

Elektrony liczą...

ADAM EMPACHER
GERARD KUDELSKI

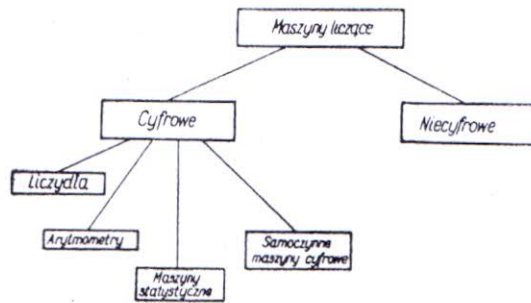
OD NAJDAWNIEJSZYCH czasów ludzie dążyli do ułatwienia sobie rachunków. Z początku liczone za pomocą palców, kamieni lub muszli. Pierwszą wzmiankę o liczydłach podaje historyk grecki Herodot (V w. przed naszą erą), a dopiero Pascal (XVII w.) podał pierwszy projekt mechanicznej maszyny do liczenia, którą potem udoskonalił Leibnitz. Z Polaków wymienić należy utalentowanego samouka Abrahama Sterna z Hrubieszowa jako wynalazcę maszyny rachunkowej. Również wybitny matematyk, Zmurko, opracował przyrząd obliczający całki, czyli tzw. integrator, który spopularyzowany został później przez Abdank-Abakanowicza, znanego matematyka polskiego z przełomu XIX i XX wieku.

Obecnie zastosowanie mechanicznych maszyn do liczenia jest tak rozpowszechnione, że każdy mniej więcej zdaje sobie sprawę z ich użyteczności. Maszyny te mają klawiaturę do wprowadzania liczb i różne operacyjne guziki do nastawiania operacji na tych liczbach. Pracując na nich, rachmistrz odczytuje z formularza liczby, na których ma wykonać operację i wprowadza je do maszyny, a następnie odczytuje wynik i zapisuje go na formularzu. Przenoszenie liczb

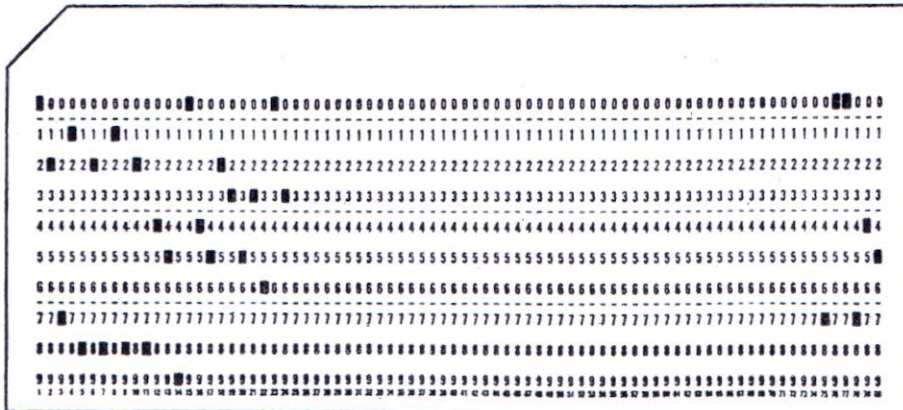
z formularza do maszyny i wyniku z maszyny na formularz nie jest pracą tak uciążliwą i wyczerpującą jak wykonywanie tych samych operacji arytmetycznych tylko na samym papierze przez rachmistrza. Mechaniczne maszyny do liczenia przyspieszają proces wykonywania operacji arytmetycznych (dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia), ale nie zapobiegają możliwości powstawania błędów podczas przenoszenia wyników pośrednich z maszyny na formularz i odwrotnie. Pierwszą maszynę, która by te błędy eliminowała zaprojektował około 1838 roku Charles Babbage. Jego maszyna mogła posiadać oprócz urządzenia liczącego urządzenie pamiętające 1000 pięćdziesięciocyfrowych wyników pośrednich oraz urządzenie do kontrolowania następstwa działań i selekcji liczb w urządzeniu pamiętającym. Pierwsze maszyny samoczynnie liczące zbudowano w związku

z potrzebami buchalterii i statystyki. Były to maszyny elektromagnetyczne, przystosowane do wykonywania większej ilości niezbyt skomplikowanych operacji. Liczby oraz operacje, jakie na tych liczbach należy wykonać, przenosi się z oryginalnych dokumentów na karty dziurkowane, następnie przeprowadza się odpowiednią segregację kart w żądanych przekrojach oraz sporządza zestawienia zbiorcze i uzyskuje potrzebne wyniki końcowe.

Najważniejszą korzyść, jaką daje system kart dziurkowanych polega na tym, że przez przeniesienie danych na kartę dziurkowaną otrzymujemy wzorzec, który możemy wykorzystywać przy wszystkich dalszych pracach rachunkowych. Odpada przy tym konieczność wielokrotnego przepisywania dokumentów, stanowiąca często przyczynę błędów, oraz powstają nieograniczone możliwości dalszego opracowywania raz już wydrukowanych kart również do innych celów, co poprzednio przy pracy ręcznej było zwykle niewykonalne ze względu na olbrzymią stratę czasu.



Rys. 1 (z prawej). Podział maszyn liczących. Rys. 2 (u dołu). Karta dziurkowana (Hollerith)

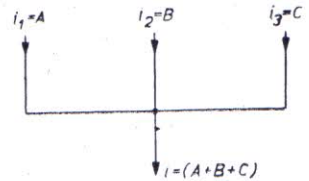


W ostatnich latach szybki rozwój techniki elektro- nowej otworzył nowe perspektywy przed dalszą auto- matyzacją rachunków. Budowa maszyn, które liczą wyłącznie w oparciu o przebiegi prądu elektrycznego, pozwala na osiągnięcie olbrzymiej szybkości wykony- wania poszczególnych operacji i na prowadzenie ra- chunków, które były nierozwiązalne z punktu widze- nia metod klasycznych.

Budowa tych maszyn poszła w dwóch zasadniczych kierunkach. Pierwszy — to maszyny liczące przez realizację elektryczną. Zasada działania tych maszyn oparta jest na łączeniu obwodów elektrycznych, które realizują potrzebne do obliczenia zależności, np. do uzyskania sumy $A+B+C$ można dołączyć do wspól- nego węzła przewody, w których płynie prąd o nate- żeniu równym odpowiednio A , B i C amperów (rys. 3).

