

pierwotną (b). Stanów pseudorównoważnych nie ma, więc na wykresie skracania każdy stan występuje oddzielnie. W wierszach 3 i 6 tablicy pierwotnej występują stany nieokreślone, więc nie łącząc tych stanów z innymi można spodziewać się pewnego uproszczenia układu. Z minimalnej tablicy Moore'a (rys. 4-43d) otrzymuje się:

$$\begin{aligned}\pi(X_0) &= \{\overline{0}, 2; \overline{1}; (3)\} & \pi(X_1) &= \pi(X_3) = \pi(y) = \{\overline{0}, 3; \overline{1}, 2\} = \pi_1 \\ \pi(X_2) &= \{\overline{0}; \overline{1}, 3; (2)\}, & \text{więc } \tau_2 &= \{\overline{0}, 2; \overline{1}, 3\}\end{aligned}$$

Z zakodowanej tablicy można uzyskać łatwo

$$\begin{aligned}w_1 &= Dc & w_2 &= Q_1\bar{c} \\ z_1 &= \bar{D}c & z_2 &= \bar{Q}_1\bar{c}\end{aligned}$$

co odpowiada strukturze stosowanej w przerzutnikach Master-Slave (rys. 2-23a). Jeśli układ ma być budowany z elementów NAND, to — decydując się na realizację Q_2 za pomocą przerzutnika, można z zakodowanej tablicy otrzymać:

$$\begin{aligned}F^1(w_2) &= (1--0) & F^1(z_2) &= (0--0) \\ F^1(Q_1') &= \begin{pmatrix} 1--0 \\ 1-1- \\ --11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1--0 & | & - \\ -1- & | & 0 \end{pmatrix} & F^0(Q_1') &= \begin{pmatrix} 0--0 \\ --01 \end{pmatrix} \\ & & & \hline & & & (0--0|-) \end{aligned}$$

przy czym zmienne są wypisywane w kolejności: Q_1, Q_2, D, c .

$F^1(w_2)$ oraz $F^1(z_2)$, realizowane jednym elementem NAND, wyznaczają \bar{w}_2 oraz \bar{z}_2 , czyli potrzebne wzbudzenia przerzutnika. Ponieważ w obydwu tych wyrażeniach występuje \bar{c} , dla ujednolicenia usunięto c z $F^1(Q_1')$. Po zastosowaniu wiązki zamiast pojedynczego sygnału \bar{Q}_1 , otrzymuje się schemat (rys. 4-43f) podobny do schematu układu z elementów NOR (rys. 2-22a). W taki sam sposób można zaprojektować rozwiązania statyczne innych typowych przerzutników.

4.4. UKŁADY ASYNCHRONICZNE DYNAMICZNE

4.4.1. PODSTAWOWE PROBLEMY SYNTEZY UKŁADÓW DYNAMICZNYCH

Charakterystyczną cechą układów asynchronicznych dynamicznych jest możliwość wykorzystania dynamicznych stanów wejść, tzn. informacji o charakterze zmian sygnałów wejściowych. Układ o n sygnałach

wejściowych x ma $N = 2^n$ możliwych stanów statycznych wejść X i tyle kolumn występowało w tablicach układów statycznych rozważanych wyżej. Jeśli się założy, że przy zmianie X zmienia się tylko jeden sygnał x , to po każdym stanie X^{t-1} może nastąpić n różnych stanów X^t , co oznacza, że istnieje $N_d = n \cdot 2^n$ stanów dynamicznych X^{t-1}/X^t . Ponieważ $N_d \geq N$, więc można przypuszczać, że stany dynamiczne znacznie precyzyjniej określają sytuację w układzie, a wyznaczane z ich pomocą funkcje są prostsze niż w przypadku stanów statycznych. Jeśli ponadto dopuści się możliwość korzystania zarówno ze stanów statycznych jak i dynamicznych, to stopień złożoności układu powinien wyraźnie zmaleć (pod warunkiem, że wyczuwanie stanów dynamicznych nie jest trudne). Praktyczne wykorzystanie stanów dynamicznych całkowicie potwierdza to rozumowanie, ale nastrocza wiele dodatkowych problemów. Główna trudność polega na tym, że stosowanie tablic przejść w przyjętej wyżej postaci jest praktycznie niemożliwe, gdyż łączna liczba stanów wejść statycznych i dynamicznych wynosi 12 dla $n = 2$, 32 dla $n = 3$ itd., a więc już w prostych przypadkach tablice stają się bardzo duże. Jest to przyczyną poszukiwania uproszczonych metod zapisu pracy układu, jednakże nie opracowano dotąd metody uniwersalnej i dla uzyskania w prosty sposób dobrych wyników trzeba metodę dostosowywać do rozważanego przypadku. Niżej będą opisane trzy metody zapisu:

- tablica statyczna¹⁾ ze strzałkami,
- tablica dynamiczna,
- tablica pseudosynchroniczna.

