

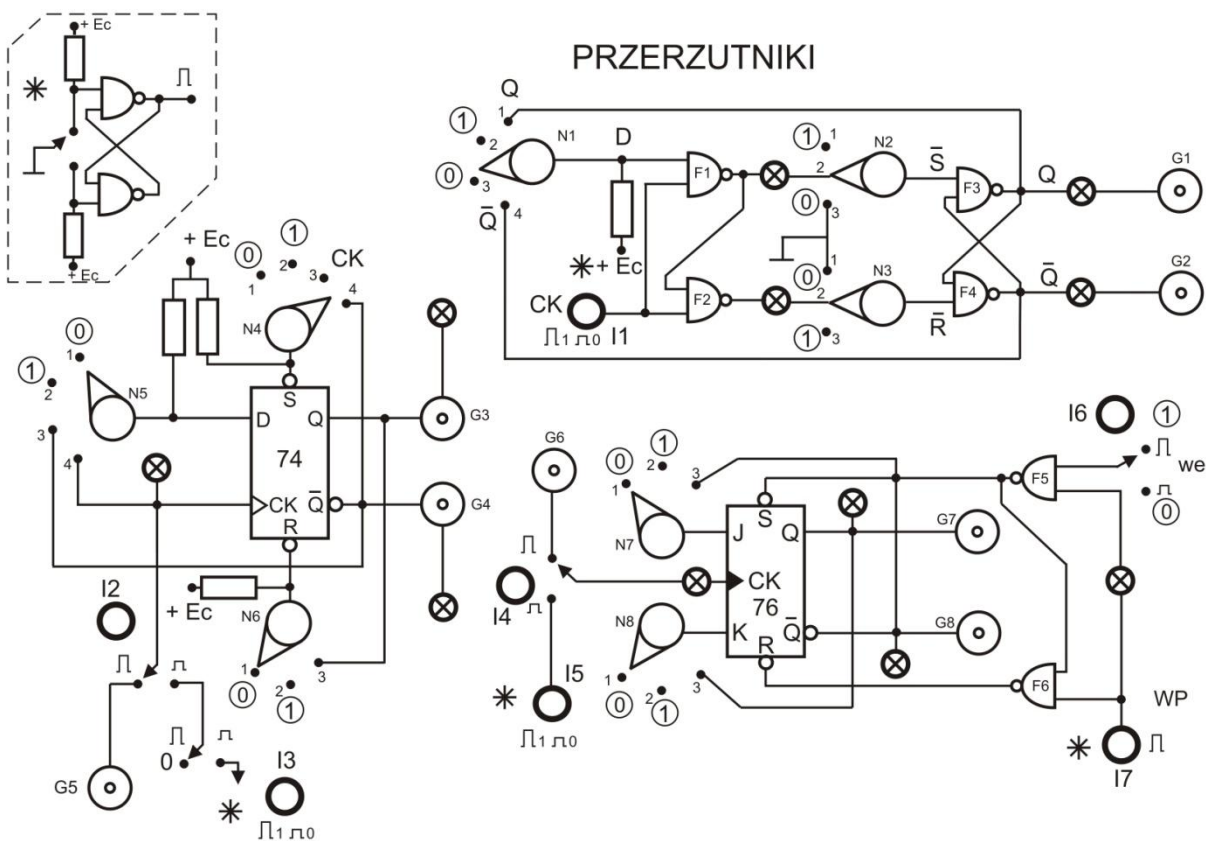
4. Przerzutniki

Łącząc odpowiednio poznane już funktry logiczne możemy otrzymać elementarne układy pamiętające – przerzutniki. Przedstawione zostaną poszczególne ich typy oraz realizacje asynchroniczne i synchronizowane. Szczególny nacisk położono na parametry dynamiczne (czasowe) przerzutników.

