

## Część VI

Układy wykonujące operacje w arytmometrycznej maszynie cyfrowej pracują w dwójkowym systemie liczenia. Choć po dostatecznym przećwiczeniu obliczeń w tym systemie można się nim posługiwać nie mniej efektywnie niż innymi systemami, to trudno wymagać od przeciętnego użytkownika maszyny, żeby stosował system dwójkowy. Wieloletni nawyk używania systemu dziesiętkowego stanowi barierę psychologiczną, którą trudno pokonać. O wiele łatwiej można zbudować układy elektroniczne tłumaczące zapisy dokonane w jednym systemie na zapisy systemu drugiego. Układy tłumaczące zapisy systemu dziesiętkowego na odpowiednie zapisy systemu dwójkowego noszą nazwę **szyfratorów** albo **koderów**, układy tłumaczące zapisy systemu dwójkowego na odpowiednie zapisy systemu dziesiętkowego – **deszyfratorów** albo **dekoderów**. Szyfratory i deszyfratory umożliwiają prostą i wygodną dla człowieka konwersację z maszyną.

## Szyfrator

Zamiany liczb systemu dziesiętkowego na liczby systemu dwójkowego można dokonywać w rozmaitych układach, zbudowanych na przełącznikach. Ponieważ jednak wchodzi tu w grę znaczna liczba elementów, nawet dla jednej pozycji dziesiętkowej, zastępujemy diody półprzewodnikowe lub płytki selenowe (powyższa uwaga odnosi się także do deszyfratorów). Projektując szyfrator należy zauważyć, że zamiana cyfr jednej pozycji dziesiętkowej na zapis w systemie dwójkowym wymaga aż czterech pozycji dwójkowych (patrz część I).

Na rys. 1 przedstawiony został schemat szyfratora. Zamknięcie jednego z wyłączników  $W_1$ – $W_9$ , odpowiadającego danej cyfrze systemu dziesiętkowego, powoduje zaświecenie żarówek reprezentujących daną cyfrę (liczbę) w systemie dwójkowym. Każdemu wyłącznikowi odpowiada ściśle jednoznacznie określona kombinacja świecących i zgaszonych żarówek. Dla liczby zero wszystkie wyłączniki są otwarte, a tym samym wszystkie żarówki są zgaszone.

## Przykład:

Zamykając wyłącznik  $W_1$  podajemy napięcie na żarówkę  $Z_1$  – żarówka świeci. Zamykając wyłącznik  $W_2$  podajemy napięcie na żarówkę  $Z_2$  – żarówka świeci. Zamykając wyłącznik  $W_3$  podajemy napięcie przez diodę  $D_1$  na żarówkę  $Z_1$  oraz przez diodę

$D_2$  na żarówkę  $Z_2$  – obie żarówki świecą. Podobnie analizujemy dalsze możliwe przypadki (każdorazowo zamykamy tylko jeden wyłącznik).

W układzie szyfratora mogą pracować dowolne diody, dostosowane do napięcia źródła i wytrzymujące obciążenie prądem żarówki, np. DZG 1–7. Do budowy szyfratora można użyć płytek selenowych z wycofywanych obecnie prostowników (znikome koszty). Proponujemy samodzielne zaprojektowanie analogicznego szyfratora na przełącznikach.

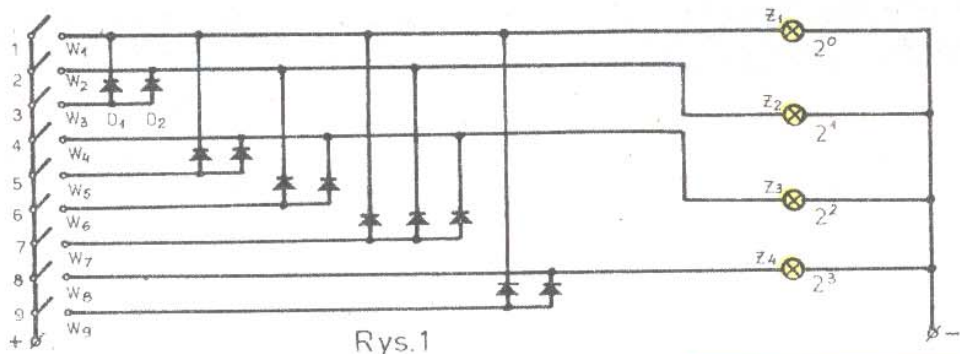
## Deszyfrator

Deszyfrowanie jest czynnością odwrotną do szyfrowania. Szyfrowanie stosuje się np. podczas wprowadzania liczb do kalkulatora, a deszyfrowanie podczas wyprowadzania liczb na wskaźnik świetlny.

