

# XYZ P I E R W S Z A P O L S K A ELEKTRONOWA MASZYNA CYFROWA

Nie bez powodu automatyczne maszyny liczące znajdują się obecnie w centrum zainteresowań naukowych całego świata. Stanowią one bowiem pewnego rodzaju przełom w dziedzinie budowy maszyn. Dotychczas, tzn. do lat czterdziestych naszego stulecia, budowane były maszyny powiększające sprawność naszych mięśni i zmysłów: Wszelkiego rodzaju silniki poruszają pociągi, samoloty, samochody, drążą w ziemi szyby kopalniane, wyrzucają rakietę. Sztuczne ręce pozwalają z bezpiecznego miejsca manipulować radioaktywnymi ciałami. Wzmacniamy głos stosując megafony, wzrok — używając mikroskopu i teleskopu bądź też aparatu radarowego, płuca — stosując aparaty tlenowe.

Automatyczne maszyny liczące (nazywane najczęściej „maszynami cyfrowymi”) są maszynami zgoła innego typu. Zadaniem ich jest wspomagać nasze dyspozycje psychiczne. Dokładniej mówiąc: maszyny cyfrowe mają za zadanie zastąpić pracę naszego mózgu w pewnych prostych, a jednak niesłychanie ważnych dla potrzeb gospodarki ludzkiej, problemach. (Stąd popularna, nie całkiem jednak słuszna, nazwa tych maszyn: „mózgi elektronowe”. Przymiotnik „elektronowe” pochodzi z zastosowania do budowy tych maszyn techniki elektronowej). Problemy te sprowadzają się w zasadzie do wykonywania następujących dwu czynności:

— równoczesnego zapamiętania dużej ilości symboli,

— umiętności szybkiego dokonywania pewnych prostych działań na takich symbolach.

Symbolom te mogą służyć do reprezentowania np. liczb, słów jakiegoś języka i jego prawideł gramatycznych, mogą przedstawiać figury szachowe i ich położenie na szachownicy (przepisy gry w szachy mogą również być „zapamiętane” przez maszynę przy pomocy pewnej liczby symboli).

Podstawowym znaczeniem tych symboli są jednak liczby, a podstawowymi działaniami — działania arytmetyczne, takie jak dodawanie, odejmowanie, mnożenie i dzielenie. Dla całkowitej automatyzacji pracy maszyny niezbędne są również działania pozwalające na zmianę toku pracy maszyny w zależności od otrzymanych wyników oraz działania, na skutek których wyniki działań poprzednich mogą być z powrotem „zapamiętane”.

## Zastosowanie maszyn cyfrowych

Na czym polega znaczenie maszyn cyfrowych? — takie pytanie nasuwa się zapewne czytelnikowi po przeczytaniu wstępu. Zwykły arytmetr mechaniczny potrafi również automatycznie mnożyć, dodawać, dzielić i odejmować — po co więc budować maszyny cyfrowe? Odpowiedź brzmi następująco. Przy pomocy arytmetru człowiek może wykonać dziennie średnio 800—1000 działań. Przyspieszenie pracy arytmetru nie powiększy zasadniczo szybkości liczenia, gdyż w ten sposób nie zmniejszymy czasu potrzebnego na zapisywanie wyniku, wprowadzanie liczb na klawisze arytmetru i tym podobne czynności uboczne. Człowiek czyni to zbyt wolno, jak na obecne potrzeby rachunkowe — należy więc mało wydajną pracę człowieka zastąpić szybką i bezbłędną pracą maszyny. W tym celu trzeba zbudować urządzenie zapisujące wyniki oraz wprowadzające dane do arytmetru. Aby nie stwarzać niepotrzebnych „przeostojów”, każda z zapisanych liczb musi być łatwo dostępna urządzeniu. Tak więc, starając się zmniejszyć czas pracy arytmetru, stajemy wobec konieczności zbudowania tzw. „pamięci”. Wprowadzone ulepszenie nie poprawi nam jednak radykalnie sytuacji. Człowiekowi obługującemu nasz udoskonalony arytmetr pozostało jeszcze: wskazywanie w jakikolwiek bądź sposób maszynie, z którego miejsca pamięci ma być wzięta liczba do arytmetru, jakie

działanie ma być na tej liczbie wykonane i gdzie ma być umieszczony wynik, czyli krótko mówiąc — kierowanie pracą maszyny. I na te czynności tracimy, jak na nasze wymagania, zbyt dużo nieproduktywnego czasu. Czas ten, podobnie jak poprzednio, możemy zmniejszyć budując urządzenie działające następująco.

Wymagane działania arytmetyczne wraz z przepisami dotyczącymi kolejności ich wykonania można, gdy już mamy „pamięć”, zapamiętać. Nowe urządzenie „naciskałoby odpowiednio klawisze arytmetru” zgodnie z zapamiętaniem przepisem na rozwiązanie danego problemu rachunkowego. Urządzenie to ponadto może wyręczyć człowieka również w wyborze drogi obliczeń na pewnym etapie pracy w zależności od ostatnio otrzymanego wyniku. Takie urządzenie nazywamy „sterowaniem” maszyny.