Drugim źródłem problemów w syntezie układów dynamicznych jest duża różnorodność elementów, z których układy te mogą być budowane. Podstawowym elementem wszystkich układów jest przerzutnik wz , ale w niektórych przypadkach dla uproszczenia zapisu funkcji wzbudzeń dogodnie jest stosować przerzutniki jk , rs lub t , powstałe przez przyłączenie do przerzutnika wz dodatkowych elementów impulsowych. W najbardziej rozpowszechnionych zestawach układów scalonych występują wyłącznie przerzutniki synchronizowane, a więc zastosowanie ich w układach asynchronicznych wymaga specjalnego przystosowania metod syntezy. Ponieważ przy $J = K = 1$ wejście c przerzutnika JK

¹⁾ Określenie „tablica statyczna” oznacza tablicę przejść układu statycznego, itp.

można uważać za wejście t , więc najbardziej naturalny sposób wprowadzenia przerzutnika $\mathcal{Y}K$ do układów asynchronicznych polega na uznaniu go za przerzutnik $\mathcal{Y}Kt$. Wejścia \mathcal{Y} i K odpowiednio blokują zmiany wprowadzane sygnałem t , przez co zwiększają się możliwości tego przerzutnika i upraszczają funkcje wzbudzeń. Inne odpowiedniki elementów synchronizowanych — przerzutniki SRt i Dt — można uważać za szczególne przypadki $\mathcal{Y}Kt$.

Następnym czynnikiem różniącym układy dynamiczne jest współzależność czasowa przerzutników. W układach statycznych unika się równoczesnej zmiany dwóch lub więcej sygnałów pamięci, ze względu na wyścigi krytyczne. W układach dynamicznych niebezpieczeństwo to można ominąć, gdyż impulsowe sygnały wzbudzeń trwają zazwyczaj przez określony czas, niezależny od chwilowych stanów pamięci. Jeśli więc zmienia się stan przerzutników Q_1 i Q_2 z (00) na (11) pod wpływem stanu X^{t-1}/X^t , to można mieć pewność, że stan (11) zostanie wpisany, niezależnie od tego czy stanem pośrednim będzie (01) czy (10). Trzeba tylko sprawdzić, czy te stany pośrednie nie spowodują szkodliwych sytuacji na wyjściu układu.

Gdy zmiana X zmienia stan więcej niż jednego przerzutnika, powstają dwie możliwości:

— wszystkie przerzutniki zmieniają stan równocześnie (z dokładnością tolerancji parametrów), albo

— pod wpływem zmian X zmienia stan tylko część przerzutników, druga część zmienia stan pod wpływem zmiany w pierwszej grupie, trzecia część jest uzależniona od zmian w drugiej grupie itd.

Pierwszy przypadek oznacza działanie *równoległe* (*synchroniczne*) przerzutników, a drugi — działanie *szeregowe* (*asynchroniczne*) lub *szeregowo-równoległe*. Zmiana pracy z równoległej na szeregową często umożliwia uproszczenie układu, ale wiąże się ze zwiększeniem czasu pełnej reakcji układu i wydłużeniem stanów przejściowych (pośrednich). W układach pracujących równoległe czas trwania stanu przejściowego jest różnicą między czasami reakcji elementów, natomiast w układach o działaniu szeregowym — jest równy pełnemu czasowi reakcji elementu.

Z powyższych rozważań wynika, że podstawą podziału metod syntezy dynamicznych układów asynchronicznych mogą być: sposób zapisu działania układu, rodzaj stosowanych elementów lub uzależnienia

czasowe. Dla klasyfikacji układów najistotniejszy jest rodzaj elementów i pod tym kątem będą rozważane zasady syntezy.

4.4.2. UKŁADY Z PRZERZUTNIKAMI *wz*

Analiza tablicy z rys. 4-44a (powtórzonej z rys. 4-41) wykazuje, że jedyną przeszkodą w uznaniu stanów 0 i 2 za zgodne jest niestabilny stan 1 w pierwszym wierszu. Gdyby stany 0 i 2 były zgodne, układ

a)

ab \ A	00	01	11	10	y
0	0	0	2	1	0
1	0	0	1	1	1
2	0	0	2	2	0

b)

ab \ A	00	01	11	10	y
0	0	0	2	-	0
1	0	0	1	1	1
2	0	0	2	2	0

c)

ab \ A	00	01	11	10	y
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1

Rys. 4-44. Wprowadzanie wymuszeń dynamicznych do tablicy układu bramkowania generatora