Natężenie na wyjściu jest równe w myśl prawa Kirchhofa szukanej sumie wyrażonej w amperach. Budując bardziej skomplikowane układy elektryczne mamy możliwość otrzymania za ich pomocą najrozmai- tszych zależności. Należy jednak zauważyć, że do-

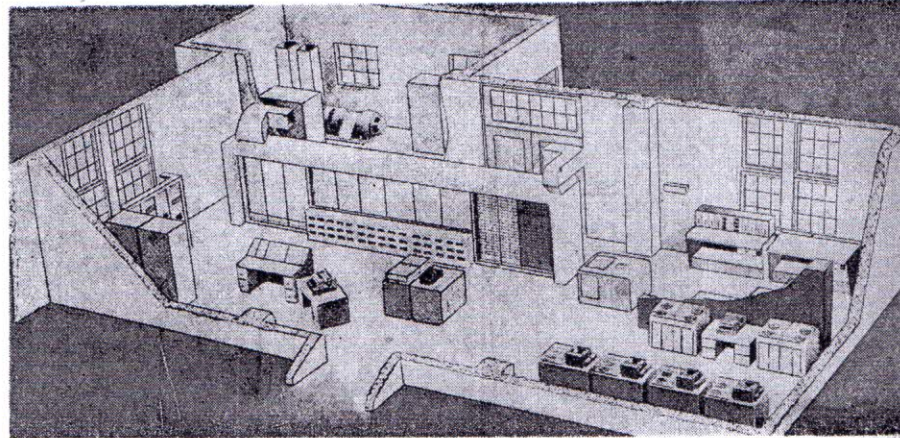
Rys. 3.do uzyskania su- my $A+B+C$ można dołą- czyć do wspólnego węzła przewody, w których pły- nie prąd o nateżeniu rów- nym odpowiednio A , B i C amperów...



których w tej chwili nikt na świecie nie jest w stanie rozwiązać, chociaż znane są metody rozwiązywania, gdyż nawet przy użyciu najszybciej liczących maszyn samoczynnych czas rozwiązywania wyniósłby wiele lat (!). Czas, jaki potrzebowałby zwykły rachmistrz na wykonanie tych obliczeń, wyraża się wprost astro- nomiczną liczbą lat.

Zanim omówimy wszechstronne, a niekiedy wprost zaskakujące zastosowania tych maszyn, postaramy się przedstawić czytelnikom pewne szczegóły ich budowy. Ze względu na charakter artykułu nie możemy się w nie zbyt głęboko zagłębiać. Dokładny opis tych maszyn

Rys. 4. NAREC — amerykańska elektronowa maszyna samoczynnie licząca; widok ogólny. Widoczna olbrzymia szafa zawierająca wszystkie elektronowe urządzenia maszyny: trzy seg- menty po lewej zawierają organy sterujące; sześć segmentów środkowych zawiera arytmometr, następnie dwa segmenty zawierają elek- tronowe urządzenia wejścia, wreszcie ostatni segment z prawej zawiera elektronowe urzą- dzenie wyjścia. Pamięć maszyny znajduje się u dołu szafy głównej. W lewym rogu pokoju pod oknem widać stojaki z przyrządami kontrolny- mi, nieco dalej w prawo znajduje się biurko kontrolne z charakterystycznie podniesionym pulpitem. Z tyłu za szafą główną widać wenty- latory elektryczne do chłodzenia lamp szafy głównej. Obok biurka kontrolnego widać biurko wyjściowe z elektryczną maszyną do pisania wyników, trochę dalej w prawo widać urzą- dzenia mechaniczne wejścia. Pozostałe urządzenia pokoju z prawej strony pełnią funkcję pomoc- niczą: aparaty do sprawdzania i reprodukowa- nia programów oraz szafki do przechowywania programów. Olbrzymie postępy mikrotechniki, jakie dokonały się w ostatnich latach (tran- zystory), pozwolą na kilkudziesięciokrotne zmniejszenie wymiarów maszyn elektronowych



kładność otrzymana za pomocą tego rodzaju urządzeń jest ograniczona małą stosunkowo dokładnością przy- rządów pomiarowych oraz elementów układu i waha się przeciętnie w procentach od dziesiątych części do kilku procent.

Drugi kierunek reprezentują maszyny cyfrowe. Wśród nich najbardziej frapujące są chyba tzw. samo- czynne uniwersalne maszyny cyfrowe. Noszą one nazwę uniwersalnych, ponieważ mogą być używane do rozwiązywania najróżnorodniejszych problemów matematycznych. Przymiotnik „samoczynne“ zaw- dzięczają temu, że w czasie samej ich pracy udział człowieka jest absolutnie zbyteczny, bowiem maszy- ny wykonują samoczynnie kolejne rozkazy programu. Rola obsługującego maszynę samoczynną sprowadza się do włożenia do niej odpowiednio ułożonego pro- gramu, dotyczącego rozwiązania danego zagadnienia w danych liczbowych i do naciśnięcia guzika uru- chamiającego. Teraz można sobie usiąść wygodnie w fotelu, popijać czarną kawę i czytać książkę. Kie- dy maszyna skończy liczyć, sama o tym zasygnalizu- je, a wynik zostanie wydrukowany na papierze.

Bardzo często po naciśnięciu guzika uruchamiające- go nie mielibyśmy nawet czasu na wypicie kawy. Współczesne maszyny elektronowe potrafią bowiem w ciągu sekundy wykonać kilkanaście tysięcy, a na- wet więcej działań. Jedną z najszybszych w tej chwili na świecie elektronowych maszyn do liczenia WHIRL- WIND I potrafi np. w ciągu sekundy dodać do 100 tysięcy kilkucyfrowych liczb. Są jednak problemy tak poważne, że nawet te fenomenalnie szybkie maszyny, liczące przeciętnie kilkanaście tysięcy razy szybciej od człowieka, rozwiązują je godzinami; nauka i tech- nika stawia czasem problemy jeszcze poważniejsze,

i wyjaśnienie sposobu ich działania zajęłoby kilka bardzo grubych tomów.

Z tych więc względów wiele fragmentów omawia- nych maszyn przedstawiono w sposób bardzo uprosz- czony, niemniej tak, aby ich istotne cechy zostały uwidocznione.

Podstawowe części maszyn samoczynnych

W każdym procesie dłuższego rachowania, poza wy- konywaniem samych tylko działań na liczbach, wy- stępują również takie czynności, jak odczytywanie i zapisywanie danych początkowych, odczytywanie i zapisywanie wyników częściowych, wreszcie odczy- tywanie instrukcji, według której przeprowadzamy obliczenia. W maszynach samoczynnych wystąpią więc urządzenia, które będą wykonywać czynności analog- iczne do poprzednio podanych:

- **WEJŚCIE** — jest to urządzenie, przez które wpro- wadzamy do maszyny dane począt- kowe i rozkazy programu;
- **PAMIĘĆ** — jest to urządzenie, które przechowu- je dane początkowe, rozkazy i wy- niki pośrednie obliczeń;
- **ARYTMOMETR** — jest to urządzenie, które wykonuje w maszynie samoczynnej działania;
- **STEROWANIE** — jest to urządzenie, które kieruje procesem liczenia, wykonując kolej- ne rozkazy programu;
- **WYJŚCIE** — jest to urządzenie, przez które wy- prowadzamy z maszyny wyniki na zewnątrz, np. przez wydrukowanie.

Do tego dochodzą jeszcze rozmaite urządzenia pomocnicze, jak zasilanie, chłodzenie (w maszynach elektronicznych), rozmaite urządzenia kontrolne itp. Ogólny widok typowej maszyny elektronicznej podaje rys. 4, gdzie zaznaczono podstawowe części maszyny samoczynnej.

