

A	$x_1 x_2$						y
	00	01	11	10			
0	1	2	0	3	0		
1	0	2	0	3	1		
2	1	0	0	3	1		
3	1	2	0	0	1		

Rys. 4-25. Przykład tablicy przejść i wyjść

Żaden warunek występowania par podziałów nie może tu być spełniony, pozostają więc 3 możliwości:

- wybrać dwa podziały prawidłowe (dla czterech stanów jest to łatwe) posługując się kryterium minimalnej liczby zmian,
- wybrać podział $\tau_1 = \{\overline{0,3}; \overline{1,2}\}$, gdyż $\tau_1 \geq \pi_w(X_2)$ i $\tau_1 \geq \pi_w(X_3)$, a drugi podział dobrać jak wyżej,
- zrezygnować z wartości minimalnej k i wybrać trzy pierwsze podziały wewnętrzne.

Trzecie rozwiązanie narzuca kod nieminimalny:

0-000

1-100

2-010

3-001

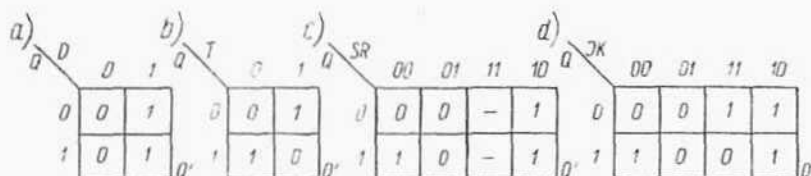
ale jest to wersja najlepsza, jeśli element pamięciowy nie jest zbyt kosztowny lub złożony.

4.2.5. ELEMENTY PAMIĘCI I FUNKCJE WZBUDZEŃ

Pamięć układów sekwencyjnych synchronicznych jest budowana z elementów będących prostymi (elementarnymi) układami Moore'a. Elementy te winny spełniać następujące dwa warunki:

- muszą mieć *pełny system przejść*, tzn. możliwość bezpośredniego przechodzenia z dowolnego stanu (wewnętrznego) do dowolnego stanu;
- muszą mieć *pełny system wyjść*, tzn. każdy stan wewnętrzny powinien odpowiadać innemu stanowi wyjść (stan wyjść jednoznacznie określa stan wewnętrzny).

Ze względu na drugi warunek — stan wewnętrzny i stan wyjść elementarnego układu pamięci są zwykle utożsamiane. W praktyce stosuje się wyłącznie elementy o dwóch stanach, więc stany te i wyjścia są oznaczane symbolem Q_i , o wartościach 0 i 1 ($i = 1, 2, \dots, k$). Elementy pamięci mogą mieć różną budowę i niekiedy są złożonym układem logicznym, ale ponieważ podstawową częścią ich wyposażenia jest zawsze prosty przerzutnik, zwykle wszystkie elementy pamięci nazywane są też przerzutnikami. W układach synchronicznych najczęściej stosowane są 4 typy przerzutników, opisane w rozdz. 2.3. We wszystkich tych przerzutnikach zmiana Q następuje pod wpływem impulsu taktującego c , a wejścia q określają charakter tych zmian.



Rys. 4-26. Tablica przejść podstawowych przerzutników synchronizowanych

Przerzutnik D ma jedno wejście $q_D^{1)}$; wartość sygnału wejściowego (*wzbudzenia*) jest przekazywana bez zmian na wyjście, wobec czego przerzutnik ten działa jak element opóźniający. Z tablicy przejść na rys. 4-26a wynika, że

$$Q' = D$$

Wobec tego, każda zakodowana tablica przejść, określająca sygnały Q' na podstawie Q i X , może być uważana za tablicę wzbudzeń, wyznaczającą sygnały wzbudzenia D na podstawie Q i X . Jeśli zakodowana tablica przejść jest zestawiona w postaci tablicy Karnaugh, można z niej bezpośrednio wyznaczyć minimalne postacie funkcji określających wartości wzbudzeń D_i .

¹⁾ Dla uproszczenia zapisu zamiast oznaczeń q_D, q_T, q_R itd., będą stosowane symbole D, T, R itd.