miałby tylko jeden obwód pamięci pozostając układem Moore'a, a więc byłby z pewnością prostszy niż w poprzednich rozwiązaniach. Stan niestabilny, który jest powodem większej złożoności układu, wymusza przejście ze stanu 0 do stanu 1, gdy sygnały wejściowe ab zmienia się z 00 na 10, czyli pod wpływem $X^{t-1}/X^t = 00/10$. Jeśli ten stan dynamiczny wykorzystać do wpisania stanu 1 w ten sposób, by wzbudzenie dynamiczne było silniejsze od innych, to zamiast przeszkadzającego stanu 1 można ustalić dowolny inny (a więc — kreskę). Na rys. 4-44b wymuszenie dynamiczne opisano strzałką wewnątrz tablicy. Strzałka ta, która ma początek w kratce P , zmienia kierunek w Z i koniec ma w kratce K , oznacza, że przy zmianie stanu wejść z P do Z , zostanie wpisany stan wewnętrzny K . Ponieważ w stanie 2 (trzeci wiersz tablicy) zmiana X z 00 na 10 nie występuje, więc nic nie stoi na przeszkodzie, aby połączyć stany 0 i 2 w jeden stan (rys. 4-44c). Stany wewnętrzne, które można zastąpić jednym stanem wprowadzając strzałki, będą nazywane *stanami łącznymi*. Dwa stany A_1 i A_2 są łączne jeśli:

- 1) nie są stabilne przy tym samym X ;
- 2) mają wyjścia niesprzeczne lub wprowadzenie strzałki nie powoduje więcej niż jednej zmiany stanu wyjść Y .

Pierwszy warunek uwalnia od konieczności sprawdzania jak zareaguje na strzałkę stan, w którym nie jest ona właściwie potrzebna. Nie zmienia to zakresu łączenia stanów, jeśli rozpatruje się tablicę minimalną (w sensie statycznym), w której wszystkie stany pseudorównoważne zostały już ze sobą połączone.

Zadaniem drugiego warunku jest zapobieżenie pojawianiu się krótkotrwałych zmian Y przy przechodzeniu przez stan Z ; na drodze PZK stan wyjść może się zmienić najwyżej raz. Gdy odpowiadające stanom łącznym wyjścia są niesprzeczne, przy przejściu z P do Z nie następuje żadna zmiana Y , więc warunek jest zawsze spełniony. Wynika stąd wniosek, że uzyskanie tablicy Moore'a jest łatwiejsze, nie trzeba sprawdzać drugiego warunku na łączność stanów.

Jeśli dla jakiegoś X stany łączne przechodzą w różne stany niestabilne, należy te przejścia wymuszać strzałkami, a kratki Z uczynić stabilnymi. W stanie stabilnym zazwyczaj nie działają sygnały statyczne wzbudzeń, więc wzbudzenia dynamiczne (oznaczone strzałkami) nie napotykają przeszkód.

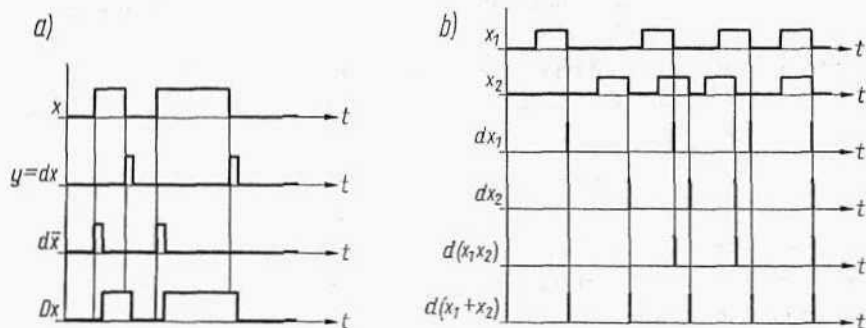
Jeśli istnieje kilka możliwości łączenia stanów w pary łączne, należy wybrać taką wersję, która wymaga najmniejszej liczby strzałek.

Po zastąpieniu wszystkich par stanów łącznych jednym stanem uzyskuje się minimalną tablicę przejść układu dynamicznego (niekiedy w dwóch wersjach — Moore'a i Mealy'ego), którą należy zakodować. Ponieważ w tablicy pozostają przejścia statyczne, więc obowiązują wszystkie zasady kodowania układów statycznych. Strzałki nie wprowadzają żadnych krytycznych ograniczeń czy wymagań; jeśli każda strzałka zmienia stan tylko jednego przerzutnika wtedy nieco łagodniejsze są wymagania dotyczące elementów impulsowych, ale nie jest to sprawa istotna.

Z zakodowanej tablicy ze strzałkami należy następnie wyznaczyć wzbudzenia elementów pamięciowych. Stany niestabilne tablicy przejść określają wzbudzenia w taki sam sposób jak w układach statycznych. Odpowiednie sygnały otrzymuje się za pomocą układu kombinacyjnego, a więc czas ich trwania jest zależny od czasu trwania stanów wejściowych statycznych X i A tego układu. Takie sygnały będą nazywane *sygnałami potencjałowymi*. We wszystkich rozpatrywanych wyżej układach wystę-

powoły wyłącznie sygnały potencjałowe (z wyjątkiem sygnałów wewnętrznych niektórych przerzutników synchronizowanych).

