

2. ELEMENTY FUNKCJONALNE

2.1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

Charakterystyczną cechą układów cyfrowych jest — między innymi — to, że mogą one, niezależnie od stopnia złożoności, być budowane z prostych, typowych, układów elementarnych. Możliwość taka wynika z właściwości systemów funkcjonalnie pełnych (p. 1.2), które umożliwiają przedstawienie dowolnej funkcji przełączającej za pomocą jednej, dwóch lub trzech funkcji elementarnych. Zbudowanie odpowiednich układów elementarnych umożliwia (przez ich składanie) utworzenie dowolnego układu przełączającego. W praktyce do tego niezbędnego zestawu układów, wynikających z SFP, dodaje się jeszcze — dla uproszczenia układu, regeneracji sygnałów itp. — dodatkowe proste układy pamięciowe, formujące, wzmacniające i inne, o charakterze pomocniczym. Zestawy takich układów, o różnych właściwościach fizycznych i eksploatacyjnych, są produkowane seryjnie we wszystkich uprzemysłowionych krajach świata. Parametry tych układów elementarnych są optymalizowane za pomocą specjalnych metod, niekiedy z użyciem uniwersalnych maszyn cyfrowych. Taka sytuacja zwalnia projektanta większych układów cyfrowych z konieczności projektowania układu od samego początku (np. od elementów elektronicznych typu tranzystor i rezystor poczynając), przyspiesza projektowanie, zwiększa niezawodność dużych układów i zmniejsza ich koszt. Dla projektującego układ cyfrowy produkowane seryjnie układy elementarne są właściwie elementami konstrukcji i tak też na ogół są nazywane. Stąd nazwy: *elementy logiczne*, *elementy pamięciowe* itp., czyli ogólniej — *elementy funkcjonalne układów cyfrowych*. Przyjęcie nazwy element dla tych prostych układów jest dogodne, ze względu na i tak już liczne znaczenia słowa układ.

Każdy producent zestawu elementów funkcjonalnych podaje podstawowe właściwości tych elementów, co umożliwia szybkie opanowanie

zasad ich współpracy z sobą, łączenia itp. Ponieważ dla dalszej fazy projektowania ważne są przede wszystkim funkcje logiczne elementu, projektujący — po spełnieniu przewidzianych katalogiem wymagań dotyczących zasilania i połączeń — mógłby w zasadzie nie wiedzieć w ogóle, na jakiej zasadzie elementy te działają. Jednakże w praktyce zdarzają się przypadki nie objęte katalogiem, a i w rozwiązaniach typowych znajomość realizacji elementu często pomaga w powzięciu decyzji układowych. Te argumenty sprawiły, że w niniejszej pracy znalazł się rozdział poświęcony elementom funkcjonalnym i że ich opisy zawierają tylko te informacje, które są niezbędne dla użytkownika elementów.

Istnieje bardzo wiele odmian elementów funkcjonalnych układów cyfrowych, wykorzystujących bardzo różne zjawiska fizyczne, ale w układach przełączających automatyki stosowane są prawie wyłącznie trzy główne rodzaje:

- elementy stykowe w postaci przekaźników elektromagnetycznych,
- elementy półprzewodnikowe z diodami i tranzystorami (również w wersji scalonej),
- elementy pneumatyczne różnych rodzajów.

Do budowania układów pamięciowych o większych pojemnościach są jeszcze używane elementy magnetyczne.