Arytmometr + pamięć + sterowanie =  
= maszyna cyfrowa

Tak wzbogacony arytmetr stanowi już maszynę cyfrową. Rola człowieka przy rozwiązywaniu problemu sprowadza się teraz tylko do napisania szczegółowego „przepisu” na wykonywane przez maszynę działania oraz wprowadzenie tego przepisu do maszyny wraz z niezbędnymi do liczenia danymi liczbowymi. Przepis taki nazywa się w fachowym języku „programem”.

Na to, aby działać szybko, tzn. przyspieszyć mniej więcej 10 000 razy pracę człowieka, maszyna cyfrowa musi być zbudowana w oparciu o technikę elektronową. Urządzenia mechaniczne ze względów technicznych nie nadają się do tak szybkiego działania.

Czytelnik zapyta: „No dobrze, ale dlaczego tak nam zależy na zwiększeniu szybkości? Przecież w gruncie rzeczy na zwykłym arytmetrze można obliczyć to samo, co na maszynie cyfrowej, tylko wolniej”.

Otóż szybkość liczenia jest często warunkiem rozwiązywalności danego zagadnienia. Aby to zilustrować, podamy następujący przykład. Matematyka w dobie obecnej stoi na takim poziomie, że najbardziej skomplikowane zagadnienia dają się sprowadzić do wykonywania czterech podstawowych działań arytmetycznych. Takim sprowadzaniem problemów do prostej postaci zajmuje się obszerny dział matematyki, zwany metodami numerycznymi.

Przy pomocy metod numerycznych można sprawdzić sporządzanie prognozy pogody na dzień następny do wykonywania czterech działań arytmetycznych nad liczbami, stanowiącymi meldunki meteorologiczne z całej Europy. Otrzymane w wyniku liczby wskażą nam rozkład ciśnienia barometrycznego w Polsce w dniu następnym, a co za tym idzie, powiedzą nam, jaka będzie jutro pogoda. Wystarczyłoby więc (pożornie) wziąć się po otrzymaniu meldunków do roboty i... niestety, otrzymany wynik byłby dla nas całkowicie bezużyteczny. Wynikałoby to z tej prostej przyczyny, że rozwiązanie otrzymalibyśmy w przybliżeniu po miesiącu wyteńzonej pracy, nawet przy zastosowaniu najnowocześniejszych arytmetrów, czyli z miesięcznym opóźnieniem. Tak więc w oparciu o arytmetr nie ma nawet po co brać się do roboty. Maszyna cyfrowa zaś rozwiąże ten problem w ciągu kilku godzin, wliczając drukowanie wyników, wprowadzanie danych i kilkakrotne, dla skontrolowania, przeliczenie problemu. W ten sposób wynik obliczeń będzie całkowicie aktualny.

Następny przykład. Przy pomiarach geodezyjnych występuje konieczność rozwiązywania układów równań pierwszego stopnia o wielkiej liczbie niewiadomych, np. 150. Ilość mnożeń potrzebnych do rozwiązania takiego układu równań wyraża się liczbą 2 000 000 (w przybliżeniu). Przy uwzględnieniu dodatkowych operacji jest to robota dla kilku ludzi na 10

lat nieprzerwanej pracy. Biorąc pod uwagę nieuniknione w takich przypadkach pomyłki oraz kontrole, wynik możemy otrzymać nie wcześniej niż po 15 latach pracy. Czytelnik może sam obliczyć w przybliżeniu koszt takiej pracy. Zastosowanie maszyny cyfrowej pozwala nam skrócić czas pracy do jednego dnia pracy maszyny o odpowiednio dużej pamięci (pamięci pozwalającej zapamiętać współczynniki takiego układu równań, wraz z programem obliczeń, a więc około 28 000 liczb).

Na tych przykładach nie kończy się spis zastosowań maszyn cyfrowych. Wymienimy tutaj tylko następujące:

- tłumaczenie z jednego języka na drugi,
- kierowanie precyzyjnymi obrabiarkami,
- kierowanie rakietami,
- obliczanie orbit „sputników”,
- prowadzenie klasyfikacji w urzędach patentowych,
- wyszukiwanie danych w kryminalistyce,
- prowadzenie księgowości w dużych przedsiębiorstwach, i wiele innych.

#### Maszyny uniwersalne i specjalne

Istniejące obecnie elektronowe maszyny cyfrowe można podzielić na maszyny uniwersalne i specjalne. Maszyny uniwersalne służą do rozwiązywania zasadniczo wszelkich zagadnień matematycznych ograniczonych z jednej strony pojemnością pamięci maszyny, z drugiej — czasem potrzebnym do wykonania niezbędnych obliczeń. Maszyny specjalne natomiast, jak wskazuje ich nazwa, wykonują obliczenia wciąż tego samego typu i w związku z tym w porównaniu z maszynami uniwersalnymi posiadają bardziej rozbudowane niektóre układy obliczeniowe przy znacznym uproszczeniu pozostałych układów. Do maszyn specjalnych można zaliczyć na przykład maszyny kierujące pracą obrabiarek, maszyny kierujące rakietami, maszyny regulujące obieg krwi w sztucznych płucach i sercu, stosowane w nowoczesnej medycynie, maszyny sortujące różne materiały itp.