Stany dynamiczne nie mogą być określone za pomocą układu kombinacyjnego, gdyż z definicji obejmują one zależność od dwóch momentów: $t-1$ oraz t . Wprowadzenie typowej pamięci dla uwzględnienia X^{t-1} sprowadza całą realizację do układu statycznego i chociaż taka metoda syntezy niekiedy może być użyteczna, nie daje spodziewanych korzyści. Rzeczywiste uproszczenie układu uzyskuje się natomiast, wprowadzając dla wyczuwania stanów dynamicznych specjalne elementy o pamięci nietrwalej (rys. 2-17, 2-18, 2-21). Elementy te reagują na zmianę sygnału wejściowego (zazwyczaj z 1 na 0) i generują sygnał wyjściowy $y = 1$, o czasie trwania ograniczonym parametrami wewnętrznymi elementu. Sygnały, które zmieniają swą wartość niezależnie od innych sygnałów, będą nazywane *sygnałami impulsowymi*, a więc omawiane elementy generują sygnały impulsowe. Typowy element tej grupy, z rys. 2-17, ma zero-jedynkowe sygnały wejściowe i wyjściowe, do których można stosować wszelkie zasady opisu boole'owskiego, natomiast sam element nie może być opisany żadną używaną dotychczas funkcją logiczną, gdyż zmiana y z 1 na 0 (rys. 2-17b) następuje przy niezmienionym stanie wejścia. Aby mimo to sformułować zapis dokonywanego w tym elemencie przekształcenia, wprowadza się operator d , opisujący relację między y i x na rys. 4-45a, zależnością $y = dx$. Bezpośrednio z wykresu



Rys. 4-45. Wykresy czasowe ilustrujące działanie operatorów d i D

czasowego wynikają zależności:

$$\begin{aligned} x \cdot dx &= 0 & x \cdot d\bar{x} &= d\bar{x} \\ \bar{x} \cdot dx &= dx & x \cdot \bar{dx} &= x & \bar{dx} &\neq d\bar{x} \end{aligned} \quad (4-15)$$

Zamiast zmiennej x może występować funkcja logiczna wielu zmiennych, na przykład (rys. 4-45b):

$$d(x_1 \cdot x_2) = x_1 \cdot dx_2 + x_2 \cdot dx_1 + dx_1 \cdot dx_2 \quad (4-16)$$

$$d(x_1 + x_2) = \bar{x}_1 \cdot dx_2 + \bar{x}_2 \cdot dx_1 \quad (4-17)$$

Jeśli w rozpatrywanym przedziale czasu zmienna x_1 nie ulega zmianie, to $dx_1 = 0$ i $d(x_1 \cdot x_2) = x_1 \cdot dx_2$.

W układach stykowych i pneumatycznych bezpośrednia realizacja sygnału dx może być trudna, natomiast łatwo można uzyskać niewielkie opóźnienie sygnału. Oznaczając sygnał opóźniony względem x przez Dx (rys. 4-45a) można łatwo otrzymać zależności:

$$\begin{aligned} dx &= \bar{x} \cdot Dx & x + dx &= x + Dx \\ D(x_1 \cdot x_2) &= Dx_1 \cdot Dx_2 & D(x_1 + x_2) &= Dx_1 + Dx_2 & D\bar{x} &= \overline{Dx} \end{aligned} \quad (4-18)$$

Związki te umożliwiają przejście od operatora D do d lub przeciwnie. Przykładem może być układ z rys. 2-21.

Jeśli przy zmianie wartości sygnału z x_1 na \bar{x}_1 powstaje sygnał impulsowy $y = dx_1$, to przy zmianie stanu $x_1 x_2$ na $\bar{x}_1 x_2$ można uzyskać sygnał impulsowy $y = x_2 \cdot dx_1$, a zatem każdy stan dynamiczny może być przyczyną powstania odpowiedniego sygnału impulsowego. Można to łatwo wykorzystać do uzyskiwania sygnałów wzbudzenia przerzutnika wx . Na przykład w tablicy z rys. 4-44c kratka końcowa K strzałki wyznacza stan 1, więc strzałka określa sygnał w . Kratkom P i Z odpowiada stan dynamiczny $\frac{00}{10}$ czyli $\bar{a}\bar{b}/a\bar{b}$, a ponieważ kratki te są w wierszu $Q = 0$, więc strzałka opisuje sygnał impulsowy

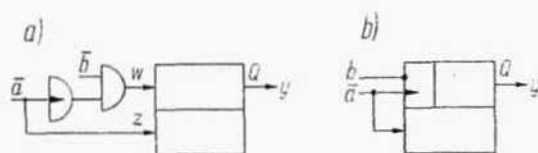
$$w = \bar{Q}\bar{b} \cdot d\bar{a}$$

Wyrażenie to można uprościć, gdyż sygnał $\bar{Q}\bar{b} \cdot d\bar{a}$ również może wpisywać stan 1 do przerzutnika, więc

$$w = \bar{Q}\bar{b} \cdot d\bar{a} + \bar{Q}\bar{b} \cdot \bar{d}a = \bar{b} \cdot d\bar{a}$$

Sygnał $b \cdot d\bar{a}$ nie zawsze wpisuje 1, więc dalsze uproszczenie w jest niemożliwe. Taka metoda upraszczania wyrażeń, przez kolejne sprawdzanie i rugowanie poszczególnych zmiennych, nie jest tak elegancka jak metody minimalizacji zwykłych formuł logicznych, ale jest najprostsza.