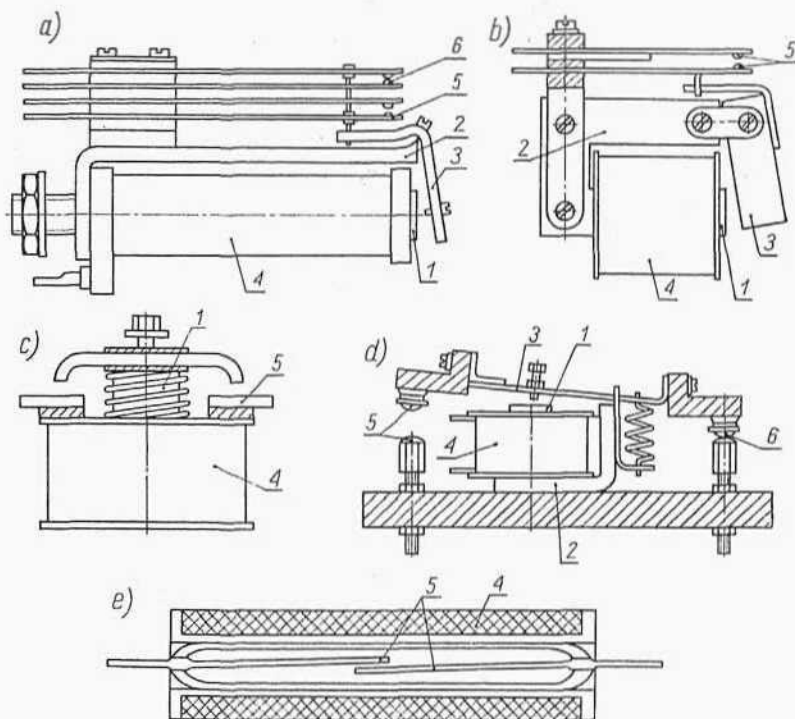
Przedstawiony niżej opis ogranicza się do elementów elektrycznych. Rozdziały 3 i 4 mogą być wykorzystane również do syntezy układów pneumatycznych, ale specyficzne cechy tych układów uniemożliwiają łączne rozważanie elektrycznych i pneumatycznych rozwiązań bloków, przetworników i zespołów wykonawczych (rozd. 5 i 6). Tematem książki są głównie układy elektroniczne, najczęściej stosowane.

2.2. ELEMENTY STYKOWE

2.2.1. KONSTRUKCJE PRZEKAŹNIKÓW ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Przekaźniki elektromagnetyczne są budowane w wielu odmianach konstrukcyjnych; niektóre typowe rozwiązania pokazano na rys. 2-1. W większości przypadków przepływ prądu elektrycznego (o odpowiednim natężeniu) przez cewkę powoduje powstanie strumienia magnetycznego w obwodzie rdzeń-jarzmo-kotwica (rys. 2-1a, b, d), skutkiem czego kotwica zostaje przyciągnięta do rdzenia, co zmienia stan zestyków: za-

myka jedne i otwiera drugie. W innych rozwiązaniach (rys. 2-1c) ruchomy rdzeń jest wciągany do cewki. W *przełącznikach hermetycznych (rurkowych, kontaktronach)* strumień wytworzony przez cewkę działa bezpośrednio na sprężyny stykowe, wykonane z materiału magnetycznie miękkiego.



Rys. 2-1. Konstrukcje przełączników elektromagnetycznych
1 — rdzeń; 2 — jarzmo; 3 — kotwica; 4 — cewka; 5 — zestyk zwierny;
6 — zestyk rozwierny

kiego, powodując ich zwarcie (rys. 2-1e). Zestyk taki może działać również pod wpływem pola magnetycznego od magnesu trwałego i wspólnego pola magnetycznego od magnesu i cewki. Są też budowane zestyki rozwierny i przełączne, o działaniu uzależnionym od kierunku prądu w cewce itp.

Kontaktrony i przełączniki o wyspecjalizowanych zastosowaniach (np. teletechniczne z rys. 2-1a) pracują przy zasilaniu cewki prądem sta-

łym. Wiele innych odmian, zwłaszcza o większych mocach przełączanych, może działać zarówno przy prądzie stałym jak i zmiennym.

Styki przełączników bardzo czułych są pozłacane lub wykonane ze srebra; przy większych mocach styki są miedziane, wolframowe lub spiekane z mieszanin. Do przełączania dużych mocy są stosowane zestyki rtęciowe, uruchamiane np. dźwignią kotwicy przełącznika. Przechylenie banieczki z rtęcią powoduje, że rtęć zawiera jedne, a rozwiera inne obwody zewnętrzne.

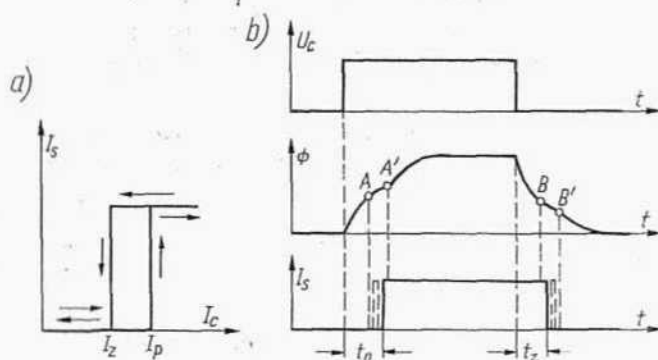
Do przełączania obwodów pomiarowych i innych o specjalnym znaczeniu stosuje się zestyki zwilżane rtęcią. Zasada ich działania jest podobna do wykorzystanej w kontaktronach, ale do styków przewodem kapilarnym jest doprowadzana rtęć, stale je zwilżając. Daje to bardzo dużą trwałość (rzędu 10^9 zadziałań) przy dużej szybkości działania bez drgań styków i przy zwiększonej obciążalności.