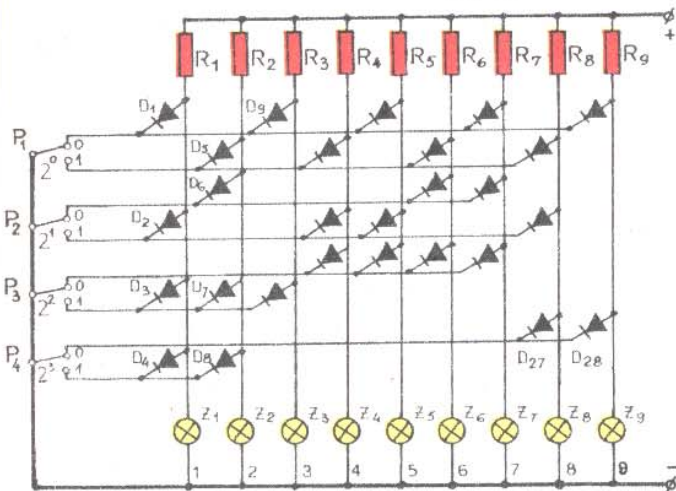
Na rys. 2 przedstawiono elektryczny schemat deszyfratora. Pokazany deszyfrator tłumaczy liczby od 1 do 9, zapisane w systemie dwójkowym, na odpowiadające im liczby (cyfry) systemu dziesiętkowego.

Układ deszyfratora jest nieco bardziej złożony niż układ szyfratora; poza diodami i żarówkami występują w nim oporniki, a zamiast wyłączników stosuje się przełączniki.

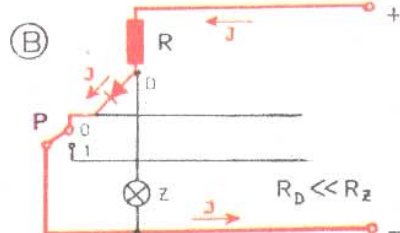
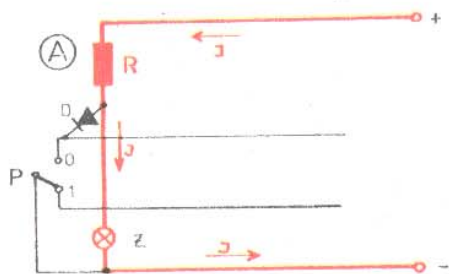
Rys. 3 objaśnia zasadę działania deszyfratora. Jeżeli przełącznik  $P$  znajduje się w pozycji 1 (rys. 3a), to prąd  $I$  przepływa przez opornik  $R$  i połączoną z nim szeregowo żarówkę  $Z$ , która zaczyna świecić. Jeżeli przełącznik  $P$  znajduje się w pozycji 0 (rys. 3b), to prąd  $I$  przepływa przez opornik  $R$  i następnie przez diodę  $D$  do przełącznika  $P$ . Znikomy opór diody praktycznie zwiera żarówkę – napięcie na żarówce jest bliskie zero i żarówka nie świeci. Cały deszyfrator z rys. 2 jest zbudowany z obwodów takich, jak na rys. 3. Ustawiając przełączniki  $P_1$ – $P_4$  w pozycji 0 zwieramy za pomocą diod wszystkie żarówki, a tym samym żadna z nich nie świeci. Przypuśćmy, że ustawiliśmy przełącznik  $P_1$  w pozycji 1, zapisaaliśmy więc liczbę 001<sub>(2)</sub>. Obwód diody  $D_1$  został otwarty, napięcie na żarówce  $Z_1$  wzrosło i żarówka zaświeciła się, sygnalizując liczbę (cyfrę) 1 systemu dziesiętkowego. Ustawiając przełączniki  $P_1$ ,  $P_2$  w pozycji 1 zamieniamy liczbę 001<sub>(2)</sub> na liczbę (cyfrę) 3. W tym przypadku żarówkę  $Z_1$  zwieramy diodą  $D_2$ , żarówkę  $Z_2$  zwieramy diodą