W przypadku tablicy z rys. 4-44c łatwo można wyznaczyć $y = Q$ $z = \bar{a}$, więc odpowiedni układ ma schemat jak na rys. 4-46a. Tego typu układy, w których występują zarówno sygnały potencjałowe, jak i im-



Rys. 4-46. Układy bramkowania generatora: a) z czynnym elementem impulsowym; b) z biernym elementem impulsowym

pulsowe, bywają nazywane *układami potencjałowo-impulsowymi*, w odróżnieniu od układów potencjałowych statycznych.

Wzbudzenia o postaci $\bar{x}_1 \cdot dx_2$ można łatwo zrealizować za pomocą elementów z rys. 2-18. Ponieważ elementy te muszą bezpośrednio współpracować z przerzutnikiem, najlepiej będzie rysować je jako część składową przerzutnika (rys. 2-19a). Rozpatrywany schemat przybierze w tym przypadku postać jak na rys. 4-46b. Porównanie uzyskanych układów generatora bramkowanego (rys. 4-38, 4-41, 4-46) umożliwia ocenę zalet rozwiązań dynamicznych.

Syntezę układu można przeprowadzać w następującej kolejności:

- 1) z minimalnej (dla układu statycznego) tablicy przejść wyznaczyć pary stanów łącznych;
- 2) połączyć stany łączne tak, aby przy minimalnej liczbie przerzutników w tablicy występowało najmniej strzałek;
- 3) zakodować tablicę;
- 4) określić funkcje wzbudzeń i wyjść;
- 5) zminimalizować formuły sygnałów impulsowych;
- 6) narysować schemat z wybranych elementów.

Przy określaniu funkcji potencjałowych wzbudzeń można korzystać ze stosowanej poprzednio uniwersalnej tablicy wzbudzeń. Należy pamię-

tać, że w i z mogą zawierać równocześnie człon potencjałowy i człon impulsowy. Przykłady wyjaśniają zasady postępowania.

W tablicy na rys 4-42c łączne są tylko stany 0 i 1. Po ich połączeniu uzyskuje się tablicę układu Mealy'ego (rys. 4-47a,b) z których można otrzymać

$$w = \bar{Q}\bar{x}_2 \cdot dx_1 \quad z = x_2 \quad y = \bar{Q}x_1$$

Sygnal dx_1 wpisuje stan 1 niezależnie od wartości Q , a przy $x_2 = 1$ zmiana x_1 nie występuje, więc ostatecznie $w = dx_1$. Układ jest przedstawiony na rys. 4-47c.

W tablicy z rys. 4-43d łączne są stany 0 i 3 oraz 1 i 2. Po ich połączeniu otrzymuje się tablicę układu Moore'a z dwiema strzałkami (rys. 4-47d), z której wynika, że

$$w = D \cdot dc \quad z = \bar{D} \cdot dc \quad y = Q$$

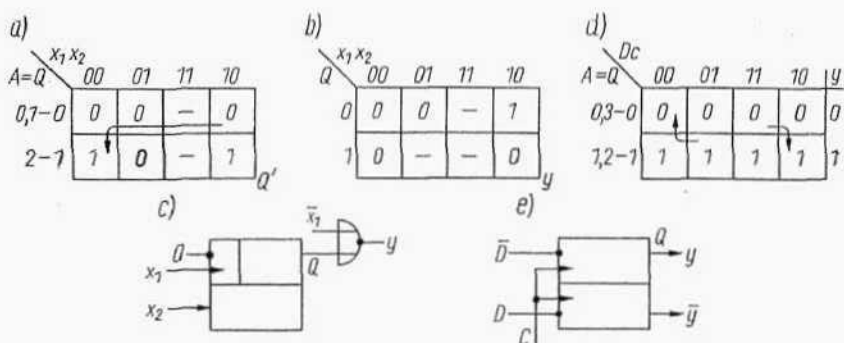
Układ z rys. 4-47e może więc być częścią składową układów synchronicznych.

Bardziej złożone zadanie rozwiązano na rys. 4-48. Z minimalnej tablicy przejść statycznego układu Moore'a wynika, że łączne są pary stanów: (0,2), (1,4), (2,3), (3,5). Ponieważ stany 2 i 3 mają różne stany wyjść, z pary (2,3) można zrezygnować. Połączenie wszystkich pozostałych par prowadzi do tablicy z rys. 4-48b, ale łatwo można zauważyć, że taka minimalizacja nie jest potrzebna, gdyż przy czterech stanach liczba przerzutników będzie taka sama, a strzałek może być mniej. Najwięcej strzałek występuje w pierwszym i drugim wierszu tablicy, więc najlepiej będzie zrezygnować z łączenia stanów 0 i 2, albo 1 i 4. Po przyjęciu pierwszego wariantu otrzymuje się tablicę z rys. 4-48c, z której można wyznaczyć podziały:

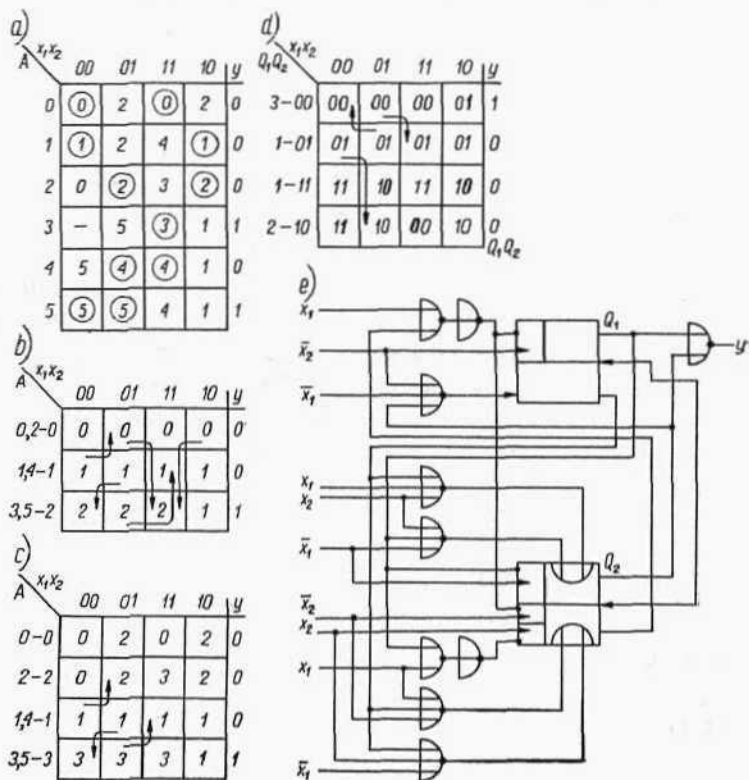
$$\begin{aligned} \pi(X_0) = \pi(X_1) &= \{\bar{0}, \bar{2}; \bar{1}; \bar{3}\} \leq \tau_1 \\ \pi(X_2) &= \{\bar{0}, \bar{2}; \bar{1}; \bar{3}\} = \tau_1 \\ \pi(X_3) &= \{\bar{0}; \bar{1}; \bar{2}, \bar{3}\} \leq \{\bar{0}, \bar{1}; \bar{2}, \bar{3}\} = \tau_2 \end{aligned}$$

Z zakodowanej wg τ_1 i τ_2 tablicy (rys. 4-48d) otrzymuje się funkcje wzbudzeń:

$$\begin{aligned} w_1 &= \bar{Q}_1 Q_2 \bar{x}_1 \cdot d\bar{x}_2 & z_1 &= Q_2 \bar{x}_1 x_2 & y &= \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 \\ w_2 &= Q_1 \bar{x}_1 \bar{x}_2 + \bar{Q}_1 x_1 \bar{x}_2 + \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 x_2 \cdot d\bar{x}_1 \\ x_2 &= Q_1 \bar{x}_1 x_2 + Q_1 x_1 \bar{x}_2 + \bar{Q}_1 Q_2 \bar{x}_1 \cdot dx_2 + w_1 \end{aligned}$$



Rys. 4-47. Przykłady projektowania układów dynamicznych: a,b,c) układu Mealy'ego; d, e) układu Moore'a (przerzutnika typu D)



Rys. 4-48. Przykład projektowania układu dynamicznego

Strzałka łącząca niesąsiednie wiersze tablicy zmienia stan dwóch przerzutników i dlatego składnikiem z_2 jest w_1 . Po uproszczeniu formuł opisujących sygnały impulsowe wyznacza się

$$\begin{aligned}w_1 &= Q_2 \bar{x}_1 \cdot d\bar{x}_2 & z_1 &= \bar{Q}_2 x_1 x_2 & y &= \bar{Q}_1 \bar{Q}_2 \\w_2 &= Q_1 \bar{x}_1 \bar{x}_2 + \bar{Q}_1 x_1 \bar{x}_2 + \bar{Q}_1 \cdot d\bar{x}_1 \\z_2 &= Q_1 \bar{x}_1 x_2 + Q_1 x_1 \bar{x}_2 + \bar{Q}_1 \bar{x}_1 \cdot dx_2 + w_1\end{aligned}$$

Schemat odpowiedniego układu jest przedstawiony na rys. 4-48e. Zastosowano tu elementy NOR i przerzutniki z przystawkami impulsowymi. W niektórych systemach dołączenie dwóch elementów impulsowych do bazy jednego tranzystora w przerzutniku jest dozwolone. Należy zauważyć, że realizacja funkcji w_1 za pomocą elementu impulsowego czynnego (rys. 2-17) jest niedopuszczalna, gdyż powoduje wyścig krytyczny. Jeśli zmiana $x_2 (d\bar{x}_2 = 1)$ wyzeruje Q_2 , to będzie $w_1 = 0$ i przerzutnik Q_1 może nie zdążyć zmienić stanu na 1, co spowoduje przejście do stanu stabilnego 00. Gdy w_1 jest realizowane elementem impulsowym biernym (rys. 2-18), zmiana Q_2 nie powoduje nagłej zmiany w_1 , więc pożądaný stan przerzutnika Q_1 zostanie wymuszony. Przypadek ten ilustruje ogólną zasadę: jeśli $dx = 1$ zmienia wartość F , to wyrażenie $F \cdot dx$ powinno być realizowane elementem impulsowym biernym.