Wypożaenie stanowiska:

- model: „Przerzutniki”,
- zasilacz 8 – 15V wtyk mini jack, masa zewnętrzna,
- oscyloskop Rigol DS 1052 + sondy bierne 1/10,
- generator Rigol DG 1022

Schemat płyty czołowej modelu przedstawia rys. 4.1.



Rys.4.1 Schemat płyty czołowej modelu „Przerzutniki”.

Przerzutnik jest elementarnym układem pamiętającym (1 bitowym). Zwykle każdy przerzutnik posiada, podobnie jak pierwotne układy zbudowane z dwóch tranzystorów, dwa wyjścia Q i $\bar{Q}$ (proste i zanegowane). Nazwa przerzutnika wywodzi się od oznaczenia literowego wejść. I tak litery S i R oznaczają ustawianie/zerowanie (set/reset), stąd nazwa przerzutnika SR. Litera D oznacza opóźnienie (delay), przerzutnik D po prostu kopiuje stan wejścia D na

wyjście Q. Natomiast przerzutnik JK jest rozszerzeniem funkcjonalnym przerzutnika SR. Dotyczy to stanu 11 na wejściu. Dla kompletności podano także działanie przerzutnika typu T (wtórny w stosunku do JK). Działanie przerzutników przedstawia tabela 4.1, gdzie Q_0 oznacza stan poprzedni przerzutnika.

Tab. 4.1 Tabele działania przerzutników (różne typy).

D	Q
0	0
1	1

R	S	Q
0	0	Q_0
0	1	1
1	0	0
1	1	*

J	K	Q
0	0	Q_0
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_0}$

T	Q
0	Q_0
1	$\overline{Q_1}$

* oba wyjścia nie są wzajemnie negacją – sytuacja formalnie niepoprawna aczkolwiek także wykorzystywana

Powyższe tabele określają działanie przerzutnika w odpowiedzi na stany jego wejść. Zagadnienie to można odwrócić. Dla założonych zmian stanów na wyjściach dopasujemy konieczne poziomy sygnałów wejściowych. Są to tzw. tabele wzbudzeń. Każda z nich podaje wymagane stany linii wejściowych dla założonych przejść na wyjściach ($0 \rightarrow 0, 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0, 1 \rightarrow 1$). Zbiorcze zestawienie podano w tabeli 4.2.

Tab. 4.2 Tabela wzbudzeń przerzutników dla poszczególnych typów.

$Q_0 \rightarrow Q$		D		S		R		J		K		T
0	0	0		0		X		0		X		0
0	1	1		1		0		1		X		1
1	0	0		0		1		X		1		1
1	1	1		X		0		X		0		0

Q_0 – stan poprzedni , Q – stan następny X- stan dowolny (0 lub 1)

Oprócz podziału na typy (SR, D, JK) przerzutniki można podzielić na:

- asynchroniczne
- synchronizowane

Wyróżnikiem jest obecność w wersji synchronizowanej dodatkowego sygnału zegarowego.