Jak liczy maszyna?

Jak już wspomniano, całością pracy maszyny kieruje urządzenie sterujące, które odczytuje z pamięci kolejne rozkazy programu, a następnie je wykonuje. Pamięć maszyny możemy sobie wyobrazić jako szereg ponumerowanych szufladek, o następujących właściwościach:

- do każdej szufladki możemy włożyć jedną liczbę, np. 20-cyfrową;
- mamy możliwość zobaczenia (odczytania) jaka liczba znajduje się w danej szufladce;
- liczba znajdująca się w szufladce ulega skasowaniu wtedy, i tylko wtedy, kiedy do szufladki włożymy nową liczbę, czyli mówiąc obrazowo — nowa liczba wyrzuca starą.

Nr szufladki	Zawartość szufladki
0	rozkaz: liczbę odczytaną z szufladki 2 dodaj do liczby odczytanej z szufladki 1, wynik włoż do szufladki 1, a następny rozkaz odczytaj z szufladki 1003
1	liczba: a_1
2	liczba: a_2
3	liczba: a_3
4	liczba: a_4
...	...
998	liczba: a_{998}
999	liczba: a_{999}
1000	liczba: a_{1000}
1001	liczba: 1
1002	liczba: 1000
1003	rozkaz: do liczby odczytanej z szufladki 1001 dodaj jedność, wynik włoż do szufladki 1001, a następny rozkaz odczytaj z szufladki 1004
1004	rozkaz: jeżeli liczba odczytana z szufladki 1001 jest równa liczbie odczytanej z szufladki 1002, to następny rozkaz odczytaj z szufladki 1006, w przeciwnym przypadku następny rozkaz odczytaj z szufladki 1005
1005	rozkaz: w rozkazie znajdującym się w szufladce 0 do numeru szufladki, w której znajduje się pierwsza liczba dodaj jedność, wynik włoż do szufladki 0, a następny rozkaz odczytaj z szufladki 0
1006	rozkaz: liczbę odczytaną z szufladki 1 podziel przez liczbę odczytaną z szufladki 1002, wynik wydrukuj na wyjściu, zatrzymaj maszynę i podaj sygnał ukończenia liczenia

Stroną techniczną pamięci zajmiemy się w dalszej części artykułu; teraz wyjaśnimy bliżej rolę pamięci w masynie i pokażemy jak się z niej korzysta przy rachowaniu. Rozkazy w masynie są zaszyfrowane za pomocą liczb i w tej postaci są przechowywane w pamięci. Sposoby szyfrowania rozkazów wykraczają niestety poza ramy artykułu.

Z rozkazów można ułożyć programy służące do rozwiązywania nawet najbardziej skomplikowanych (ale możliwych do rozwiązania) problemów. Tabela z lewej strony podaje przykładowy program obliczenia średniej arytmetycznej tysiąca liczb:

$$S = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_{999} + a_{1000}}{1000}$$

Jeżeli chcemy teraz, żeby maszyna wykonała ten program, należy go zaszyfrować według specjalnych kodów, a następnie wprowadzić przez wejście do maszyny i nacisnąć guzik uruchamiający. Teraz maszyna jako pierwszy rozkaz wykona rozkaz 0 (znajdujący się w szufladce 0). Po jego wykonaniu w szufladce 1 otrzymamy sumę $a_1 + a_2$. Następnie maszyna wykona rozkaz 1003. Po jego wykonaniu w szufladce 1001 otrzymamy liczbę 2, tzn. ilość dodanych dotychczas liczb. Wykonując rozkaz 1004 maszyna „przekona się”, że dodaliśmy dopiero dwie liczby, a nie wszystkie; rozkaz 1005 spowoduje tzw. „przeadresowanie” rozkazu 0, w wyniku czego uzyska on brzmienie: „liczbę odczytaną z szufladki 3 dodaj do liczby odczytanej z szufladki 1, wynik prześlij itd.”. Po czym maszyna wykona dopiero co przeadresowany rozkaz 0, powodując otrzymanie w szufladce 1 sumy $a_1 + a_2 + a_3$. Następnie maszyna wykona rozkaz 1003, w wyniku czego w szufladce 1001 otrzymamy liczbę 3, tzn. ilość dotychczas dodanych liczb. Następnie maszyna „przekona się”, wykonując rozkaz 1004, że dodano jeszcze za mało liczb, wobec czego przeadresuje rozkaz 0 itd. itd.

Maszyna będzie tak postępować cyklicznie, póki w szufladce 1001 nie znajdzie się liczba 1000, co nastąpi wtedy, kiedy maszyna doda do siebie wszystkie liczby, których średnią chcemy obliczyć. Teraz wykonując rozkaz 1004 maszyna „przekona się”, że dodano wszystkie liczby, zatem ich sumę znajdującą się w szufladce 1 podzieli przez liczbę 1000 znajdującą się w szufladce 1002 otrzymując w ten sposób szukaną średnią S , którą wydrukuje na wyjściu, zatrzyma się i zapali np. lampkę sygnalizującą ukończenie pracy.

Nie należy sądzić, że istniejące maszyny wykonują pracę według programów dokładnie takich jak podany wyżej. Program podany jest olbrzymim uproszczeniem rzeczywistego programu, zawiera jednak większość jego istotnych cech.

Ogólny schemat organizacji maszyny samoczynnej

Organizacja procesu rachowania w maszynie samoczynnej przypomina biuro obliczeniowe, w którym do okienka przyjmującego zlecenia dostarcza się dane początkowe i instrukcje do rozwiązania danego problemu, które się zamyka do archiwum — pamięci. Z tego archiwum korzysta dyrektor biura, czytając poszczególne punkty instrukcji — rozkazy i wysyłając do poszczególnych oddziałów biura sygnały żądające wykonania takich to a takich czynności. Po wykonaniu zadania dyrektor daje sygnał wydania wyniku przez okienko wyjściowe.

Bardziej szczegółowy schemat organizacyjny maszyny samoczynnej omówimy po bliższym zapoznaniu się z działaniem poszczególnych części maszyny i ich techniczną realizacją.

Ogólne uwagi o realizacji praktycznej

Obecnie budowane maszyny samoczynne są konstrukcjami elektronicznymi albo przekąźnikowymi, w których mechanizmy grają rolę jedynie pomocniczą. Pracują one na ogół w układzie dwójkowym, co jednak nie jest wyłączną regułą, bowiem np. słynny

ENIAC pracował w układzie dziesiątkowym. Układ, w jakim maszyna pracuje, w zasadzie nie ma zbyt wielkiego znaczenia dla obsługi, gdyż dane dla maszyny podaje się na ogół w układzie dziesiątkowym, a maszyna sama je transponuje na układ dwójkowy. Układ w jakim maszyna pracuje ma natomiast znaczenie dla konstruktorów, ze względu na sposoby jej realizacji. Z braku miejsca ograniczymy się wyłącznie do maszyn pracujących w układzie dwójkowym.