Zapotrzebowanie na różne maszyny obu wymienionych typów rośnie przy obecnym szybkim rozwoju nauki i techniki również i w Polsce. Ze względu na konieczność rozwiązywania całego szeregu różnorodnych zagadnień matematycznych pierwsza zbudowana w kraju elektronowa maszyna cyfrowa XYZ jest maszyną uniwersalną.

Fot. 1 przedstawia ogólny jej widok.

Podamy kilka danych dotyczących tej maszyny, wyjaśniając równocześnie w miarę możliwości zasady jej pracy.

Rozwiązanie określonego zagadnienia matematycznego sprowadza się, jak już wspominaliśmy, do całego szeregu prostych działań arytmetycznych, przy czym wyniki kolejno wykonywanych operacji mają często wpływ na wybór i przebieg dalszych operacji.

Aby więc rozwiązać dane zagadnienie, maszyna musi „umieć” wykonywać operacje arytmetyczne, „pamiętać” ich wyniki i w zależności od tych wyników planować dalsze operacje.

Przejdźmy do krótkiego opisu wymienionych wyżej czynności maszyny.

„XYZ” wykonuje przeciętnie około 1000 operacji na sekundę na 36-cyfrowych liczbach w systemie dwójkowym, które odpowiadają mniej więcej 10-cyfrowym liczbom w systemie dziesiętnym. Do wymienionej ilości operacji zaliczają się prócz działań arytmetycznych także przesyłanie liczb pomiędzy poszczególnymi zespołami maszyny oraz operacje, wskazujące kolejność wykonywania działań w zależności od otrzymanych wyników. Zastosowanie systemu dwójkowego uzasadnione jest większą prostotą i pewnością pracy maszyny w porównaniu z systemem dziesiętnym. Poniżej podano kilka liczb oraz przykład prostego dodawania w systemie dwójkowym i dziesiętnym (rys. 1).



Maszyna XYZ zbudowana jest przy zastosowaniu dynamicznej techniki impulsowej, tzn. liczy ona na impulsach elektrycznych. Czas trwania pojedynczego impulsu wynosi około 0,5 μsek. (1 μsek. = 0,000 001 sek.). Kolejne impulsy następują po sobie co 1,4 μsek., co odpowiada około 680 kc/sek. częstotliwości pod-

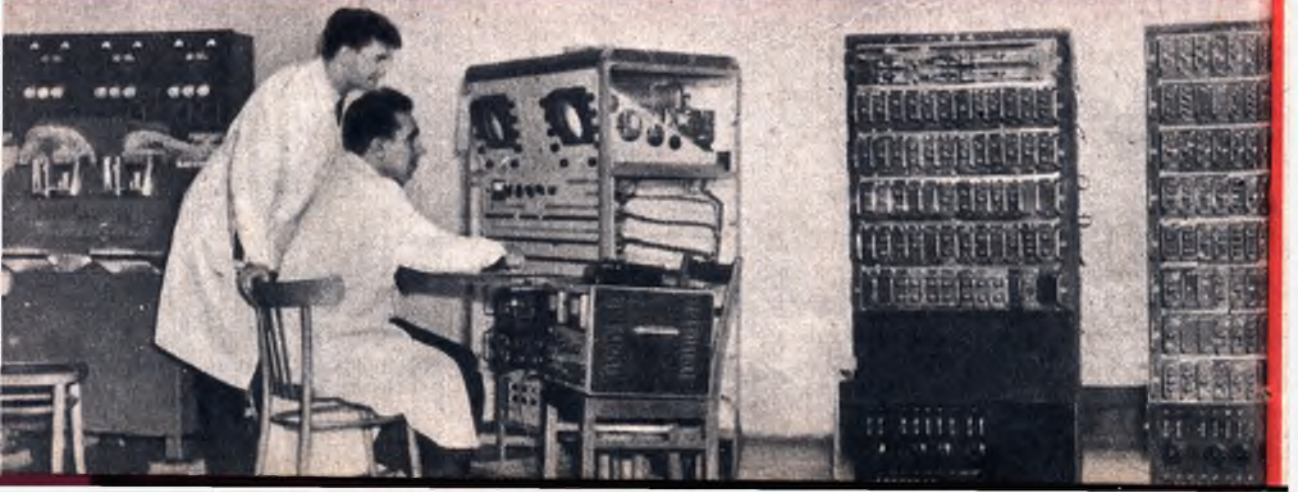


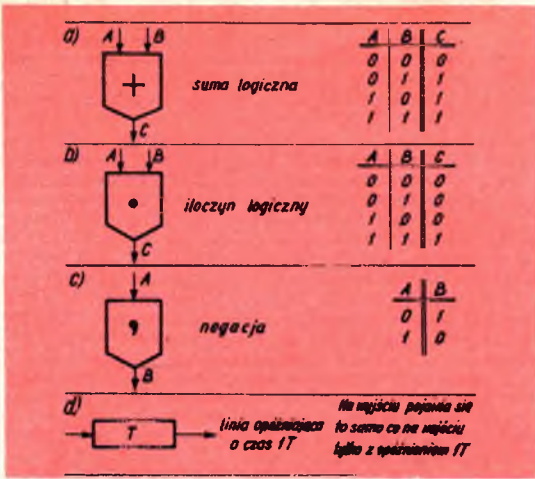
Fot. 2. Impulsy, na których liczy maszyna. Przedstawiają one od lewej cyfrę 101111

stawowej maszyny XYZ. Kształt impulsów pokazano na zdjęciu ekranu oscyloskopu (fot. 2).