Przyciąganie lub zwalnianie przełącznika może być opóźnione. W przełącznikach teletechnicznych realizuje się to przez umieszczenie na rdzeniu zwartego zwoju (prądy wirowe opóźniają wówczas zmiany strumienia) lub przez przyłączanie zewnętrznych elementów *RLC*. W przełącznikach większej mocy stosuje się wyłącznie sposoby mechaniczne. Opóźnienia rzędu kilku minut uzyskuje się przez ograniczenie prędkości ruchu kotwicy lub dźwigni przełączającej zestyki, za pomocą mechanizmu z przekładnią zębatą. Czasy opóźnień mają tolerancje ok. $\pm 3\%$. Większe opóźnienie można osiągnąć jedynie w układach z silnikami, w których mały silniczek synchroniczny napędza układ zestyków poprzez przekładnię obniżającą. Przy odpowiednio dużej przekładni można opóźnić czas zwarcia albo rozwarcia styków o kilka godzin, z tolerancją $\pm 0,5\%$.

2.2.2. WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNE

Wpływ wartości prądu w cewce zwojnicy na prąd w obwodzie zestyku zwiernego przełącznika obrazuje *charakterystyka statyczna* (rys. 2-2a). Na skutek histerezy magnetycznej obwodu natężenie prądu przyciągania I_p jest większe od prądu zwalniania I_z . Charakterystyka statyczna wskazuje na możliwość wykorzystania przełącznika jako elementu progowego, wyczuwającego poziom sygnału wejściowego. W większości przypadków przełączniki pracują jednak przy skokowych zmianach zasi-

lania, często wywołanych zestykami innych przekaźników lub łączników. Zmiany strumienia magnetycznego i prądu w obwodzie zestyku zwierne-go przy takiej właśnie skokowej zmianie napięcia wejściowego przedstawia charakterystyka dynamiczna z rys. 2-2b. Odcinki $A-A'$ i $B-B'$ odpowiada-



Rys. 2-2. Charakterystyki przekaźnika: a) statyczna; b) dynamiczna
 U_c, I_c — napięcie i natężenie prądu w cewce; I_s — natężenie prądu w obwo-
 dzie zestyku zwierne-go; t_p — czas przyciągania; t_z — czas zwalniania

ją ruchowi kotwicy. Przy gwałtownym zwieraniu i rozwieraniu styków często następują drgania, których skutkiem są krótkotrwałe impulsy w obwodach wyjściowych.

W układach automatyki stosuje się przekaźniki różnych typów. Jeśli układ współpracuje z wieloma elementami dużej mocy (silniki, styczniki, grzejniki itp.), bywa zazwyczaj budowany z przekaźników silnoprądowych, których zestyki mogą bezpośrednio przełączać obwody wyjściowe, a cewki mogą być zasilane napięciami przemysłowymi. Gdy układ realizuje bardziej złożone funkcje, a wyjścia dużej mocy są nieliczne, albo gdy wyjścia układu mają niski poziom mocy, celowe jest budowanie układu z mniejszych i bardziej niezawodnych elementów, takich jak przekaźniki teletechniczne, miniaturowe lub kontaktrony. Zwłaszcza te ostatnie odgrywają coraz większą rolę, gdyż pracują z dużą niezawodnością i większą szybkością także w pyłe, atmosferach wybuchowych itp.

Mimo to przekaźniki są stopniowo wypierane z układów przełączających przez elementy bezstykowe, zwłaszcza w przypadkach złożonych funkcji, wymaganej dużej szybkości działania lub większej niezawodności.

Podstawowe parametry różnych typów przekaźników elektromagnetycznych zestawiono w tabl. 2-1.