Przerzutnik T ma również tylko jedno wejście $q_T(T)$. Jeśli sygnał wejściowy ma wartość 0, stan Q nie ulega zmianie, jeśli natomiast $T = 1$ stan Q zmienia wartość na przeciwną. Z tablicy przejść tego układu (rys. 4-26b) wynika, że

$$Q' = QT + \bar{Q}\bar{T} = (Q + T)(\bar{Q} + \bar{T})$$

Zależność między Q' , Q i T nie jest tu na tyle prosta, by można było określić wzbudzenia T bezpośrednio na podstawie zakodowanej tablicy przejść, więc niezbędne będzie utworzenie pomocniczej tablicy wzbudzeń.

Przerzutnik SR ma wejście $q_S(S)$ służące do ustawiania stanu $Q = 1$ i wejście $q_R(R)$, służące do ustawiania stanu $Q = 0$. Równoczesne występowanie stanu 1 na wejściach R i S jest zabronione, więc obowiązuje warunek $S \cdot R = 0$. Z tablicy przejść tego elementu (rys. 4-26c) otrzymuje się

$$Q' = Q \cdot \bar{R} + S = (Q + S)\bar{R}$$

Przerzutnik JK ma wejścia o roli takiej jak wejść S i R w poprzednim elemencie, z tym że równoczesne występowanie stanu 1 na wejściach J i K jest dozwolone; przerzutnik zmienia wtedy swój stan (z 0 na 1 i z 1 na 0). Opisuje to tablica przejść z rys. 4-26d, z której wynika zależność

$$Q' = Q \cdot \bar{K} + \bar{Q} \cdot J = (Q + J)(\bar{Q} + \bar{K})$$

Z porównania tablic przejść (rys. 4-26) i opisujących je równań można wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) jeśli w przerzutniku SR przyjmie się $R = \bar{S}$, to

$$Q' = QS + S = S$$

czyli przerzutnik będzie działał jak przerzutnik typu D (przy czym $D = S$);

- 2) jeśli w przerzutniku JK przyjmie się $K = \bar{J}$, to

$$Q' = QJ + \bar{Q}\bar{J} = J$$

a więc również uzyska się działanie typu D (przy czym $D = J$);

3) jeśli w przerzutniku JK przyjmie się $K = \bar{J}$, to

$$Q' = Q\bar{J} + \bar{Q}J$$

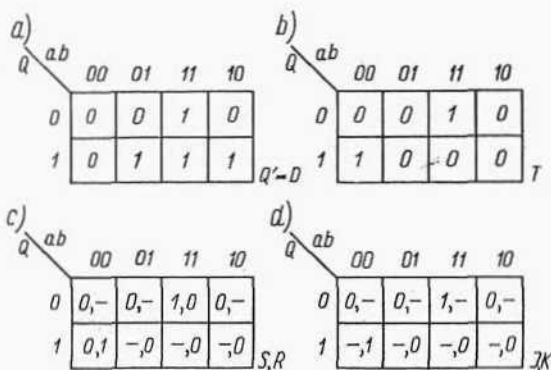
czyli przerzutnik będzie działał jak przerzutnik typu T (przy czym $T = K = J$). Przekształcenia te potwierdzają wnioski z p. 2.3.

Oprócz wejść D , T , S , R , J i K oraz — zwykle pomijanych na schematach — wejść c , przerzutniki mają zawsze wejścia w lub z , służące do ustawiania pamięci w stan początkowy, np. po załączeniu zasilania lub wykryciu błędu w pracy. Sygnały w i z działają niezależnie od sygnału taktującego c , a ponieważ opisujące je funkcje są zazwyczaj proste, dobiera się je po zakończeniu właściwej syntezy.

Tablica 4-1

Tablica przerzutników

$Q-Q'$	D	T	SR	JK
0 0	0	0	0 -	0 -
0 1	1	1	1 0	1 -
1 0	0	1	0 1	- 1
1 1	1	0	- 0	- 0



Rys. 4-27. Tablice wzbudzeń sumatora szeregowego

Najbardziej naturalna metoda wyznaczania funkcji wzbudzeń polega na utworzeniu *tablicy wzbudzeń*, na podstawie zakodowanej tablicy przejść. Tablica wzbudzeń będzie miała współrzędne takie, jak tablica przejść, ale wewnątrz zamiast Q , będą występowały sygnały wzbudzenia q , przeprowadzające układ ze stanu Q do Q' . Wyznaczanie tych wzbudzeń na podstawie podanych wyżej równań i tablic elementów nie jest łatwe i dlatego wygodniej jest zestawiać cechy elementów pamięci w postaci tabl. 4-1. W tablicy tej pokazano jaką wartość musi mieć sygnał wzbudzenia, aby odpowiedni przerzutnik przeszedł ze stanu Q do stanu Q' . Na tej podstawie bez trudności można już wypełnić każdą kratkę tablicy