Liczba w systemie dwójkowym przedstawiona jest w ten sposób, że każdej jedyne odpowiada impuls, a zero brak impulsu. Maszyna jest szeregowa, tzn. impulsy przedstawiające cyfry każdej liczby są przesyłane w maszynie kolejno w czasie. Wykonywanie działań na liczbach również sprowadza się do kolejnego (w czasie) wykonywania działań na cyfrach tych liczb, rozpoczynając od cyfr najmniej znaczących. Czas potrzebny na przesłanie jednej liczby z jednej części maszyny do drugiej wynosi około 50 μsek. (36 znaków, zwanych bitami, razy 1,4 μsek.); 35

Fot. 1. Ogólny widok maszyny cyfrowej XYZ





Rys. 2.

bitów liczby przedstawia jej wartość bezwzględną, bit 36 przedstawia znak liczby.

Działania na pojedynczych cyfrach 1 i 0 przedstawionych przy pomocy impulsów elektrycznych lub braku tych impulsów wykonywane są w specjalnych układach elektrycznych. Nie wchodząc w budowę tych układów podamy tylko własności czterech takich możliwie najprostszych układów podstawowych zwanych funkcjami, które odpowiednio łączone pozwalają, przynajmniej teoretycznie, na zbudowanie dowolnego zespołu leżącego maszyny cyfrowej.

Dla każdego z tych czterech funkcji posiadających po 1 lub 2 tzw. „wejścia” i po jednym „wyjściu” podajemy powyżej tzw. schemat logiczny i tabliczkę zero-jedynkową, w której jedynkom i zerom odpowiadają impulsy elektryczne, względnie ich brak, na odpowiednich wejściach i wyjściach układów, zaznaczonych na rysunku strzałkami (rys. 2).

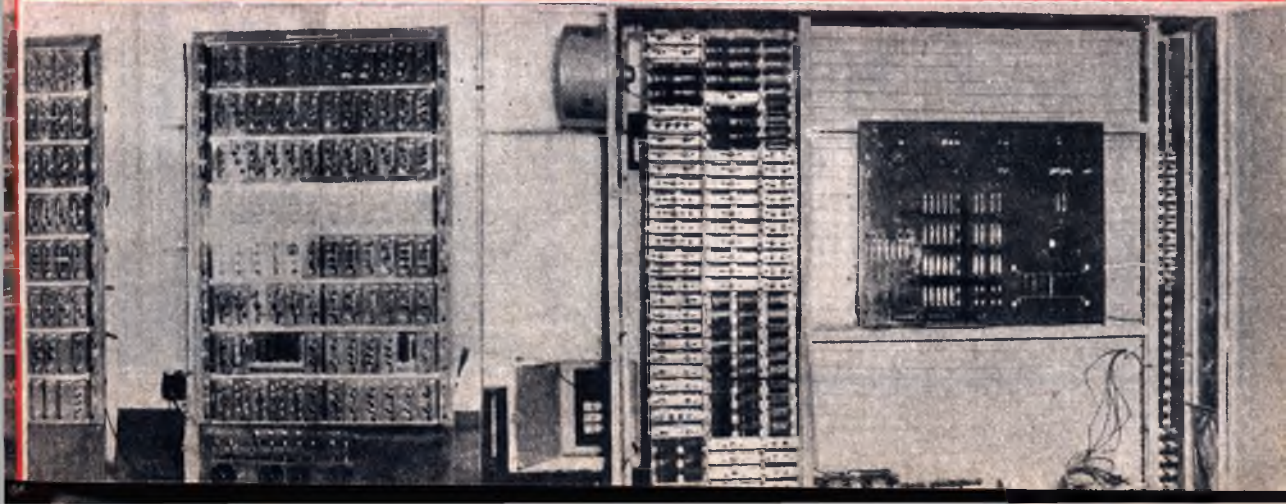
Trzy pierwsze funkcje z podanego zestawienia działają bez opóźnienia, ostatni opóźnia impulsy elektryczne o 1 okres, co odpowiada w czasie odstępowi kolejnych cyfr liczby.

Praktycznie nie wszystkie z podanych wyżej funkcji mogą być technicznie łatwo realizowane i stosowane w maszynach.

W maszynie XYZ mamy znacznie więcej różnych układów podstawowych, z których jak z cegiełek zbudowana jest cała maszyna. Nie miejsce tutaj na ich wylizanie i omawianie. Podane wyżej zestawienie funkcji zostało specjalnie tak dobrane, aby łatwo było zademonstrować sposób syntezy prostych ukła-



Widok od tyłu arytmetru i zespołu sterowania

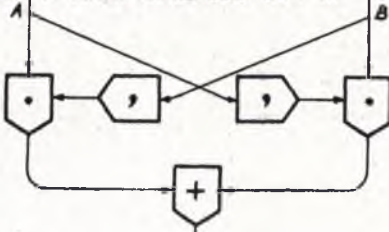


dów mających z góry zadane własności. Jeśli chcemy np. przy pomocy podanych wyżej funktorów zbudować układ działający wg. tabliczki (rys. 3),

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Rys. 3.

to będzie to układ następujący (rys. 4):



Rys. 4.