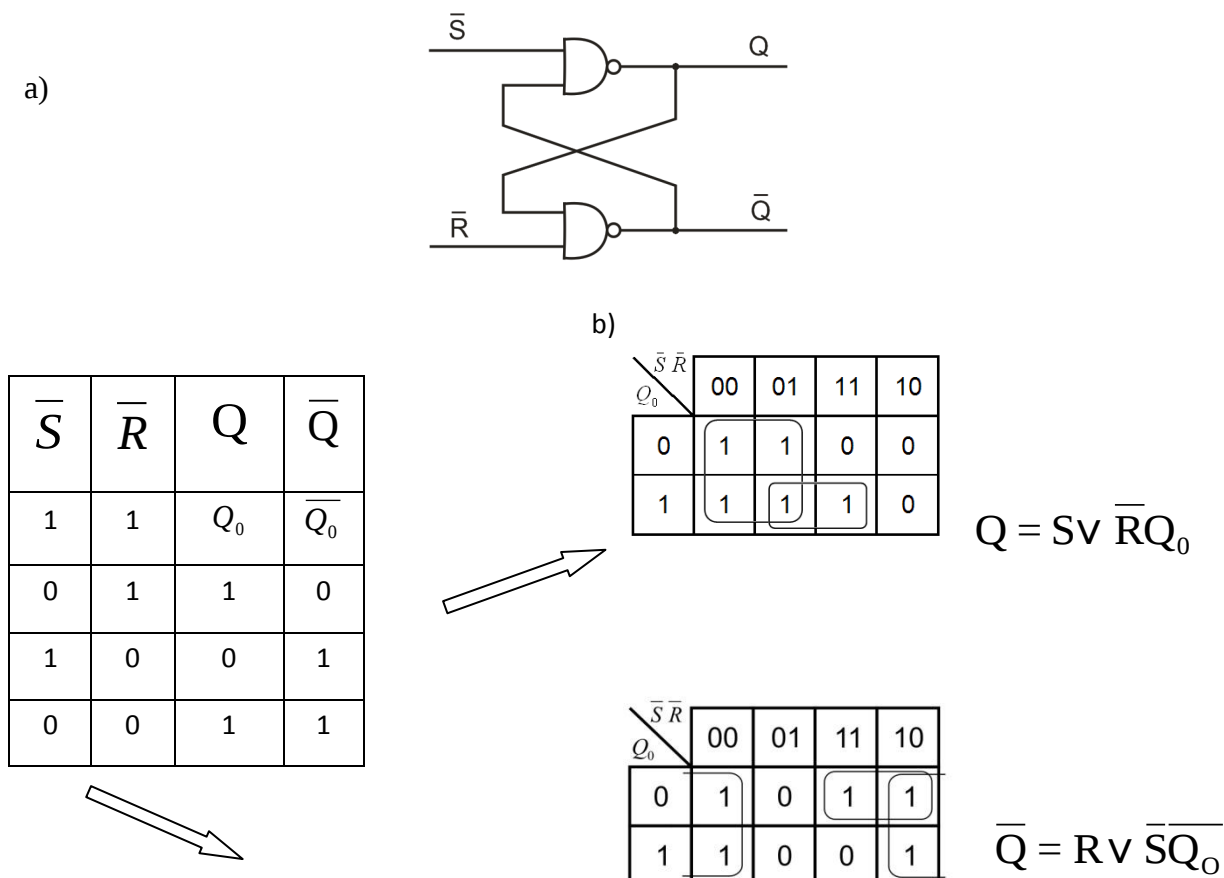
4.1 Przerzutniki asynchroniczne.

Są to układy, w których stan wyjścia zależy bezpośrednio (asynchronicznie) od stanów na wejściu (wejściach). Z przerzutników asynchronicznych można budować tzw. automaty asynchroniczne. Zmiana stanu takiego automatu może następować bezpośrednio po zmianie stanu sygnału wejściowego. Co ciekawe, posługując się teorią automatów asynchronicznych syntezuje się przerzutniki synchronizowane. Te ostatnie umożliwiają budowę bardzo rozpowszechnionych automatów synchronicznych (sekwencyjnych).