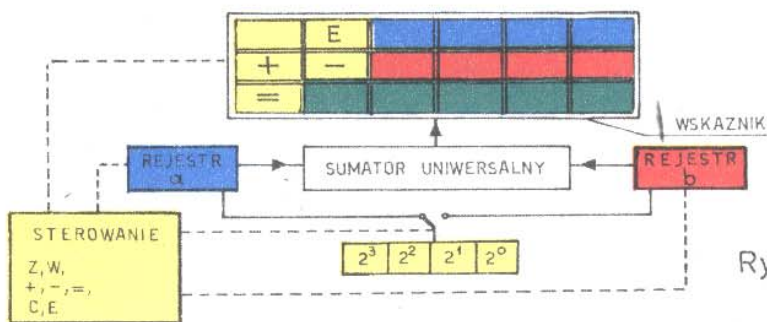
Rys. 1



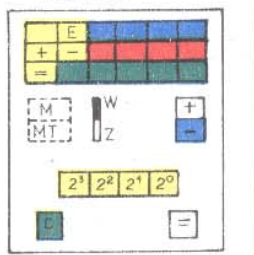
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4



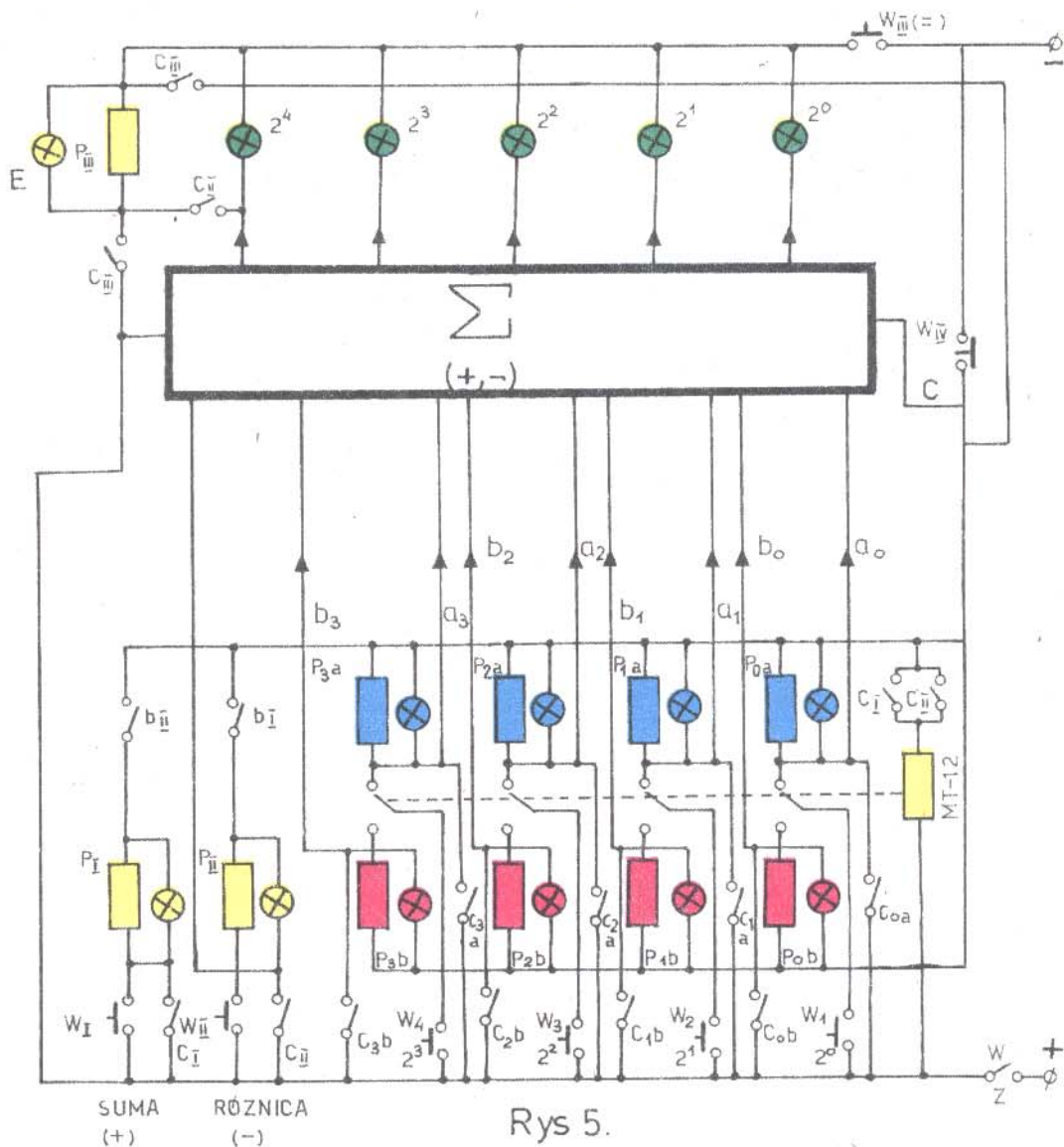
M,MT-TYLKO DLA PAMIĘCI

D5; natomiast otwieramy obwody diod D9 i D10 powodując podanie napięcia na żarówkę  $Z_3$  itd.

Podczas budowy ważny jest dobór parametrów elementów deszyfratora – oporników, diod i żarówek. Oporniki pracują szeregowo z żarówkami, ich oporność powinna zapewniać średnią intensywność świecenia żarówek. Moc oporników musi być dostatecznie duża, żeby po zwarcu żarówki przez diodę

(przyjmujemy  $R$  diody równe 0) wytrzymały dodatkowe obciążenie prądowe  $I = U/R$ , gdzie  $U$  – napięcie źródła prądu i  $R$  – opór. Moc oporników wyliczamy ze wzoru  $P = I^2 \cdot R$ , gdzie  $I$  – prąd opornika i  $R$  – oporność.