Tablica 2-1

Wartości parametrów przekaźników elektromagnetycznych

Parametr	Jednostka	Przekaźniki			
		hermetyczne	miniaturowe	teletechniczne	silnoprdowe
Moc wzbudzenia (min)	mW	10...100	200...600	20...200	1000...20000
Liczba uzwojeń cewki	—	1...3	1	1...2	1
Liczba sprężyn stykowych	—	2...12	3...12	≤ 12	2...24
Natężenie prądu na stykach	A	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 0,2	3...10
Napięcie na stykach	V	≤ 220	≤ 120	≤ 60	≤ 380
Czas przyciągania	ms	2	3...15	3...30	15...100
Czas zwalniania	ms	0,5	2...10	8...30	15...100
Ciężar	N	0,5...2	0,2...0,4	1,8...3,4	4...15
Objętość	cm ³	10...100	7...25	80...180	200...2000
Trwałość	liczba zdarzeń	5 · 10 ⁷	2 · 10 ⁶	5 · 10 ⁶	(0,1...2) · 10 ⁶

2.2.3. REALIZACJA FUNKCJI LOGICZNYCH

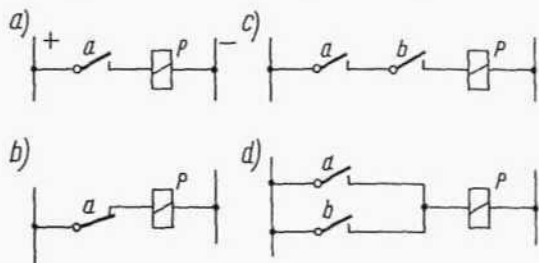
Każdy układ będący połączeniem cewek (przekaźników) i zestyków (przekaźników, przycisków, czujników itp.) można opisać za pomocą funkcji Boole'a, i odwrotnie — każdą funkcję przełączającą można zrea-

Tablica 2-2.

Oznaczenia przekaźników

Cewki	
Cewki dwuzwojnicowe	
Zestyk zwierły	
Zestyk rozwierny	

lizować za pomocą połączenia cewek i zestyków. Przy zapisie funkcji zazwyczaj cewki przełączników oznacza się dużymi literami, a zestyki — małymi; działanie przełącznika P notuje się w postaci $P = 1$ ($p = 1$),



Rys. 2-3. Realizacja podstawowych funkcji logicznych: a) $P = a$; b) $P = \bar{a}$; c) $P = ab$; d) $P = a + b$

niedziałanie — $P = 0$ ($p = 0$). W prostym układzie z rys. 2-3a będzie więc $P = 1$, gdy $a = 1$, oraz $P = 0$, gdy $a = 0$, czyli

$$P = a$$

W układzie z rys. 2-3b P działa, gdy nie działa A , czyli

$$P = \bar{a}$$

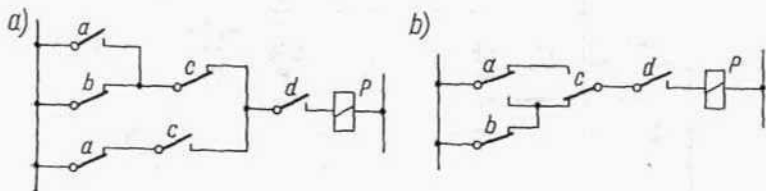
na rys. 2-3c P działa, gdy działa A i B , więc

$$P = a \cdot b$$

natomiast w przypadku jak na rys. 2-3d P działa, gdy działa A lub B

$$P = a + b$$

Wynikają stąd ogólne zasady: szeregowemu połączeniu zestyków odpowiada iloczyn logiczny, równoległemu — suma logiczna, a zestyk rozwierny jest opisywany negacją. Według tych zasad można np. bez trudu wyznaczyć funkcję realizowaną przez układ z rys. 2-4a:

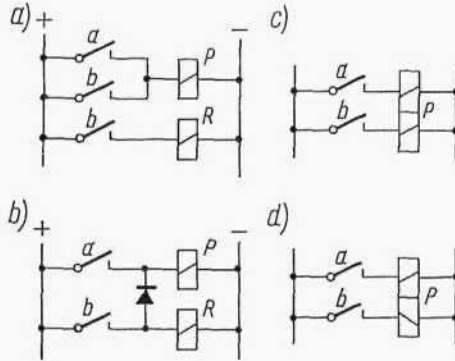


Rys. 2-4. Realizacje funkcji $P = [(a + \bar{b})\bar{c} + \bar{a}c]d$

$$P = [(a + \bar{b})\bar{c} + \bar{a}c]d$$

Narysowanie schematu na podstawie funkcji logicznej również nie **nastęca** trudności.

