szukają sposobów, które pozwoliłyby otrzymać szybko działające urządzenia drukujące z szybkością obliczeń.

3.5. Schemat urządzeń elektronicznej maszyny matematycznej

Jak wynika z powyższego elektroniczna maszyna matematyczna składa się z następujących urządzeń (rys. 6) :
 1) wejściowego, 2-3) pamięci operacyjnej i zewnętrznej,
 4) arytmometru, 5) urządzenia sterującego i 6) wyjściowego.



Rys. 6. Schemat urządzeń maszyny elektronicznej

3.6. Urządzenia pamięci

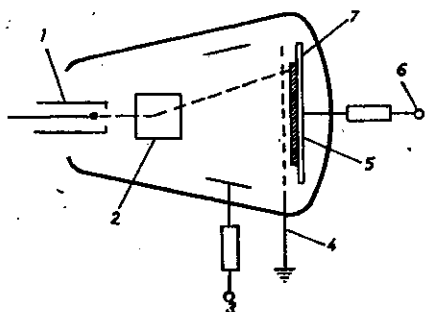
Człowiek utrzymuje w wewnętrznej pamięci wiadomości, które stosuje operacyjnie w praktyce. Do przechowywania wiadomości, które potrzebne są rzadko, służą mu książki, tablice itd. Elektroniczna maszyna matematyczna ma również pamięć operacyjną i zewnętrzną. Każde urządzenie pamięciowe posiada dwie sprzeczne właściwości: objętość i czas szukania. Objętość jest to ilość liczb w urządzeniu, czas szukania jest to czas odnalezienia potrzebnej liczby z całej masy liczb zafiksowanych w urządzeniu. Im więcej jest aktualnych liczb, tym więcej czasu traci się na odszukanie potrzebnej liczby. W niektórych elektronicznych maszynach matematycznych objętość pamięci operacyjnej stanowi kilka tysięcy liczb, objętość zaś pamięci zewnętrznej dochodzi do kilkuset tysięcy liczb wielocyfrowych.

3.6.1. Lampa oscyloskopowa

Do rozwiązania urządzeń operacyjnej pamięci służą: ekran lampy oscyloskopowej, przemagnesowanie ferrytowych materiałów itd. Urządzenia operacyjnej pamięci posiadają dużą szybkość działania. Do zapisu lub odczytania jednej liczby urządzenia potrzebują nie więcej od jednej stutysięcznej części sekundy.

Lampa oscyloskopowa, jak w telewizorze (rys. 7), posiada projektor elektronowy, który stwarza pęczek elektronów i wysyła je na ekran. Siatka modulacyjna lampy

wykonuje rolę zasuwki, która zatrzymuje pęczek elektronów do potrzebnego momentu. Płytki odchylają w zależności od wielkości i znaku podawanych na nie potencjałów pęczek elektronów w dowolne miejsce ekranu. Przy odczy-



Rys. 7. Lampa oscyloskopowa
 1 - układ ogniskujący, 2 - płytki odchylające, 3 - kolektor, 4 - siatka hamująca, 5 - warstwa dielektryku, 6 - styk, 7 - anoda

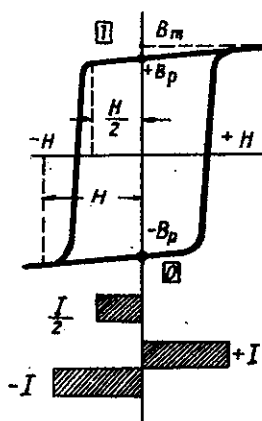
taniu zapisu promień elektronów kieruje się na ekran do potrzebnego punktu i przez oporność R , dołączaną do płytki sygnałowej ekranu, rozładowuje tę jego cząstkę, na którą jest skierowany. Prąd rozładowania powoduje na oporności spadek napięcia, który trafia na siatkę lampy wzmacniającej urządzenia odczytującego. Ilość cząstek, na które może być podzielony ekran dochodzi do 4096.

Urządzenie pamięci na lampach elektronowych jest dość skomplikowane i ma cały szereg mankamentów, jak czas zatrzymywania zapisu tylko 0,05 s (co wywołuje częste powtarzanie zapisu i bardzo komplikuje urządzenie) oraz czas pracy lampy tylko 1-2 tysięcy godzin.