W maszynach przekąźnikowych i elektronowych poszczególnym cyfrom odpowiadają przebiegi elektryczne. Należy zdać sobie wyraźnie sprawę z tego, że nie ma żelaznych reguł co do interpretacji cyfr w maszynie. I tak w jednym miejscu maszyny możemy zero interpretować jako brak prądu, a jedynkę jako impuls (obojętnego znaku), w innym miejscu możemy zero interpretować jako impuls ujemny, a jedynkę jako impuls dodatni, a w jeszcze innym miejscu możemy interpretować zero jako pewien potencjał (np. 100 V), a jedność jako potencjał wyższy od po-

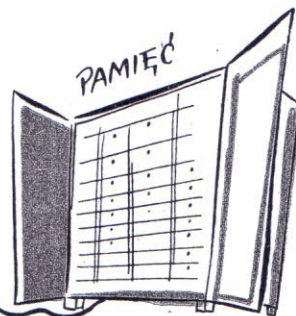
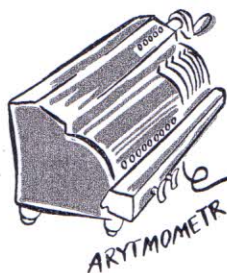
sięcy takich przekąźników oraz dodatkowe elementy (kondensatory, opory itd.). Działanie maszyn przekąźnikowych jest tysiące razy wolniejsze od działania maszyn elektronowych. Budowa niektórych fragmentów maszyn przekąźnikowych jest łatwiejsza od wytłumaczenia niż budowa analogicznych fragmentów maszyn elektronowych, z braku miejsca ograniczymy się jednakże tylko do pokazania schematu uproszczonego sumatora, o czym dalej.

Zajmiemy się teraz maszynami elektronowymi. Podstawowym ich elementem są lampy elektronowe, których przeciętna maszyna elektronowa zawiera kilka tysięcy. Większość układów maszyn elektronowych da się w zasadzie zbudować z odpowiednio skombinowanych z sobą tzw. bramek i przerzutników. Z bramek wymienimy dwie najważniejsze: bramki typu „lub” oraz bramki typu „i”.

W bramce typu „lub” (rys. 7) impuls (ujemny) pojawi się na wyjściu W kiedy przyłożymy impuls (ujemny), albo na jedno z wejść a lub b, albo też



STEROWANIE



tencjału interpretowanego jako zero (np. 200 V). Można też użyć takiej interpretacji: mamy dwa przewody a i b; jeżeli przewodem a płynie prąd, a przewodem b prąd nie płynie, to jest zero, a jeżeli przewodem a nie płynie prąd, a przewodem b płynie, to jest jeden. Ważne jest tylko to, by cyfry dwójkowe były podawane za pomocą dwu różnych stanów elektrycznych.

W maszynach samoczynnych ważną rolę odgrywa przesyłanie liczb. Liczby możemy przysyłać w dwojaki sposób: równoległe albo szeregowe. Przy przesyłaniu równoległym przesyłamy jednocześnie wszystkie cyfry danej liczby, każdą cyfrę osobnym przewodem. Przy przesyłaniu szeregowym przesyłamy wszystkie cyfry danej liczby, kolejno jedna za drugą po tym samym przewodzie. Maszyny równoległe, szybsze od szeregowych, są jednakże bardziej kosztowne. Maszyny elektronowe buduje się i jako szeregowe i jako równoległe, natomiast maszyny przekąźnikowe buduje się wyłącznie jako równoległe, gdyż szeregowa maszyna przekąźnikowa pracowałaby mniej więcej z szybkością arytmometru mechanicznego.

Ze względu na brak miejsca maszyny przekąźnikowe omówimy marginesowo. Podstawowym elementem tych maszyn jest przekąźnik (rys. 6). Przeciętna maszyna przekąźnikowa zawiera kilka ty-

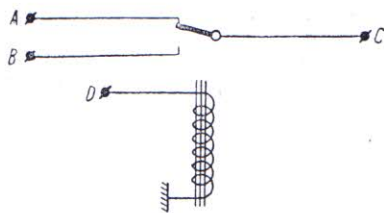
na obydwu. W bramce typu „i” (rys. 8) impuls (dodatni) pojawi się na wyjściu W wtedy i tylko wtedy, kiedy przyłożymy impuls (ujemny) jednocześnie na oba wejścia a i b.

Bardziej skomplikowanym układem jest przerzutnik (rys. 9). Układ ten posiada dwa stany ustalone, które dla prostoty oznaczymy odpowiednio przez zero i jeden. W stanie 0 na wyjściu A potencjał jest stale wyższy (wynosi np. 200 V) niż potencjał na wyjściu B (który wynosi np. 100 V). W stanie 1 sytuacja ma się odwrotnie: na wyjściu A panuje potencjał niższy niż na wyjściu B. Pod wpływem przykładanych impulsów na wejścia przerzutnik może przechodzić z jednego stanu do drugiego według reguły: jeżeli przerzutnik jest w stanie 0, to przyłożenie impulsu (ujemnego) na wejście a nie zmienia jego stanu, a przyłożenie impulsu (ujemnego) na wejście b powoduje przerzucenie przerzutnika ze stanu 0 do stanu 1. W stanie 1 przerzutnik zachowuje się symetrycznie: przyłożenie impulsu (ujemnego) na wejście b nie zmienia, a przyłożenie impulsu (ujemnego) na wejście a zmienia stan układu.

Łatwo sobie wyobrazić działanie takiego przerzutnika interpretując go jako huśtawkę (rys. 10), a przyłożenie impulsu na wejście interpretując jako wierzgnięcie nogą odpowiedniej osoby.



Rys. 5. Maszyna samoczynna jest jakby swojego rodzaju biurem obliczeniowym...



Rys. 6. Schemat przełącznika: stan styków w chwili, gdy przełącznik nie trzyma

Jeżeli np. w stanie 0 wierzgnie nogą Adaś, to huśtawka pozostanie nadal w stanie poprzednim, a jeżeli wierzgnie nogą Basia, to odbije się od ziemi i przechyli się w drugą stronę.

Wejście do maszyny

Dane dla samoczynnych maszyn cyfrowych podaje się zaszyfrowane na specjalnych taśmach papierowych w postaci dziurek, albo też zaszyfrowane w podobny sposób na specjalnych kartach papierowych (rys. 2). Dane te szyfruje się za pomocą specjalnych kodów. Na ogół maszyny samoczynne są tak budowane, że liczby na wejście podaje się w układzie dziesiętkowym, a maszyna sama je sobie przelicza do układu dwójkowego. Do szyfrowania danych służą specjalne maszyny (rys. 11). Maszyna odczytuje dziurki z taśmy albo za pomocą tzw. czujników, albo też za pomocą odpowiednich układów fotokomórek. Z punktu widzenia matematycznego działanie wejścia maszyn samoczynnych jest konstrukcyjnie stosunkowo najmniej istotne.