4.4.3. UKŁADY Z PRZERZUTNIKAMI jk, sr, t

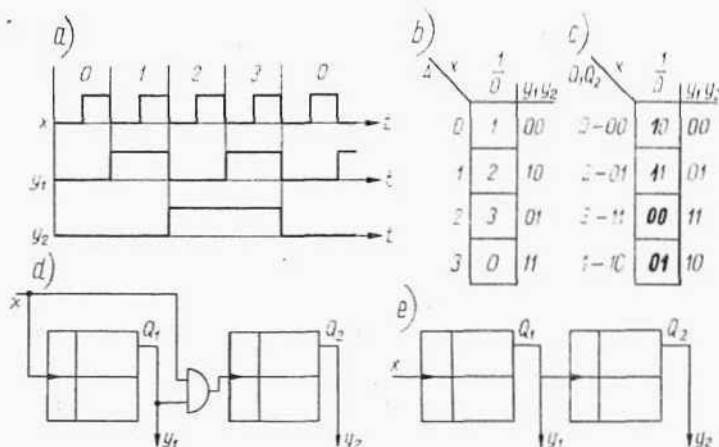
Gdy już na początku syntezy wiadomo, że projektowany układ będzie realizowany w wersji dynamicznej, można jego działanie opisać dynamiczną tablicą przejść. Kolumny takiej tablicy (rys. 4-10b, 4-11d, 4-12c) są opisane stanami dynamicznymi wejść, co ułatwia bezpośrednie wyznaczanie wzbudzeń impulsowych.

Na podstawie dynamicznej tablicy przejść można łatwo określić wzbudzenia przerzutników wz , ale istnieje duża grupa układów, w których powtarza się pewien zestaw (większy od przerzutnika wz) i celowe jest uważanie go za element podstawowy. Na rys. 4-49a przedstawiono wykres czasowy typowego licznika dwójkowego, zliczającego impulsy x modulo 4. Dynamiczna tablica przejść ma tu tylko jedną kolumnę.

Po zakodowaniu (kod narzucają podziały zewnętrzne) można z rys. 4-49c określić wzbudzenia przerzutników wz

$$\begin{aligned} w_1 &= \bar{Q}_1 dx & w_2 &= Q_1 \cdot \bar{Q}_2 dx \\ z_1 &= Q_1 dx & z_2 &= Q_1 \cdot Q_2 dx \end{aligned}$$

Charakterystyczną cechą uzyskanych wyrażeń jest powtarzanie się członów $\bar{Q}_i dx$ w w_i , oraz $Q_i dx$ — w z_i , co odpowiada określonej strukturze układowej (rys. 2-19c). Zamiast wielokrotnie powtarzać te człony,



Rys. 4-49. Projekt licznika mod 4: a) wykres czasowy; b) tablica przejść i wyjść; c) tablica zakodowana; d) układ równoległy; e) układ szeregowy

można odpowiadający im układ uznać za rodzaj elementu pamięciowego — przerzutnik JK . Łatwo sprawdzić, że wykazuje on podobne cechy jak przerzutnik JK , ale zmienia stan nie pod wpływem c , lecz opadającego zbocza impulsów wejściowych. Wzbudzenia j_1 i k_1 można określić z w_1 i z_1 , albo z rys. 4-49c w taki sam sposób, jak przy wyznaczaniu funkcji f i K

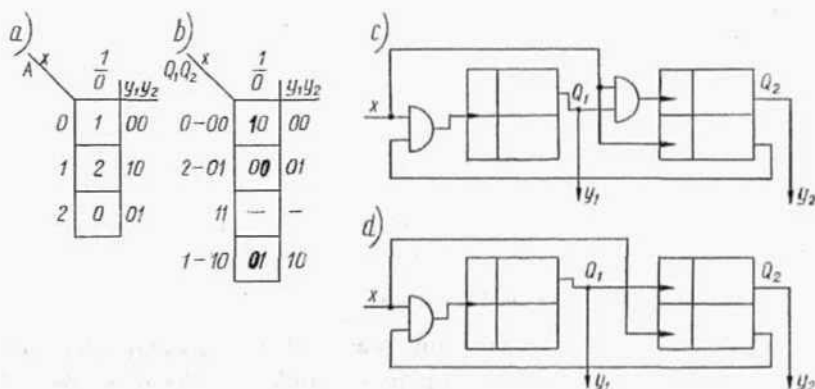
$$j_1 = x \quad k_1 = x \quad \text{więc} \quad j_1 = k_1 = t_1 = x$$