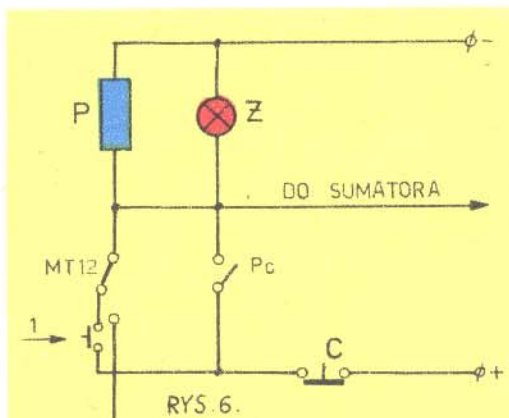
Przykład. Deszyfrator zasilamy napięciem 12 V. Stosujemy żarówkę 6 V/50 mA. Oporność nagrzanego włókna żarówki wyniesie  $R = U/I$ , to jest



6:0,05 = 120 Ω. Na oporniku R powinien wystąpić spadek napięcia, co najmniej 6 V. Możemy zastosować oporniki 150–180 Ω. Stosując oporniki 180 Ω otrzymamy maksymalny prąd opornika (płynący też przez diodę)  $12:180 \approx 70$  mA. Moc P opornika wyniesie  $P = I^2 \cdot R$ , to jest  $0,07^2 \cdot 180 \approx 0,9$  W. Diody powinny wytrzymywać obciążenie prądowe ponad 70 mA.

Zastosujemy oporniki 180 Ω o mocy 1 W, diody DZG 1–7 lub płytki selenowe o minimalnej powierzchni 2–3 cm<sup>2</sup> i żarówki 6 V/50 mA.