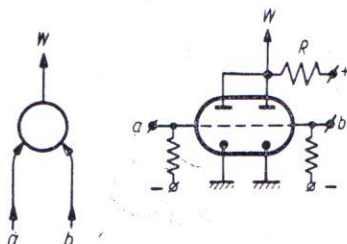
Pamięć

Ilość wszystkich szufladek pamięciowych danej maszyny nazywa się pojemnością pamięci. Pojemność pamięci maszyn samoczynnych waha się od kilkunastu do kilku tysięcy szufladek (patrz tabelka na końcu artykułu). Chcąc zapamiętać w szufladce pamięciowej liczbę, trzeba w niej zapamiętać odpowiednie stany elektryczne, które reprezentują kolejne cyfry tej liczby. Do zapamiętywania liczb używa się najrozmaitszych urządzeń elektronowych, przełącznikowych, ultradźwiękowych, magnetycznych, elektrostatycznych, dielektrycznych, magnetostrykcyjnych, chemicznych itd.

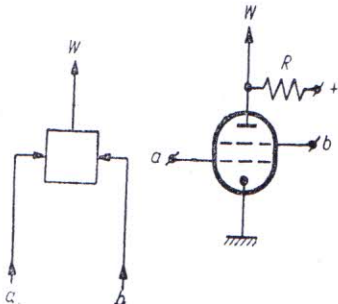
Ze względu na sposób działania, wszystkie rodzaje pamięci dają się podzielić na dwie zasadnicze grupy: pamięć statyczną i pamięć dynamiczną.

Pamięć typu statycznego można interpretować jako szafę z umieszczonymi w niej szufladkami pamięciowymi, do każdej z których mamy dostęp poprzez odpowiednie przewody zaopatrzone w zawory — bramki (rys. 12). Chcąc wprowadzić liczbę do danej szufladki pamięciowej trzeba przychodzącej liczbie otworzyć tylko odpowiednie bramki, a inne zamknąć. Np. chcąc włożyć liczbę do szufladki 3 trzeba otworzyć bramkę B_3 , a inne bramki zamknąć.

Typowymi przedstawicielami pamięci statycznej jest pamięć elektronowa i przełącznikowa. O pamięci przełącznikowej wspomniemy tylko tyle, że polega ona na „trzymaniu“ (1) albo na „nie trzymaniu“ (0) przełącznika. W pamięci elektronowej do zapamiętania liczby używa się odpowiednich układów przerzutników. Do zapamiętania jednej liczby dwójkowej 20-cyfrowej potrzeba 20 takich przerzutników, natomiast w maszynach dziesiętkowych do zapamiętania jednej liczby dziesiętkowej 10-cyfrowej potrzeba aż 100 takich przerzutników (całość układu liczby około 500 lamp). Ze zrozumiałych względów musimy się ograniczyć do pokazania układu pamiętającego jedną tylko cyfrę (rys. 12a). Układ ten zapamiętuje jedną cyfrę dwójkową



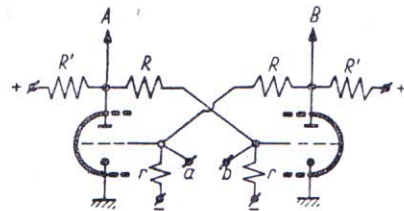
Rys. 7. Bramka typu „lub“



Rys. 8. Bramka typu „i“

przy interpretacji: zero — przyłożenie impulsu na wejście a, jeden — przyłożenie impulsu na wejście b. Jaką cyfrę układ pamięta poznajemy łatwo po jednym z wyjść. Jeżeli np. na wyjściu A jest 200 V, to układ pamięta 1, a jeżeli na wyjściu A jest tylko 100 V, to układ pamięta 0.

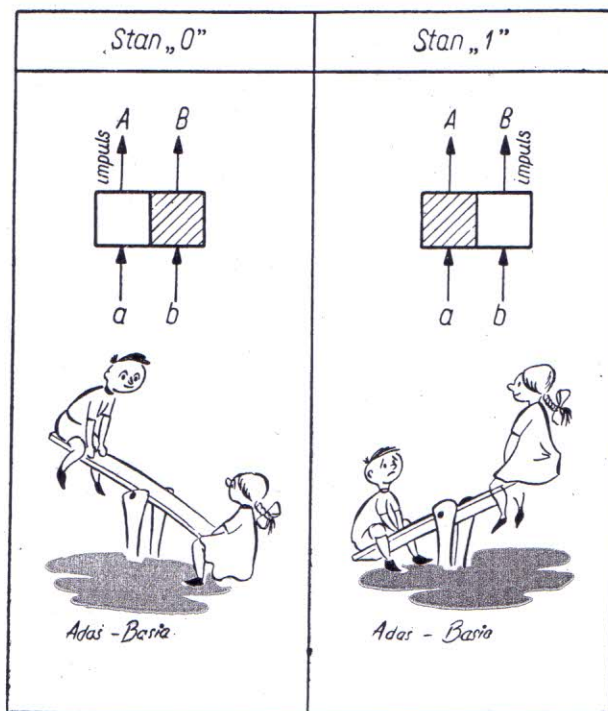
Pamięć typu dynamicznego można interpretować jako kręcącą się karuzelę z umieszczonymi na obwodzie szufladkami pamięciowymi, przy czym w danej chwili podłączeni jesteśmy tylko do jednej szufladki pamięciowej (tej, która właśnie obok nas przejeżdża).



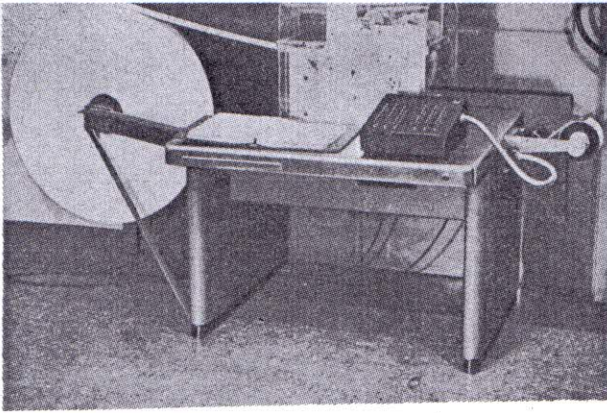
Rys. 9. Przerzutnik: z lewej — schemat blokowy, z prawej — przykład realizacji

dza). Odpada tutaj duża ilość połączeń, za to trzeba czekać, aż żądana szufladka nadjedzie.