wzbudzeń. Na przykład dla sumatora szeregowego (rys. 4-5b), tablica przejść ma postać jak na rys. 4-27a. Ponieważ $D = Q'$, jest to równocześnie tablica wzbudzeń dla przerzutnika D , więc

$$D = ab + Qa + Qb = (a+b)(Q+a)(Q+b)$$

Stosując zalecenia z tablicy 4-1, dla przerzutnika T uzyskuje się tablicę wzbudzeń jak na rys. 4-27b. Sygnały 1 występują tu tylko w tych kratkach, w których stan przerzutnika ulega zmianie, więc

$$T = Q\bar{a}\bar{b} + \bar{Q}ab$$

Jeśli ma być zastosowany przerzutnik SR – na podstawie tablicy 4-1 we wszystkich kratkach, w których $Q = 0$ przechodzi w $Q = 0$, należy wpisać $(0, -)$, tam gdzie $Q = 0$ przechodzi w $Q' = 1$ trzeba wpisać $(1, 0)$ itd. Z utworzonej tak tablicy (rys. 4-27c) otrzymuje się

$$S = ab \quad R = \bar{a}\bar{b}$$

Taki sam wynik uzyskuje się dla przerzutnika JK z tablicy na rys. 4-27d

$$J = ab \quad K = \bar{a}\bar{b}$$

Można to przewidzieć, gdyż w przypadku $RS = 0$ będzie zawsze $J = S$ oraz $K = R$.

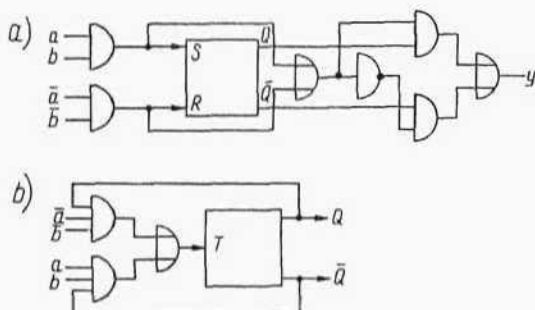
Sygnał wyjściowy układu otrzymuje się z zakodowanej tablicy wyjść; na podstawie rys. 4-5b (z $A = Q$) można wyznaczyć

$$\begin{aligned} y &= Q(\bar{a}\bar{b} + ab) + \bar{Q}(\bar{a}\bar{b} + ab) = \\ &= Q(\bar{a}\bar{b} + ab) + \bar{Q}(\bar{a}\bar{b} + ab) \end{aligned}$$

Pełny schemat sumatora szeregowego, z wykorzystaniem przerzutnika SR (najprostszy układ) przedstawiono na rys. 4-28a, natomiast układ wzbudzeń w przypadku przerzutnika T – na rys. 4-28b.

Wyznaczanie funkcji wzbudzeń przerzutników T , SR oraz JK za pomocą odrębnych tablic może być stosowane, gdy rodzaj przerzutnika jest z góry określony (np. jedyny przerzutnik w danym systemie elementów). Jeśli jednak liczba przerzutników k jest większa od dwóch, a rodzaj przerzutnika należy dopiero określić, wybierając najprostszy układ, budowanie odrębnych tablic jest bardzo pracochłonne. W takim

przypadku dogodniej jest korzystać z *uniwersalnej tablicy wzbudzeń*. Jest to zakodowana tablica przejść w której wyróżniono (np. przez pogrubienie) te wartości Q' , które nie są równe Q . Tak więc tablica z rys. 4-27a przybierze postać jak na rys. 4-29a, tablica z rys. 4-21b zmieni się



Rys. 4-28. Schematy sumatora szeregowego: a) pełny schemat z przerzutnikiem SR, b) schemat wzbudzeń z przerzutnikiem T

a) Q' ab

	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

Q'

b) $x_1 x_2$ $Q_1 Q_2$

	00	01	11	10
00	01	11	10	00
01	11	01	00	10
11	10	00	01	11
10	00	10	11	01

$Q'_1 Q'_2$

c) x $Q_1 Q_2 Q_3$

	0	1
000	010	010
001	—	—
011	—	—
010	110	111
110	100	101
111	101	101
101	000	000
100	000	000

$Q'_1 Q'_2 Q'_3$

Rys. 4-29. Przykłady uniwersalnych tablic wzbudzeń

w tabl. z rys. 4-29b, a rys. 4-23d — w rys. 4-29c. Interpretacja uzyskanych w ten sposób cyfr „grubych” i „cienkich” zależy od typu stosowanego przerzutnika.