Uwaga! Oporność płytek selenowych jest znacznie większa od oporności diod. W związku z tym,



w poprawnie wykonanym układzie, może wystąpić słabe żarzenie żarówek wtedy, gdy powinny one być wygaszone.

### Model kalkulatora

Korzystając z podanych dotychczas informacji wykonamy prosty model kalkulatora. Model może być mniej lub bardziej rozbudowany w zależności od posiadanych elementów i umiejętności. Poniżej podajemy przykładowe rozwiązanie o przeciętnym stopniu trudności. Zamieszczamy też kilka wskazówek dla bardziej zaawansowanych konstruktorów, które mogą okazać się przydatne podczas projektowania innych układów i wprowadzania do nich modyfikacji. Podkreślamy, że model ma służyć jedynie celom poznawczym. Nie zachęcamy do podejmowania wysiłków mających na celu budowę kalkulatora przełącznikowego, który mógłby dorównywać konstrukcjom fabrycznym. Kalkulatory fabryczne są wykonywane na obwodach wielkoskalonych i zawierają tysiące elementów, z których każdy pełni funkcję zbliżoną do funkcji pełnionych przez przełącznik.

Schemat blokowy modelu przedstawia rys. 4, natomiast schemat elektryczny rys. 5.

Najistotniejszą cechą modelu jest zachowanie ogólności, to znaczy, że według przyjętych zasad konstrukcji model można rozbudowywać dowolnie. (Często spotyka się modele skonstruowane tak, że chociaż nie działają według zasad ogólnych, to praktycznie mają jednak użyteczny zakres używalności, np. – patrz nr 4/77 „MT”: „Elektryczna tabliczka mnożenia”).

Za pomocą modelu można dokonywać obliczeń w systemie dwójkowym. Do wprowadzania liczb służą cztery przyciski, z których każdy pracuje na danej pozycji systemu dwójkowego. Najpierw wprowadza się do pierwszego rejestru liczbę  $-a$ . Liczbę  $-b$  wprowadza się do drugiego rejestru, po uprzednim naciśnięciu przycisku wybranej operacji (plus albo minus). Obie liczby są wyświetlane na wskaźniku świetlnym. Naciśnięcie przycisku (=) powoduje wyświetlenie wyniku. Przycisk C służy do kasowania. W razie popełnienia błędu (odejmowanie od liczby mniejszej liczby większej) na wskaźniku pojawia się sygnał błędu  $-E$ . Korzystamy tu z faktu, że w przypadku, gdy  $a < b$  (obowiązują założenia dotyczące substratora – część V), na ostatnim wyjściu sumatora uniwersalnego pojawia się sygnał 1. Sygnał ten uruchamia samopodtrzymujący się przełącznik, zamykający obwód sygnalizacji

błędu. Po błędnej operacji należy wcisnąć przycisk C.

Rejestry służą do przechowywania liczb przez czas wykonywania operacji. Zasadę działania rejestru objaśnia rys. 6. Podając sygnał  $-1$  na cewkę przełącznika P powodujemy zamknięcie styków  $-c$ , co powoduje samopodtrzymywanie przełącznika. Przełącznik zapamiętuje więc jedynkę. Zapamiętana jedynka jest wprowadzana na odpowiednie wejście sumatora. Obecność jedynki (stan przełącznika) sygnalizuje żarówka Z, przyłączona równolegle do cewki sterującej. Otwierając obwód przyciskiem C kasujemy stan 1.

Uwagi do układu z rys. 5.

Symbolami  $c_i$  oznaczono styki zwierne (czynne).

Symbolami  $b_i$  oznaczono styki rozwierne (bierne).

Indeks wskazuje na przynależność styków do danego przełącznika, np.  $c_1, b_1$  – styki czynne i bierne przełącznika  $P_1$ . Symbolami  $P_{Ia}, P_{Ib}$  oznaczono odpowiednio przełączniki rejestrów liczby  $-a$  i liczby  $b$ .

Symbolami  $W_i$  oznaczono przyciski do wprowadzania liczb  $-a, b$ . Indeksowanie cyframi rzymskimi odnosi się do obwodów sterowania. Przelączenie rejestrów jest dokonywane automatycznie, podczas wprowadzania symbolu operacji. Przelączenia dokonuje przełącznik typu MT-12, sterowany stykami  $c_I, c_{II}$  przełączników  $P_I, P_{II}$ .