Typowymi przedstawicielami pamięci dynamicznej jest pamięć magnetyczna i ultradźwiękowa. Pamięć magnetyczna jest prosta: w roli karuzeli występuje tutaj szybko wirujący bęben pokryty materiałem magnetycznym, na który nagrywa się impulsy. Na jednym bębnie magnetycznym można nagrać do kilkuset liczb, a na jednej taśmie magnetofonowej do kilkunastu tysięcy. Odtwarzanie liczb z taśmy, czy też z bębna magnetycznego, odbywa się analogicznie jak odtwarzanie dźwięku z taśmy magnetofonowej. Działanie tej pamięci jest intuicyjnie jasne, toteż więcej się nią nie będziemy zajmowali. Bardziej skomplikowana jest pamięć ultradźwiękowa. Tutaj (rys. 13) zapamiętywanie liczby polega na wprowadzeniu jej do



Rys. 10. Schemat działania przerzutnika



Rys. 11. Maszyna do szyfrowania dziurkami na taśmie papierowej liczb i rozkazów

obwodu zamkniętego, zawierającego akustyczną linię opóźniającą, urządzenie wzmacniające i regenerujące impulsy oraz bramkę B , normalnie otwartą. Liczba w tego rodzaju pamięci tak długo jest pamiętana dopóki krąży w kółko w wymienionym obwodzie. Przy wprowadzaniu nowej liczby do pamięci zamykamy na pewien czas bramkę B , przez co stara liczba ulega „zapomnieniu”, a otwieramy bramkę wejściową, przez którą wchodzi nowa liczba. Chcąc odczytać liczbę pamiętaną, należy otworzyć na pewien czas bramkę wyjściową. Jak wyraźnie widać, liczba pamiętana nie skasuje się przy odczytywaniu, co może być mniej widoczne w poprzednich typach pamięci.

Bliższego wyjaśnienia wymaga tutaj działanie linii opóźniającej. Tworzy ją rura wypełniona rtęcią z przyłożonymi na oba końce płytkami kwarcowymi. Jak wiadomo, kwarc wykazuje własności piezoelektryczne, tzn. pod wpływem przyłożonego napięcia wytwarza drgania ultradźwiękowe i na odwrót, pod wpływem przyłożonych nań drgań ultradźwiękowych wytwarza zmienne napięcie. Przyłożone na jeden koniec rury impulsy elektryczne zamieniane są przez kwarc na drgania ultradźwiękowe w rtęci. Prędkość rozchodzenia się tych drgań jest kilkaset tysięcy razy mniejsza od prędkości rozchodzenia się impulsów elektrycznych — stąd mamy żądane opóźnienie. Drgania ultradźwiękowe doszedłszy do końca rury uderzają w płytkę kwarcową i zamieniają się z powrotem na impulsy elektryczne. Ponieważ uległy one osłabieniu i zniekształceniu, wzmacnia się je i odpowiednio regeneruje.

Pamięć ultradźwiękowa wymaga jeszcze tzw. licznika położenia impulsów w rurze (jak każda zresztą pamięć dynamiczna), który dla prostoty rysunku pominięto na schemacie; w rurze może krążyć przecież nie jedna, a wiele liczb, a z nich w danej chwili chcemy tylko jedną i to ściśle określoną. Są to już jednak dalsze szczegóły techniczne, w które nie możemy się zagłębiać zbyt daleko. Dla przykładu podamy, że do zapamiętania 50 liczb 20-cyfrowych (dwójkowych) potrzeba rury o długości około metra.

Każda z wymienionych pamięci ma swoje wady i ma swoje zalety, z rozmaitych więc względów w jednej maszynie używa się takiej pamięci, a w drugiej maszynie innej pamięci.

Arytmometr

Jak już wspomniano w maszynach samoczynnych liczby są przesyłane albo szeregowo albo równoległe. Powoduje to powstanie dwu odmian działań arytmetycznych:

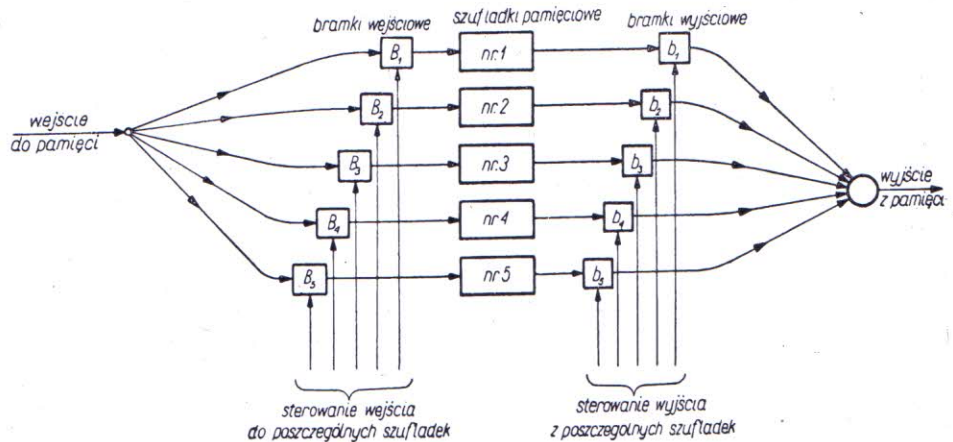
równoległych i szeregowych. Ponieważ wszystkie nawet najbardziej skomplikowane operacje arytmetyczne sprowadzają się w zasadzie do wielokrotnego dodawania i odejmowania, arytmometr maszyny samoczynnej mógłby tylko dodawać i odejmować, a maszyna nie straciłaby nic ze swej uniwersalności. Dla wygody obsługujących dodaje się czasami — o ile jest to możliwe ze względów konstrukcyjnych — mnożenie i dzielenie. Z braku miejsca omówimy tylko dodawanie i odejmowanie.

Odpowiednią część arytmometru, która wykonuje dodawanie i odejmowanie nosi nazwę sumatora. Schemat pracy sumatora równoległego i szeregowego wyjaśnimy najlepiej na przykładzie. W celu łatwiejszego zrozumienia rozważania nasze przeprowadzimy w układzie dziesiętkowym. Mamy wykonać dodawanie:

$$348 + 713$$

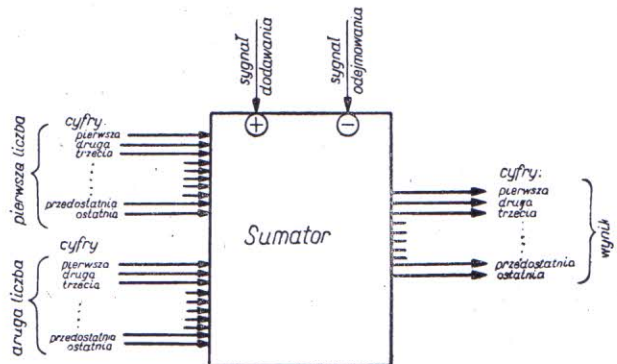
$$= 1061.$$

W sumatorze równoległym (rys. 14) po wprowadzeniu obu czynników na wejście, na wyjściu otrzymujemy od razu wynik. Natomiast w sumatorze szeregowym (rys. 15) dodawanie odbędzie się w ciągu kilku kroków. Najpierw dodadzą się ostatnie cyfry 8 i 3, skąd na wyjściu otrzymamy ostatnią cyfrę wyniku 1 oraz cyfrę przeniesień też 1. W drugiej chwili prze-

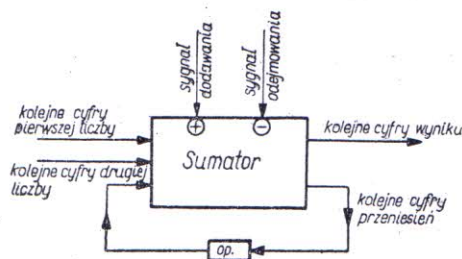


Rys. 12. Schemat blokowy pamięci typu statycznego

niesienie, dzięki jednostkowej linii opóźniającej, doda się do drugich cyfr składników 4 i 1, skąd na wyjściu otrzymamy przedostatnią cyfrę wyniku 6 oraz cyfrę przeniesień równą tym razem 0. W trzeciej chwili cyfra przeniesień 0 doda się do pierwszych cyfr składników — 3 i 7, skąd na wyjściu otrzymamy trzecią od końca cyfrę wyniku 0 oraz cyfrę przeniesień 1, która do niczego się nie dodawszy (bo już nic nie ma) w następnej chwili wyjdzie wyjściem jako pierwsza cyfra sumy 1.