Dla przerzutnika D pogrubianie nie jest potrzebne, więc wszystkie zera traktuje się jak 0, a wszystkie jedynki — jak 1, i z tablicy Karnaugh

wypisuje się odpowiednią postać funkcji. Jeśli zbiór kombinacji argumentów dla których Q' jest w tablicy opisane przez 0, 1, 0, 1 oznaczy się odpowiednio przez F^0 , F^1 , F^0 , F^1 , a nieokreślonym wartościom Q' przypisze się symbol F^x , to funkcję wzbudzeń przerzutnika D można zapisać w postaci

$$D = \sum [F^1, F^1(F^x)]$$

albo

$$D = \prod [F^0, F^0(F^x)]$$

Dla przerzutnika T pogrubione cyfry oznaczają właśnie te przypadki, w których powinno być $T = 1$ (gdyż należy zmienić wartość Q), natomiast dla wszystkich cyfr cienkich powinno być $T = 0$. Wobec tego

$$T = \sum [F^1, F^0(F^x)]$$

albo

$$T = \prod [F^1, F^0(F^x)]$$

Dla przerzutnika SR 1 oznacza te pozycje, w których musi być $S = 1$, natomiast 1 — podobnie jak kreski, oznaczają pozycje gdzie S może mieć dowolną wartość, gdyż Q nie ulega tu zmianie. Podobnie wyznacza się wartości R , więc

$$S = \sum [F^1(F^1, F^x)] \quad R = \sum [F^0(F^0, F^x)]$$

albo

$$S = \prod [F^0, F^0(F^1, F^x)] \quad R = \prod [F^1, F^1(F^0, F^x)]$$

Dla przerzutnika JK powiększa się jeszcze liczba pozycji nieokreślonych, gdyż każda zmiana wartości Q może być wywołana podaniem sygnału 1 na jedno lub obydwa wejścia przerzutnika. Wobec tego:

$$J = \sum [F^1(F^0, F^1, F^x)] \quad K = \sum [F^0(F^1, F^0, F^x)]$$

albo

$$J = \prod [F^0(F^0, F^1, F^x)] \quad K = \prod [F^1(F^1, F^0, F^x)]$$

Wartości funkcji wzbudzeń, w zależności od symbolu w uniwersalnej tablicy i rodzaju przerzutnika, zebrane są w tablicy 4-2. Oczywiście uniwersalna tablica skraca syntezę tylko wtedy, gdy manipulacje zamiany

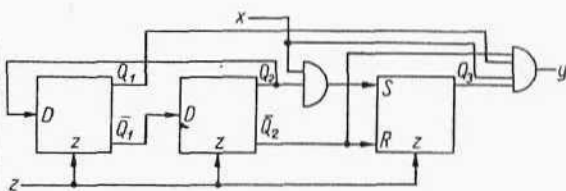
wykonuje się w pamięci i bezpośrednio z tej tablicy wyznacza się odpowiednie grupy Karnaugh'a. Czynności te wydają się wprawdzie bardzo zagmatwane, ale już przy niewielkim doświadczeniu w posługiwaniu się tablicami Karnaugh'a znacznie upraszczają proces syntezy.

Na podstawie rys. 4-29a i za pomocą tablicy 4-2 wyznaczenie wzbudzeń uzyskanych poprzednio nie jest trudne.