Układ ten jest często nazywany różnicą symetryczną i oznaczany jest jako nowy funktor (rys. 5):

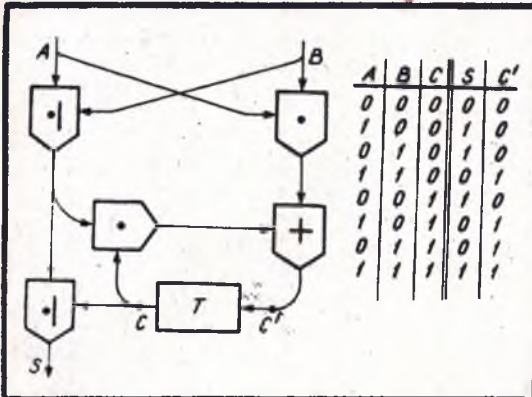


Rys. 5.

Podamy jeszcze układ sumatora wartości bezwzględnych dwóch liczb, zbudowany na powyższych funktorach z dołączeniem funktora różnicy symetrycznej (rys. 6).

Łatwo sprawdzić, że jeżeli na wejściach A i B będą pojawiać się synchronicznie impulsy w odstępach czasu T (przedstawiające kolejne cyfry liczb, począwszy od najmniej znaczących z podanego wyżej przykładu dodawania liczb dwójkowych) wówczas na wyjściu pojawią się impulsy przedstawiające sumę tych liczb. Pozostawiamy dociekliwemu czytelnikowi sprawdzenie schematu sumatora dla dodawania dowolnych dwóch innych liczb dwójkowych. Warto zaznaczyć, że impulsy pojawiające się w punkcie C powyższego sumatora przedstawiają powstające przy dodawaniu przeniesienia z pozycji niższych na wyższe. Obok schematu sumatora podana jest jego tabliczka zero-jedynkowa.

Rys. 6.



Przedstawiony sumator jest przykładem syntezy elementarnych układów podstawowych w większe sieci obliczeniowe. Należy podkreślić, że z podanych funktorów nie wszystkie są łatwe do realizacji technicznej.

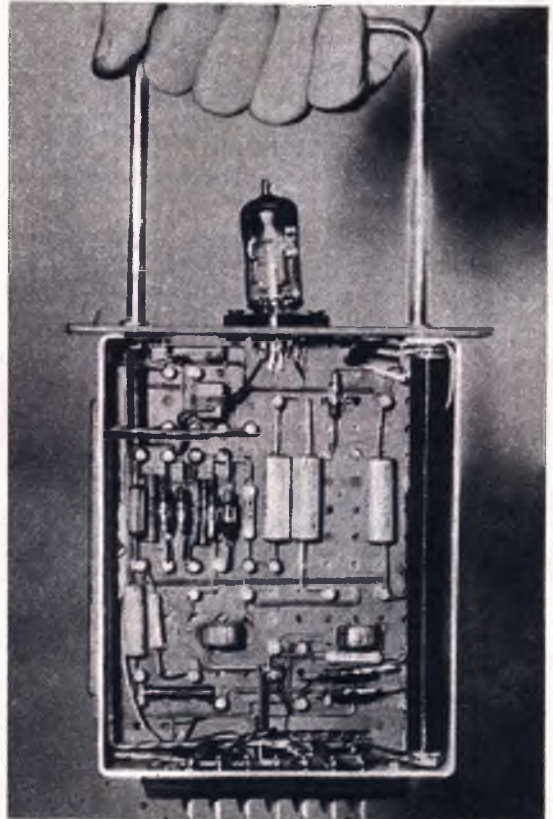
W maszynie XYZ prócz funktorów sumy i iloczynu logicznego, realizowanych przy pomocy transformatorów wysokiej częstotliwości i diod germanowych, dużą rolę odgrywa układ przerzutnika dynamicznego, którym w wielu skomplikowanych układach można zastępować funktor negacji i linię opóźniającą o 1 T.

Przerzutnik jest układem lampowym, posiadającym dwa stany równowagi elektrycznej. W jednym z tych stanów wysyła impulsy co okres T, w drugim nie wysyła impulsów. Pojawienie się impulsu na jednym z dwu wejść przerzutnika decyduje o jego przejściu w jeden z dwu stanów równowagi. Przerzutnik może być również użyty jako układ pamiętający jeden bit (wysyła impulsy lub nie, czyli pamięta, czy na danym wejściu pojawił się impuls, czy też się nie pojawił). Na fot. 3 przedstawiony jest jeden element wtykowy maszyny, składający się z dwóch przerzutników oraz z kilku transformatorów z diodami, które mogą być łączone w funktory sumy i iloczynu logicznego. W podobne elementy wtykowe są zmontowane prócz przerzutników także generatory impulsów, wzmacniacze itd. Elementy te są to właśnie cegielki, z których zbudowana jest maszyna.

Występują one, jak widać z fot. 1, w dużych ilościach w maszynie. Taka budowa maszyny pozwala na szybką wymianę elementów uszkodzonych.