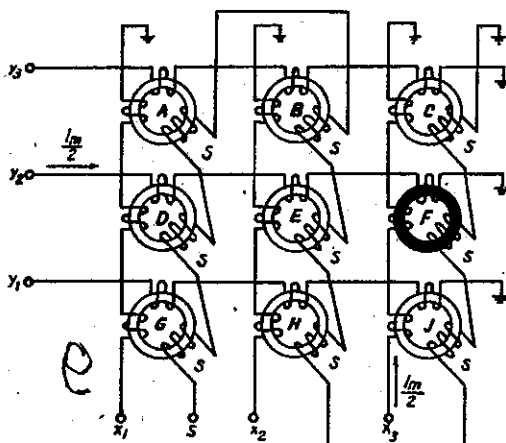
3.6.2. Rdzenie ferrytowe

Ferryt produkuje się ze sprasowanego i wypalonego proszku, w skład którego wchodzi tlenki żelaza, niklu, manganu i kobaltu; posiada on właściwości magnetyczne i łatwo przemagnesowuje się.

W tym celu magnes wykonuje się jako zamknięty pierścień. Takie pierścienie (rdzenie) stanowią proste i pewne urządzenia pamięci. Dla zrozumienia pracy rdzenia, jako urządzenia pamięci, rozpatrzmy proces przemagnesowania. Przypuśćmy, że rdzeń został namagnesowany do nasycenia, określonego największą wartością indukcji magnetycznej B_m (rys. 8).



Rys. 8. Pętla histerezy



Rys. 9. Matryca rdzeni

Po przerwaniu prądu rdzeń utrzyma indukcję magnetyczną szczątkową $B_p < B_m$. W takim stanie rdzeń może pozostać dowolnie długo bez ztraty energii. Aby przema-

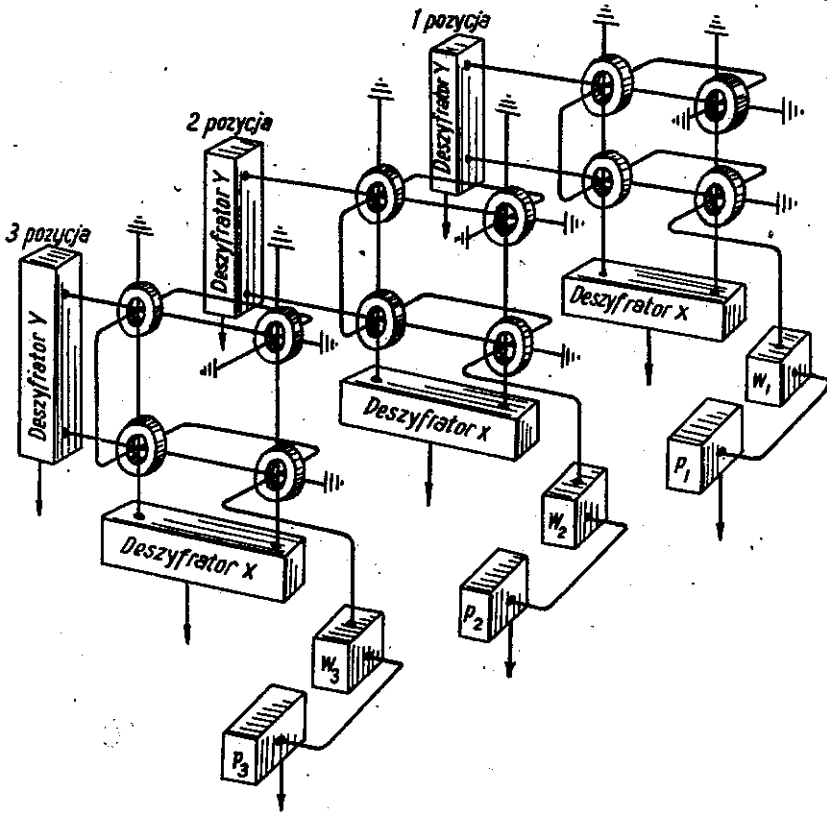
gnesować rdzeń, należy przez uzwojenie przepuścić prąd w odwrotnym kierunku, przy czym przemagnesowanie nastąpi tylko wtedy, kiedy natężenie pola magnetycznego przejdzie przez wartość H według pętli histerezy (rys. 8).

Przypuśćmy, że przy szczątkowej indukcji magnetycznej $+B_p$ fiksuje się 1, a przy $-B_p$ fiksuje się 0. Do ferrytowego urządzenia pamięci używa się rdzeni z trzema uzwojeniami. Uzwojenia x, y (rys. 9), służą do przemagnesowywania, a z do odczytywania. Uzwojenia y wszystkich pierścieni przyłączone są do szyn poziomych, uzwojenia x do szyn pionowych.