W celu zmniejszenia liczby sprężyn stykowych można połączone jednostronnie zestyki: zwierny i rozwierny, zastąpić jednym zestykiem przełącznym (rys. 2-4b). Inne czysto techniczne metody zmniejszania liczby zestyków (ogólne metody będą podane niżej) polegają na wykorzystaniu



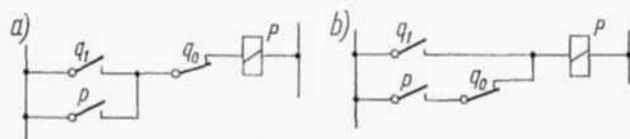
Rys. 2-5. Przykłady zastosowania prostowników i cewek dwuzwojnicowych:
a,b) $P = a + b$, $R = b$; c) $P = a + b$ albo $P = ab$; d) $P = a\bar{b} + \bar{a}b$

cewek wielozwojnicowych i — przy zasilaniu prądem stałym — prostowników. Włączenie w obwód prostownika umożliwia zastąpienie jednym zestykiem dwóch zestyków jednoimiennych z różnych układów, bez tworzenia niepożądanych obwodów (rys. 2-5a, b).

Zwojnice przekaźnika mogą również realizować funkcje logiczne. Jeśli w układzie z rys. 2-5c do działania przekaźnika wystarczy przepływ prądu przez jedną tylko (którąkolwiek) zwojnicę, to układ realizuje funkcję $P = a + b$, jeśli natomiast do zadziałania jest niezbędny przepływ prądu przez obydwie zwojnice, funkcja będzie miała postać $P = a \cdot b$. W układzie z rys. 2-5d, przy równoczesnym zasilaniu obu zwojnic, strumienie magnetyczne znoszą się, więc $P = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$. Zamiana jednego zestyku na rozwierny daje $P = ab + \bar{a}\bar{b}$. Znajomość tych możliwości jest istotna w tych przypadkach, gdy liczba zestyków (np. od czujników, przyrządów pomiarowych itp.) jest mała i nie może być zwiększona. Zakres

przedstawionych metod można rozszerzyć, zastępując zestyki całymi zespołami zestyków.

Pamięć, czyli zachowanie pewnych stanów układu, w układach przekaźnikowych realizuje się przez podtrzymanie działania przekaźnika własnym zestykiem tego przekaźnika. Możliwe są tu dwa warianty, przedstawione na rys. 2-6. W pierwszym przypadku zwarcie zestyku załącza-



Rys. 2-6. Podstawowe układy realizujące pamięć a) $P = (x + p)\bar{w}$; b) $P = x + p\bar{w}$

jącego q_1 powoduje zadziałanie przekaźnika (przy nie działającym zestyku q_0) i stan $P = 1$ utrzymuje się, niezależnie od stanu zestyku q_1 , aż do chwili zmiany stanu zestyku wyłączającego q_0 ; $q_0 = 1$ zawsze wyłącza przekaźnik P . W drugim przypadku zadziałanie przekaźnika P następuje tak samo, ale zestyk q_0 wyłącza przekaźnik tylko przy $q_1 = 0$. Są to więc układy z priorytetem wyłączania (a) lub załączania (b)

$$\text{a) } P = (q_1 + p)\bar{q}_0 \quad \text{b) } P = q_1 + p\bar{q}_0$$

2.3. ELEMENTY PÓLPRZEWODNIKOWE

2.3.1. ELEMENTY KOMBINACYJNE

W układach przełączających bezzestykowych wartości logiczne 0 i 1 są przenoszone przez sygnały o różnej postaci fizycznej, a zadaniem elementów kombinacyjnych jest realizowanie na tych sygnałach prostych funkcji logicznych. W układach półprzewodnikowych nośnikiem informacji jest zazwyczaj napięcie elektryczne. Jego zerowa wartość jest najczęściej przyjmowana za sygnał logiczny 0, a wartość o wyższym poziomie — za sygnał 1. To przyporządkowanie nosi nazwę *konwencji dodatniej* i będzie przyjęte we wszystkich niżej opisanych realizacjach. W *konwencji ujemnej* niższy poziom napięcia przyjmuje się za 1, a wyższy za 0, co