Nie wszystkie zespoły maszyny składają się całko-

Fot. 3. Pojedynczy element wtykowy, w którym są zamontowane 2 przerzutniki (każdy przerzutnik pracuje na połowie lampy). Na zdjęciu widoczny montaż jednego przerzutnika po jednej stronie płytki montażowej



wicie z wymienionych wyżej elementów. Niektóre z nich, zwłaszcza pamięć i układy wejściowo-wyjściowe, są zbudowane inaczej.

Główną częścią „wejścia i wyjścia” maszyny jest tzw. reproducer. Jest to urządzenie zamieniające informacje dostarczone maszynie w postaci kart odpowiednio dziurkowanych na impulsy elektryczne i odwrotnie — impulsy elektryczne na dziurki w takich kartach. Informacje są wprowadzane z wejścia do pamięci maszyny. Prócz tego na reproducerze można „powielać” karty dziurkowane z zapisanymi na nich informacjami.

Maszyna XYZ posiada dwa rodzaje pamięci:

1. szybką pamięć ręciovą,
2. wolną pamięć bębnową.

Wiemy już, że elementem pamiętającym może być np. przernutnik, ale może on zapamiętać tylko jeden znak, a więc na zapamiętanie jednej liczby 36-znakowej trzeba 36 przernutników. Maszyna o tak zbudowanej pamięci byłaby olbrzymia i oczywiście bardzo kosztowna. Pamięć na rurah ręciovych jest znacznie ekonomiczniejsza. Zasada działania takiej pamięci jest następująca: rura stalowa, wypełniona ręciovą, jest z obu stron zamknięta odpowiednio wyciętymi, cienkimi (ok. 0,2 mm) płytkami kwarcowymi mającymi tę własność, że przyłożone do nich napięcie elektryczne powoduje ich odkształcenie, a odkształcenie mechaniczne płytek powoduje powstanie na nich napięcia elektrycznego (efekt piezoelektryczny). Jeśli na jednym z kwarców pojawia się impuls elektryczny, to zacznie on drgać w takt tych impulsów i spowoduje powstanie drgań również w ręciovie. Powstałe w ten sposób fale będą się rozchodzić w rurze wypełnionej ręciovą z prędkością ok. 1,5 km/sek. i po dojściu do drugiego końca spowodują drgania mechaniczne drugiej płytki kwarcowej, które zostaną zamienione na słabe impulsy elektryczne. W ten sposób na wyjściu rury otrzymamy impulsy opóźnione w stosunku do wejściowych. Jeżeli te wyjściowe impulsy zostaną odpowiednio wzmożone, czyli będzie przywrócone ich właściwy kształt i następnie zostaną wprowadzone na wejście rury, to mogą one w niej krążyć dowolnie długo. W ten sposób rura w zależności od swojej długości może zapamiętać pewną ilość bitów. Maszyna XYZ posiada 32 rury ręciovie długości 1,2 m, a więc opóźniające impulsy o około 800 usek., co pozwala na zapamiętanie  $32 \times 16$  liczb 36-bitowych (jak podano już poprzednio, na przesłanie jednej liczby trzeba około 50 usek.). Tak więc pojemność pamięci ręcioviej wynosi  $32 \times 16 = 512$  liczb 36-bitowych.

Z podanego opisu wynika, że w danej chwili można pobrać tylko jedną liczbę wychodzącą właśnie z rury. Aby pobrać liczbę nam potrzebną, przeważnie trzeba na nią czekać. Przeciętny czas oczekiwania wynosi 400 usek. (połowa czasu potrzebnego na przejście impulsu wzdłuż całej rury). Czas ten ma decydujący wpływ na długość operacji, jednak skracanie rur i danie większej ich ilości byłoby zbyt kosztowne.

Pamięć ręciovą jest pamięcią stosunkowo szybką. Znacznie wolniejszą, ale za to bardziej pojemną jest pamięć na bębnie magnetycznym. Pamięć magnetyczna w maszynie XYZ jest zbudowana w sposób następujący: Walec metalowy, którego powierzchnia pokryta jest, podobnie jak taśma magnetofonowa, tlenkami magnetycznymi, jest napędzany przy pomocy silnika elektrycznego. 64 komplety głowiczek magnetofonowych zapisują i odczytują impulsy elektryczne wzdłuż tzw. ścieżek. Każda głowiczka zapisuje 128 liczb. W ten sposób na całym bębnie można równocześnie zapisać  $64 \times 128 = 8192$  liczby. Jak widać, jest to pamięć o stosunkowo dużej pojemności. Ale pamięć ta jest stosunkowo wolna, gdyż aby odczytać określoną liczbę, trzeba czekać, aż liczba ta znajdzie się pod głowiczką odczytującą. Przy obrotach silnika rzędu 1500 obr./min., przeciętny czas oczekiwania równy jest 20 msek., a więc 50-krotnie dłuższy niż czas oczekiwania dla pamięci ręcioviej (20 msek. jest to czas odpowiadający połowie obrotu bębna). Aby możliwie przyspieszyć przebieg operacji, przesyła się zwykle między pamięcią ręciovą a bębnową większą ilość



Fot. 4. 16 liczb zero-jedynkowych, pamiętanych w jednej z rur ręciovych, widocznych na ekranie synchroskopu pulpitu manipulacyjnego (każda z liczb składa się z 36 znaków).

liczb bezpośrednio po sobie, co przy odpowiednim rozmieszczeniu tych liczb w pamięci bębnowej pozwala na wielokrotne zwiększenie prędkości przesyłania. Tak więc w operacjach wykonywanych przez maszynę biorą zwykle udział liczby zawarte w pamięci ręcioviej, do której co pewien czas zostaje przesłana partia nowych liczb z pamięci bębnowej.