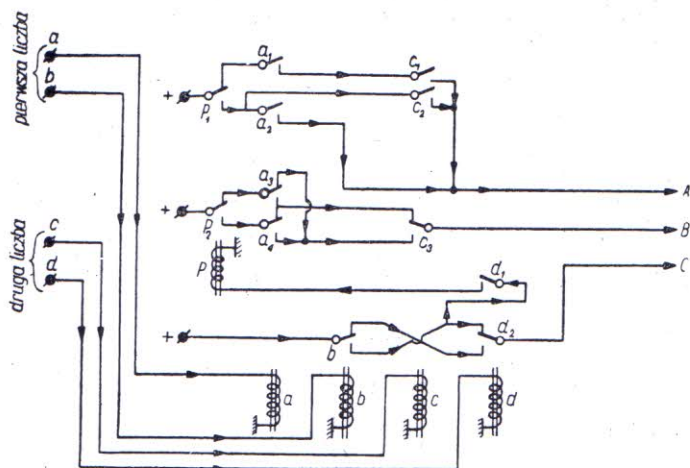


Rys. 13. Schemat sumatora równoległego. W maszynie elektrycznej odpowiedni układ składa się z kilkuset lamp



Rys. 14. Schemat sumatora szeregowego. W maszynie elektronicznej odpowiedni układ składa się z kilkudziesięciu lamp

Zupełnie podobnie odbywa się odejmowanie. Do sumatora przychodzi wtedy od urządzenia sterującego nie sygnał dodawania, a sygnał odejmowania. Najprostsze układy sumujące są bardzo skomplikowane. Przykład realizacji sumatora równoległego przekąźnikowego, dodającego dwie liczby dwójkowe dwucyfrowe, podany jest na rys. 16. Przykład realizacji analogicznego sumatora elektronicznego jest zbyt

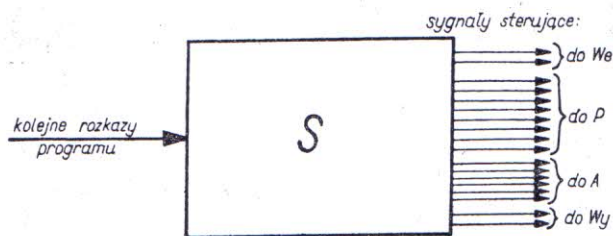


Rys. 15. Przykładowy układ przekąźnikowy do dodawania dwu liczb dwójkowych dwucyfrowych: $(ab) + (cd) = (ABC)$, przy interpretacji 1 — jest prąd, 0 — nie ma prądu. Stan styków na rysunku odpowiada chwili, gdy przekaźniki nie trzymają. Uważny czytelnik zechce prześledzić na schemacie przebieg dodawania $10 + 11 = 101$ (tzn. $2 + 3 = 5$): na wejścia a, c oraz d dajemy prąd, a na b nie; pod wpływem przyłożonych prądów zadziałają przekaźniki a, c, oraz d (styki $1_1, a_2, a_3, a_4, c_1, c_2, c_3, d_1, d_2$, zostaną przyciągnięte ku dołowi). Łatwo dostrzec, że przekaźnik p nie zadziała. Teraz na wyjściu C ukazuje się prąd (poprzez styki b oraz d_2), jak również ukazuje się prąd na wyjściu A (poprzez styki p_1, a_1 oraz c_1). Na wyjściu B prąd się nie ukazuje. A może teraz czytelnik już sam prześledzi dodawanie $01 + 10 = 11$ (tj. $1 + 2 = 3$)?

skomplikowany, aby go tutaj podawać. Kończąc ten z konieczności uproszczony opis arytmetru nadmienimy jeszcze, że działania równoległe są kilkanaście razy szybsze od działań szeregowych, użycie ich jednakże jest ograniczone z pewnych względów natury technicznej.

Sterowanie

Urządzenie sterujące maszyny samoczynnej (rys. 17) można przyrównać do deszyfratora, rozszyfrującego zakodowany liczbowo rozkaz i wysyłający następnie odpowiednie impulsy sterujące w odpowiedniej kolejności do poszczególnych części maszyny. Jedne z tych impuls-

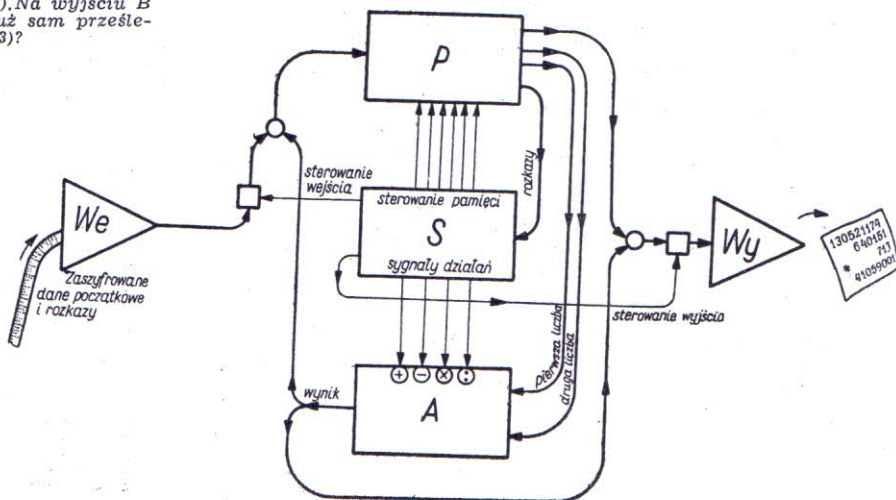


Rys. 16. Schemat blokowy urządzenia sterującego

sów otworzą pewne bramki a zamkną inne, powodując żądane przesłanie liczb, drugie dadzą arytmometriowi sygnał wykonania odpowiedniej operacji. Z wspomnianych już względów musimy się ograniczyć do blokowego schematu sterowania (rys. 8). Zaznaczono tam wszystkie drogi liczb typowej maszyny automatycznej oraz najważniejsze elementy sterowania. Uważny czytelnik zechce prześledzić na tym schemacie drogi liczb w czasie wykonywania przez maszynę rozkazów podanych uprzednio. Na przykład, aby wykonać rozkaz liczbę odczytaną z szufladki 317 dodać do liczby odczytanej z szufladki 419, wynik włożyć do szufladki 134, a następny rozkaz odczytaj z szufladki 7; urządzenie sterujące najpierw odczytuje żądane liczby z pamięci, następnie otwiera odpowiednie bramki wyjściowe z pamięci i liczby te wchodzi do arytmetru. Teraz przychodzi z urządzenia sterującego sygnał dodawania, w arytmetrze te liczby się dodają (obojętne czy dodają się szeregowo czy równoległe), następnie wynik wychodzi z arytmetru i wchodzi do pamięci, gdzie urządzenie sterujące, zamykając jedne a otwierając drugie bramki, powoduje umieszczenie wyniku w żądanej szufladce, po czym powoduje przesłanie rozkazu odczytanego z szufladki 7 do urządzenia sterującego w celu wykonania następnej operacji.