Sygnalizacja błędu (E) wykonana jest na przełączniku  $P_{III}$ . Wciśnięcie przycisku operacji ( $-$ ) powoduje samopodtrzymywanie przełącznika  $P_{II}$ , który zamyka styki  $c_{II}$ . Tym samym obwód zostaje przygotowany do pracy. Jeśli teraz pojawi się  $a < b$ , to sygnał z ostatniego wyjścia sumatora uniwersalnego wystąpi na cewce przełącznika  $P_{III}$ . Zamknięcie przycisku  $W_{III}$  (=) powoduje przepływ prądu przez cewkę przełącznika  $P_{III}$ . Przełącznik ten zamyka styki  $c_{III}$  i podtrzymuje się, do czasu rozwarcia obwodu zasilania przyciskiem C. Żarówka przyłączona równolegle do cewki przełącznika  $P_{III}$  sygnalizuje błąd (E).

### Modyfikacja modelu

Wykorzystując ideę multiplikatora (część V) można rozszerzyć zakres działania modelu o operację mnożenia. W tym celu wystarczy dobudować układ obliczania iloczynów cząstkowych. Do sumowania iloczynów należy wykorzystać sumator.

Układ sterowania trzeba poszerzyć o przełącznik operacji ( $\times$ ). Jeśli zdecydujemy się mnożyć liczby dwucyfrowe przez czterocyfrowe, to powstanie konieczność wprowadzenia sygnalizacji przepelnienia. Zasady podobne jak przy sygnalizacji błędu. Sygnał przepelnienia można uzyskać z dodatkowego układu przeniesienia na kolejną (szóstą) pozycję sumatora.

Stosując opisany wyżej szyfrator można przystosować model do wprowadzania liczb w systemie dziesiętkowym. Wyjścia szyfratora należy połączyć bezpośrednio ze stykami przełącznymi przełącznika MT-12. Stosujemy oczywiście dziewięć przycisków oznaczających cyfry systemu dziesiętkowego.

Dobudowanie deszyfratora jest bardziej kłopotliwe, ponieważ na wyjściu sumatora uniwersalnego mogą się pojawiać liczby od 0 do 31, a w przypadku zastosowania szyfratora od 0 do 18. Można wprowadzić poszerzyć deszyfrator do pięciu pozycji, ale nie polecamy takiego rozwiązania – jest ono kosztowne i mało wartościowe. Bezpośrednie deszyfrowanie z wielu pozycji jest nieopłacalne. Częściej stosuje się układy pracujące w tak zwanym kodowanym systemie dziesiętkowym, gdzie jednej pozycji dziesiętnej odpowiadają cztery pozycje dwójkowe. Elementarny charakter artykułu zmusza nas do wskazania literatury, np. „Poradnik inżyniera automatyka”, WNT, str. 610.

Najciekawszym i zarazem najtrudniejszym problemem byłoby wyposażenie modelu w pamięć, służącą do przechowywania cząstkowych wyników obliczeń.

Pamięć można zbudować podobnie jak rejestry liczb, w istocie stanowią one pamięć. Pamięć powinna umożliwiać pobieranie liczb z wyjścia sumatora uniwersalnego i następnie ich przechowywanie. W najprostszych rozwiązaniach liczby pobrane z pamięci można kierować na jeden z rejestrów, np. rejestr liczby b. Rejestr ten należy wcześniej wyzerować. Czynność zerowania (kasowania) rejestru musi być automatyczna. Działanie takiej pamięci jest jednak mało przydatne w złożonych obliczeniach.

Zastosowanie układu pamięci wymaga istotnych zmian organizacji modelu. Pomimo to zachęcamy majsterkowiczów do realizacji własnych projektów kalkulatorów eksperymentalnych. Bezbledne „mruganie” lampek wskaźnika cyfrowego będzie najmiłą formą zapłaty za podjęte starania.

**Włodzimierz Augustyniak**