Aby rdzeń przemagnesować, należy doprowadzić prąd o natężeniu $I/2$ do szyn z uzwojeniami x i y ; wtedy pola magnetyczne jednego kierunku dodadzą się i spowodują przejście rdzenia z jednego stanu w drugi.

Komplet rdzeni pokazany na rys. 9 nazywa się matrycą ferrytową. Rdzenie wykonuje się o średnicy kilku milimetrów, bez uzwojeń, ponieważ 3 przewody przechodzące przez rdzenie wytwarzają pole dostateczne do ich namagnesowania. Z matryc ferrytowych można złożyć urządzenia do zapamiętania dużej ilości liczb wielocyfrowych. W tym celu bierze się tyle matryc, ile ma być pozycji i montuje się je w układzie przestrzennym.

Na rys. 10 pokazany jest fragment pamięci ferrytowej dla czterech liczb 3-cyfrowych. Przypuśćmy, że to urządzenie zapamiętało liczbę 5 w systemie dwójkowym 101, zapisane na rdzeniach 2. To znaczy na matrycach I i III pozycji rdzeń jest w stanie "1", a na matrycy II pozycji w stanie "0". Przy odczytywaniu tej liczby deszy-



Rys. 10. Układ przestrzenny pamięci

fratory X i Y wysyłają prąd do adresowych szyn rdzeni 2 wszystkich matryc. Ten prąd przemagnesuje rdzenie w matrycach I i III pozycji. Rdzeń 2 matrycy I pozycji już jest w stanie "0" i nic tu nie zmieni się. Przy przejściu rdzeni w drugie położenie, w szynach odczytujących I i III pozycji powstają impulsy prądu, które przez wzmacniacze W_1 i W_3 przechodzą na odpowiednie przerzutniki P_1 i P_3 rejestru fiksującego odczytaną liczbę.

Przy zapisie liczby jak i przy odczytywaniu, deszyfratory Y i X wysyłają do szyn rdzeni prąd odwrotnego kierunku, przenoszący rdzenie ze stanu "0" w stan "1". Do zapisu "0" kierunek prądu zmienia się na odwrotny. Jeżeli rdzeń już jest w tym stanie, prąd nic nie zmieni. Matryce pamięci mogą zawierać więcej niż 10000 rdzeni.

3.6.3. Taśma magnetyczna

Jako zewnętrznej pamięci używa się również taśmy magnetycznej, na której zapisuje się liczby w systemie dwójkowym, jak mowę i muzykę. Taśma magnetyczna umożliwia zapis w kilku rzędach. Ilość rzędów przyjmuje się do 50, żeby dowolną liczbę można było zapisać w jednym rzędzie w poprzek taśmy.

Taśma magnetyczna może mieć olbrzymią pojemność, ale nie posiada takiej szybkości działania, jak lampy elektronowe i rdzenie ferrytowe. Wynika to z trudności odszukania potrzebnej liczby na taśmie. Aby uprościć odszukanie liczby, taśmę magnetyczną dzieli się na pewną ilość stref, z których każdą oznacza się innym kodem. W celu odnalezienia potrzebnej liczby przewija się taśmę i kiedy zapisany na niej kod strefy zgadza się z kodem strefy, do której należy potrzebna liczba, wszystkie znaki przepisuje się do pamięci operacyjnej. Tam potrzebna liczba jest wyszukiwana według numerów adresowych szyn pionowych i poziomych.

Zamiast taśmy można używać też bębny magnetyczne, na których powierzchni zapisuje się liczby. Zwykle stosuje

się dużą ilość zapisujących główek, aby w zapamiętaniu liczb przyjmowała udział cała powierzchnia bębna.

3.6.4. Karta perforowana

Karta perforowana została już wprowadzona w 1822 r. w Anglii do mechanicznej maszyny matematycznej i stosuje się również do maszyn elektronicznych. Karta perforowana jest to prostokąt określonych wymiarów z cienkiego kartonu (rys. 11). Jeden róg jest ścięty, aby łatwo było ułożyć wszystkie karty jednakowo. Na powierzchni karty perforowanej jest wydrukowanych 80 pionowych kolumn cyfr. W każdej kolumnie umieszczone są od góry do dołu cyfry od 0 do 9. To są pozycje, na których dziurkowaniem może być zapisana informacja zakodowana; dodatkowe dwie pozycje mogą być dziurkowane w górnej części karty. Nad I rzędem i między rzędami VIII i IX podana jest numeracja kolumn.

Do maszyny karta jest wprowadzana przez urządzenie odczytujące, które składa się z rzędu elektrycznych szczotek, przesuwających się po powierzchni karty i zamykających odpowiednie obwody, przy trafieniu do otworu wybitego w karcie.