Wyjście

Wyniki obliczeń drukowane są na taśmach papierowych, albo też dziurkowane na taśmach, czy też kartach papierowych. Maszyny samoczynne przeważnie tak się buduje, że przy podawaniu liczby z maszyny na wyjście, maszyna samoczynnie przelicza liczbę na układ dziesiątkowy. Często na urządzenie wyjściowe używa się odpowiednio przystosowany do tego celu dalekopis telegraficzny (rys. 19).



Rys. 17. Ogólny schemat blokowy sterowania przykładowej maszyny samoczynnej

Uwagi ogólne

Każda maszyna cyfrowa może się pomylić. Do wykrywania pomyłek służą specjalne mniej lub więcej pomysłowe urządzenia, brak jednakże miejsca, aby szerzej o nich wspomnieć. Nadmienimy tylko tyle, że w celu eliminacji błędu buduje się czasami dwie, a nawet trzy maszyny liczące jednocześnie, przy czym ich wyniki porównuje się co chwilę.

Dla orientacji czytelników podamy teraz tabelę najważniejszych danych kilku maszyn samoczynnych.

Nazwa maszyny	ENIAC	EDVAC	ORDVAC	BELL
niektóre dane ogólne	18000 lamp	3000 lamp		
układ liczenia	dziesiątkowy	dwójkowy	dwójkowy	dwójkowy
rodzaj pamięci	elektro-nowa	ultradźwiękowa	elektrostatyczna	przekaznikowa
pojemność pamięci	20 liczb*	1024 liczby	1024 liczby	16 liczb
ilość dodawań na sekundę	1600	1100	16000	3
ilość mnożeń na sekundę	300	350	1300	1

Wszelkie czynności umysłowe dadzą się, z grubsza rzecz biorąc, podzielić na dwie kategorie:

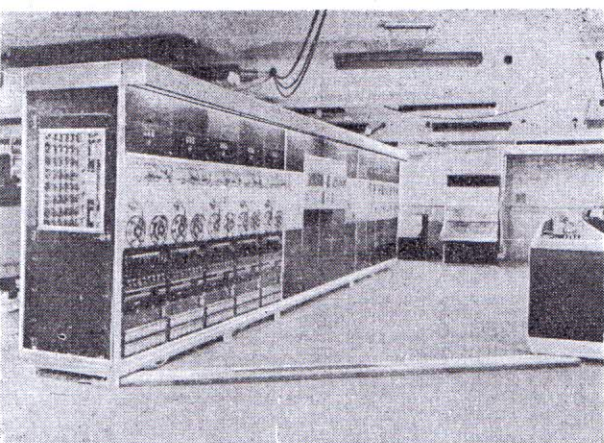
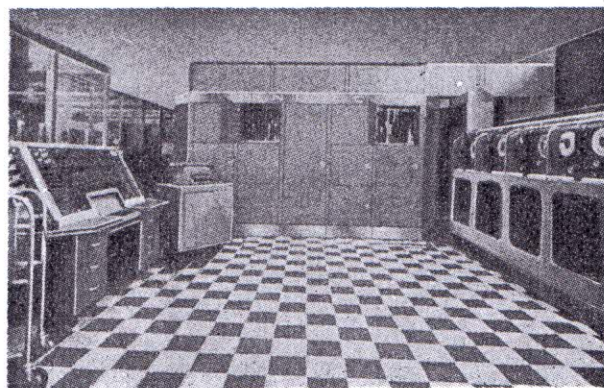
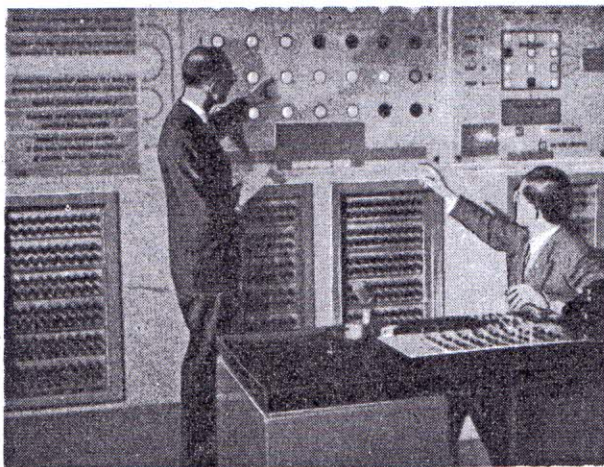
— czynności, do wykonania których nie potrzeba rozumieć tego co się robi, a jedynie postępuje się według pewnego narzuconego z góry szczegółowego planu pracy — programu; czynności te — z braku lepszego słowa — można by nazwać „programowalnymi“;

— czynności, do wykonania których koniecznie trzeba rozumieć to co się robi; można by je nazwać „nieprogramowalnymi“.

Maszyny samoczynne mogą być zastosowane tylko do czynności programowalnych, pod warunkiem podania im odpowiedniego programu. Niestety wiele jest czynności, o których wiemy, że są programowalne, a nie potrafimy ich jeszcze zaprogramować, np. gra w szachy. Poza tym nie możemy rozwiązać wielu zagadnień, które potrafimy zaprogramować, ze względu na długi czas obliczania (patrz początek artykułu) oraz ze względu na astronomiczne ilości wyników częściowych, do których zapamiętania potrzeba by pamięci o olbrzymiej pojemności.

Wiele takich czynności, jak tłumaczenia z języka na język, gra w niektóre gry, stawianie prognozy pogody, robienie remanentów, projektowanie niektórych typowych urządzeń elektrycznych, stawianie niektórych diagnoz lekarskich, kierowanie ogniem artyleryjskim

i wiele innych, okazało się programowalnymi. Stąd wynika możliwość zadziwiających, jak niektóre z podanych przed chwilą, zastosowań samoczynnych uniwersalnych maszyn cyfrowych.



Od góry: Rys. 18. NIMROD — elektronowa maszyna do gry w popularną grę w zapalki, zbudowana w Anglii do celów reklamowych. Rys. 19. UNIVAC — widok ogólny. Po lewej stronie widać biurko kontrolne. Rys. 20. Inna maszyna elektronowa samoczynnie licząca. Widoczne płaskie bębny pamięciowe z taśmą magnetofonową

* Pamięć ENIAC'a uległa potem przebudowaniu na magnetyczną, wskutek czego zwiększyła się znacznie pojemność jego pamięci.