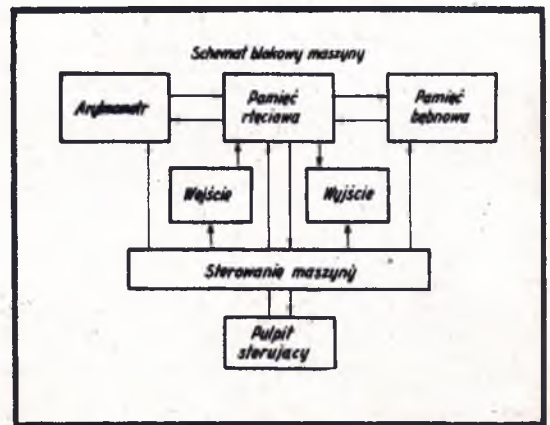
Operacje wykonywane są w maszynie w części zwanej arytmometrem. W skład arytmometru wchodzi krótkie rurki ręciovie, pamiętające po jednej liczbie. Na tych liczbach w specjalnych układach obliczeniowych wykonywane są operacje, których wyniki mogą być przesłane do pamięci lub wykorzystywane do dalszych działań.

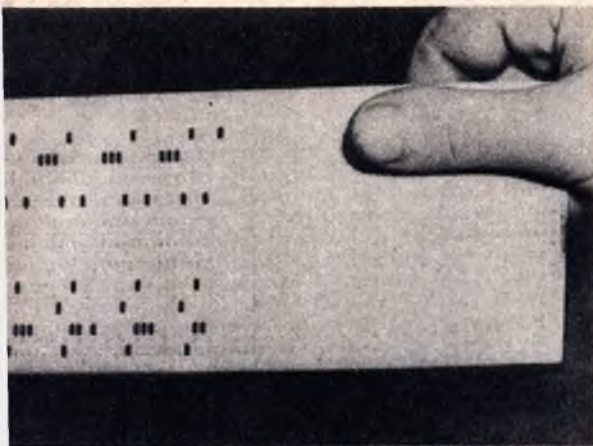
Kolejnością wykonywanych operacji rządzi zespół sterowania maszyny zawierający tzw. rejestry sterowania i sieć sterującą. Zespół sterowania kieruje zarówno wykonywaniem poszczególnych operacji, jak i kolejnością ich wykonywania.

Do kierowania maszyną z zewnątrz i kontroli pracy maszyny służy pulpit manipulacyjno-kontrolny (fot. 4). Posiada on szereg przełączników do kierowania pracą maszyny i wskaźniki sygnalizujące aktualny stan różnych części maszyny. Tak np. na jednej z lamp oscyloskopowych można zobaczyć zawartość dowolnie wybranej rury ręcioviej. Fot. 4 przedstawia właśnie 16 liczb 36-bitowych zawartych w jednej z rur ręciovych.

Wzajemną współpracę poszczególnych zespołów maszyny XYZ można przedstawić poniższym schematem blokowym (rys. 7).

Rys. 7.





Fot. 5. Karta dziurkowana służąca do wprowadzania danych do maszyny. Na takich samych kartach otrzymuje się wyniki obliczeń wykonanych w maszynie

### Programowanie maszyn cyfrowych

Jak było powiedziane we wstępie, programowaniem nazywamy układanie listy najprostszyc czynności (tzw. „rozkazów”), które maszyna musi wykonać kolejno po sobie w celu rozwiązania danego problemu. Kolejność wykonywania tych działań określa ją tak zwane rozkazy organizacyjne maszyny. Tak ułożona lista jest następnie przetłumaczona na „język maszyny”; w języku tym lista ta oraz dane liczbowe stanowią szereg kart, w których na odpowiednich miejscach są wycięte prostokątne otwory. Na fot. 5 widzimy przykład takiej karty. Jak było powiedziane poprzednio, informacje zawarte na kartach zostają „zamienione” na układ następujących kolejno po sobie impulsów elektrycznych.