T a b l i c a 4-2

Tablica przerzutników

	D	T	S	R	\bar{y}	K
0	0	1	0	1	-	1
1	1	1	1	0	1	-
0	0	0	0	-	0	-
1	1	0	-	0	-	0



Rys. 4-30. Schemat układu selektora tetrad

Podobnie — z rys. 4-29b otrzymuje się kolejno:

$$\begin{aligned}
 D_1 &= Q_2 \bar{x}_2 + \bar{Q}_2 x_2 & D_2 &= \bar{Q}_1 \bar{x}_1 + Q_1 x_1 \\
 T_1 &= \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 x_2 + \bar{Q}_1 Q_2 \bar{x}_2 + Q_1 Q_2 x_2 + Q_1 \bar{Q}_2 \bar{x}_2 \\
 T_2 &= \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 \bar{x}_1 + \bar{Q}_1 Q_2 x_1 + Q_1 Q_2 \bar{x}_1 + Q_1 \bar{Q}_2 x_1 \\
 S_1 &= \bar{Q}_2 x_2 + Q_2 \bar{x}_2 & R_1 &= Q_2 x_2 + \bar{Q}_2 \bar{x}_2 \\
 S_2 &= \bar{Q}_1 \bar{x}_1 + Q_1 x_1 & R_2 &= Q_1 \bar{x}_1 + \bar{Q}_1 x_1
 \end{aligned}$$

Ponieważ

$$S_1 R_1 = 0 \quad \text{i} \quad S_2 R_2 = 0, \quad \text{więc}$$

$$\bar{y}_1 = S_1; \quad K_1 = R_1; \quad \bar{y}_2 = S_2; \quad K_2 = R_2$$

Do kodowania tablicy z rys. 4-29b (rys. 4-21b) były użyte podziały realizujące zależność $\tau_1 \rightleftharpoons \tau_2$ i dlatego, zgodnie z przewidywaniami, $D_1, S_1, R_1, \bar{y}_1, K_1$ zależą od Q_2 , a $D_2, S_2, R_2, \bar{y}_2, K_2$ są funkcjami Q_1 . Nie dotyczy to wzbudzeń T , które w istotny sposób zależą od liczby zmian stanu, a ta w rozważanym przykładzie nie była i nie może być zmniejszona. Wynika stąd wniosek korekcyjny w stosunku do przyjętej wyżej kolejności działań przy kodowaniu: jeśli przewiduje się stosowanie

przerzutników typu T — należy przy wyborze podziałów kierować się przede wszystkim kryterium minimalnej liczby zmian.

Z tablicy na rys. 4-29c można otrzymać:

$$\begin{aligned} D_1 &= Q_2 & D_2 &= \bar{Q}_1 & D_3 &= Q_2 Q_3 + Q_2 x \\ T_1 &= Q_1 \bar{Q}_2 + \bar{Q}_1 Q_2 & T_2 &= Q_1 Q_2 + \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 = \bar{T}_1 & T_3 &= Q_1 \bar{Q}_2 Q_3 + Q_2 \bar{Q}_3 x \\ S_1 &= J_1 = Q_2 & S_2 &= J_2 = \bar{Q}_1 & S_3 &= J_3 = Q_2 x \\ R_1 &= K_1 = \bar{Q}_2 & R_2 &= K_2 = Q_1 & R_3 &= K_3 = \bar{Q}_2 \end{aligned}$$

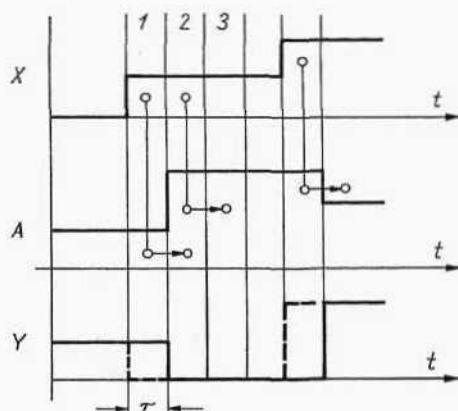
Schemat jednej z możliwych wersji układu przedstawiono na rys. 4-30. Sygnał Z sprowadza układ do stanu początkowego 0 (000). Funkcja y wynika z rys. 4-23a,d:

$$y = Q_1 \bar{Q}_2 Q_3 x$$

4.3. UKŁADY ASYNCHRONICZNE STATYCZNE

4.3.1. ZALEŻNOŚCI CZASOWE

W układach asynchronicznych statycznych wszelkie zmiany stanu wewnętrznego (stanu pamięci) i stanu wyjść są wywołane bezpośrednio zmianami stanu wejść, przy czym — zgodnie z zależnościami (4-7) — o tym, jaki będzie „nowy” stan A^{t+1} , decydują „stare” stany A^t i X^t . Na rys. 4-31 kropkami i linią łączącą pokazano sposób tworzenia nowego



Rys. 4-31. Zależności czasowe między sygnałami w układzie asynchronicznym