Podobnie z tablicy można uzyskać wyrażenia:

$$j_2 = Q_1 x \quad k_2 = Q_1 x \quad \text{więc} \quad j_2 = k_2 = t_2 = Q_1 x$$

Te zależności nie wynikają wprost z funkcji w_2 i z_2 , i są prawdziwe tylko wtedy gdy $Q_1 dx = d(Q_1 x)$. W przypadku gdy wszystkie zmiany w układzie są spowodowane przez dx równanie to jest oczywiście prawdziwe, ale w bardziej złożonych przypadkach zastosowanie przerzutników jk ze wzbudzeniem o postaci $F \cdot x$ wymaga sprawdzenia czy $d(Fx) = Fdx$.

Układ o wyznaczonych wzbudzeniach przedstawiono na rys. 4-49d. Jego dalsze uproszczenie może być osiągnięte przez zamianę równoczesnej pracy przerzutników na pracę kolejną (szeregową). Ogólne warunki przejścia do układu szeregowego można zapisać następująco:



Rys. 4-50. Projekt licznika mod 3: a) tablica pierwotna; b) tablica zakodowana; c) układ równoległy; d) układ szeregowy

Jeśli w układzie równoległym funkcja j_a , k_a lub t_a ma postać $FQ_b k_b$ ($F\bar{Q}_b j_b$), to zmieniając tę postać na $F \cdot Q_b$ ($F \cdot \bar{Q}_b$) uzyska się układ szeregowy (F jest dowolną funkcją). Prawdziwość tej zależności można łatwo sprawdzić zauważywszy, że stan Q_b może się zmienić z 1 na 0 tylko wówczas, gdy k_b zmieni się z 1 na 0, a więc zmiany wartości z 1 na 0 wyrażen $Q_b k_b$ i Q_b następują w tych samych warunkach, tylko przesunięte w czasie (o czas reakcji przerzutnika). Podobnie równoważne są wyrażenia $\bar{Q}_b j_b$ i \bar{Q}_b .

W rozpatrywanym wyżej przykładzie było $t_2 = Q_1 x = Q_1 k_1$, więc przyjmując $t_2 = Q_1$ otrzymuje się układ szeregowy (rys. 4-49e).

Tablica z rys. 4-50a opisuje licznik modulo 3 (rys. 4-11). Z zakodowanej tablicy można otrzymać

$$\begin{aligned} j_1 &= \bar{Q}_2 x & j_2 &= Q_1 x \\ k_1 &= \bar{Q}_2 x (x) & k_2 &= x \end{aligned}$$

Jeśli postać j i k może być jednakowa lub podobna, należy je wypisać, jeśli jednak istnieje również postać prostsza, wypisuje się ją jako drugi wariant (w nawiasie).

Przyjmując $j_1 = k_1 = t_1$, otrzymuje się schemat z rys. 4-50c, ponieważ jednak może być $k_1 = x$, więc $j_2 = Q_1 x = Q_1 k_1$ i możliwa jest realizacja szeregową, jak na rys. 4-50d.

Jeśli $j_a k_a = 0$, to zamiast przerzutnika jk może być zastosowany przerzutnik sr . Jego wejścia zakazujące można wykorzystać do realizacji iloczynów, co sprowadza układ do wersji z przerzutnikami wz , która jest bardziej ogólna.

Gdy dynamiczna tablica przejść ma więcej niż jedną kolumnę, stosowanie przerzutników jk , sr oraz t napotyka na trudności i często jest niemożliwe. Metody przekształcania tablicy dla zmniejszenia liczby stanów dynamicznych będą podane niżej.

4.4.4. UKŁADY Z PRZERZUTNIKAMI JKt , Srt , Dt

Nowoczesne zestawy elementów scalonych nie zawierają elementów impulsowych biernych, ale mają przerzutniki synchronizowane JK, SR i D, których wejście synchronizujące c reaguje na sygnały wejściowe jak typowe wejście dynamiczne. Przy $J = K = 1$ wejście c zmienia stan Q tak samo jak t , a więc przerzutnik JK można wykorzystać w układach asynchronicznych dynamicznych jako przerzutnik JKt ¹⁾.

Syntezę układów z takich przerzutników wykonuje się najprościej, gdy jeden z sygnałów x układu można wprost przyjąć za sygnał taktujący. Można to uczynić zawsze, gdy dynamiczna tablica przejść ma tylko jedną kolumnę, a więc do grupy układów, które łatwo jest projektować tą metodą, należą wszystkie liczniki impulsów.

Gdy jeden z sygnałów x pełni rolę sygnału taktującego, układ można uważać za synchroniczny i stosować wszystkie poznane wyżej metody

¹⁾ W niektórych przerzutnikach skutek działania $c(t)$ zależy od przebiegów J , K w czasie gdy $c = 1$; należy to uwzględnić.