Przystępując do programowania danego problemu, musimy ułożyć najpierw programy stosunkowo prostych działań, ale już nie objętych pojedynczymi rozkazami. Takie programy wystarczy utworzyć jednoznaczowo — zostają one bowiem utrwalone na kartach dziurkowanych i w razie potrzeby można je kilkakrotnie wprowadzać do maszyny, przy rozwiązywaniu różnorodnych problemów. Jako przykład takiego programu może służyć np. program wyciągania pierwiastka kwadratowego z danej liczby. Aby wyciągnąć pierwiastek z danej liczby  $b$ , zawartej między zerem a jednością, możemy stosować następujący wzór:

$$x_n = x_{n-1} + \frac{1}{2} \left( \frac{b}{x_{n-1}} - x_{n-1} \right)$$

Wzór ten pozwala z dowolną dokładnością obliczać pierwiastek. Jako wartość początkową  $x_0$  przyjmujemy zazwyczaj  $b/2 + 1/2$ . Stosując wzór po raz pierwszy, otrzymujemy liczbę  $x_1$ , będącą przybliżeniem pierwiastka z  $b$ . Korzystając z wzoru po raz drugi i przyjmując w nim  $x_1$  jako  $x_{n-1}$ , uzyskujemy liczbę  $x_2$  będącą już lepszym przybliżeniem. Postępując tak w dalszym ciągu możemy otrzymać liczbę  $x$ , dowolnie bliską szukanego pierwiastka. Miarą przybliżenia jest wielkość  $1/2 (b/x - x)$ . Stosując powyższy wzór około 5—6 razy, uzyskujemy dokładność do 11 znaków dziesiętnych.

Dla przykładu podajemy tzw. sieć działań, wskazującą kolejność wykonywania obliczeń w celu znalezienia pierwiastka kwadratowego z daną dokładnością, np. 0,000 000 001 =  $10^{-9}$  (rys. 8).

Rysunek ten należy rozumieć następująco. Obliczenia należy wykonywać, rozpoczynając od znaku P, idąc w kierunku strzałek łączących prostokąty. Wzory i strzałki wewnątrz prostokątów określają:

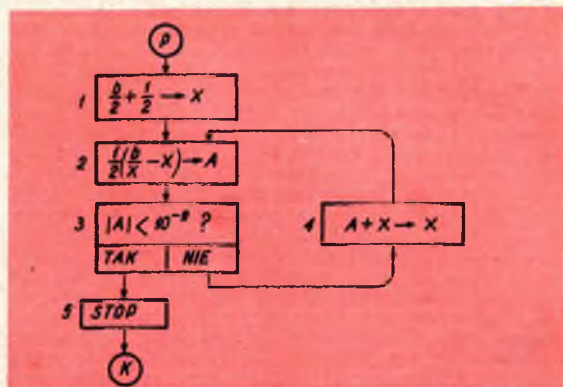
1. jakie działanie należy wykonać,
  2. gdzie należy zapisać wynik.
- Na przykład, prostokąt 1 wskazuje na konieczność wykonania następujących działań:

1.  $b$  podzielić przez 2,
  2. do otrzymanego wyniku dodać  $1/2$ ,
  3. rezultat zapisz w miejscu pamięci  $x$ .
- prostokąt 4 zaś mówi o czynnościach następujących:
1. do  $A$  dodaj  $x$ ,
  2. wynik zapisz w miejscu pamięci  $x$ .

Miejsca pamięci oznaczamy tutaj tymi samymi symbolami, co liczby. Prostokąt 3 wskazuje, jak należy postępować w zależności od wielkości liczby  $A$ , stanowiącej miarę przybliżenia \*).

Po nakreśleniu takiej sieci działań można przystąpić do układania listy rozkazów. Rozkazy mają postać taką, jaka została podana powyżej, np. „ $b$  podzielić przez 2”.

Gdy mamy ułożone i utrwalone na kartach takie programy, jak program  $\sqrt{x}$ ,  $\sin x$ ,  $\cos x$ ,  $\log x$ ,  $10^x$



Rys. 8.

itp., możemy budować już bardziej skomplikowane programy. W ten sposób rozkazy stanowią coś w rodzaju cegiełek, z których budujemy już bardziej złożone elementy — programy wymienione powyżej, a następnie z tych elementów składamy cały gmach złożonego programu. Przeciętna długość programu (czyli ilość rozkazów wchodzących w jego skład) waha się w granicach 20—500, w zależności od stopnia złożoności problemu.

Posiadając napisany i wydziurkowany na kartach program, wprowadzamy go wraz z danymi liczbowymi do pamięci maszyny i uruchamiamy maszynę. Po pewnym czasie w urządzeniu wyjściowym otrzymujemy wyniki. W razie potrzeby można ingerować w pracę maszyny przy pomocy pulpitu operacyjnego — np. zatrzymać maszynę w pewnym momencie i obejrzeć na ekranie lampy oscyloskopowej wyniki pośrednie obliczeń, oczywiście w układzie dwójkowym.

### Zakończenie

Na zakończenie podamy kilka faktów historycznych. Koncepcję automatycznej maszyny cyfrowej wysunął po raz pierwszy matematyk angielski Babbage przeszło sto lat temu. Jednakże pierwszą maszyną tego typu była dopiero maszyna MARK I zbudowana około 15 lat temu w USA. Była to maszyna elektromechaniczna. Pierwszą elektroniczną maszyną cyfrową była głośna maszyna ENIAC, zbudowana również w USA. Maszyna ta zapoczątkowała ogromny rozwój budowy maszyn cyfrowych na całym świecie. XYZ zapoczątkowała historię tego rodzaju maszyn w Polsce.

\* ) To znaczy: jeśli  $(A)$  jest mniejsze od  $10^{-9}$ , idź drogą, którą wskazuje strzałka „Tak”. Jeśli  $(A)$  nie jest mniejsze od  $10^{-9}$ , idź drogą, jaką wskazuje strzałka „Nie”.