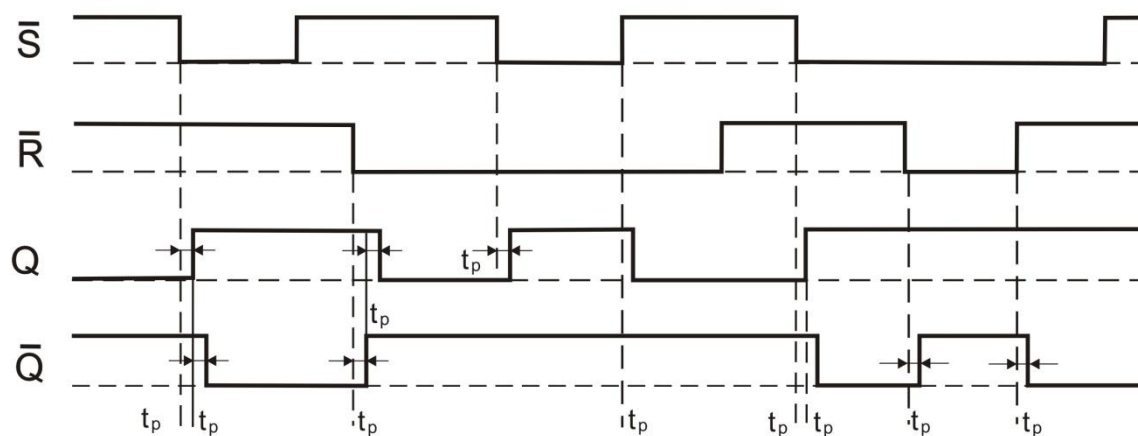
W ćwiczeniu zostaną uwzględnione najczęściej spotykane i stosowane rozwiązania przerzutników asynchronicznych. Ćwiczenie rozpoczyna się od konstrukcji elementarnej, którą tworzą dwa funktry typu NAND (lub NOR). Inne, jak np. OR/AND nie spełniają warunku pamiętania, zaś funktry typu EX-OR (sumy modulo 2) powodują wręcz generację na wyjściach stanów 0-1-0-1.

Schematy podstawowych przerzutników SR, ich tabele prawdy, funkcje dla obu wyjść (Q , $\bar{Q}$) i przykładowe przebiegi czasowe przedstawiono na rysunkach 4.2 i 4.3.

Zawierają one schemat, tabelę prawdy wraz z syntezą funkcji i przebiegi czasowe z uwzględnieniem czasów propagacji. Rys. 4.2 dotyczy rozwiązania wykorzystującego funktry NAND, rys. 4.3 odnosi się do wersji stosującej funktry NOR.



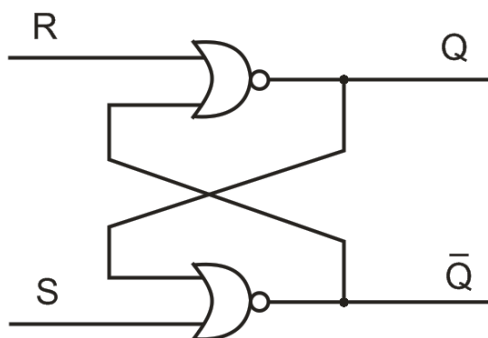
c)



t_p - czas propagacji bramki.

Rys. 4.2 Przerzutnik SR z funktorami NAND: schemat (a), tabela prawdy oraz synteza funkcji (b) i przebiegi czasowe (c).

a)



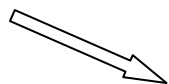
b)

S	R	Q	$\bar{Q}$
0	0	Q_0	$\bar{Q}_0$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0



$\begin{matrix} S \\ R \end{matrix}$	00	01	11	10
Q_0	0	0	0	1
	1	1	0	1

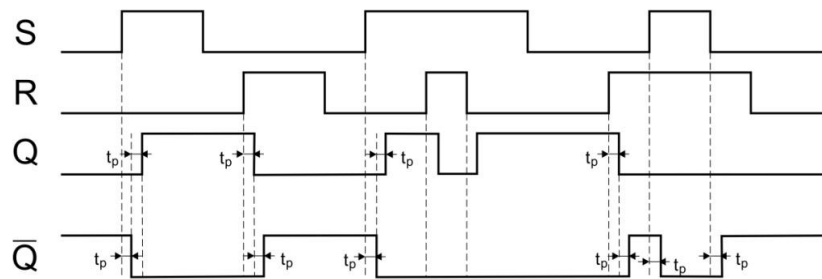
$$Q = \bar{R}(Q_0 \vee S)$$



$\begin{matrix} S \\ R \end{matrix}$	00	01	11	10
Q_0	0	1	1	0
	1	0	1	0

$$\bar{Q} = \bar{S}(\bar{Q}_0 \vee R)$$

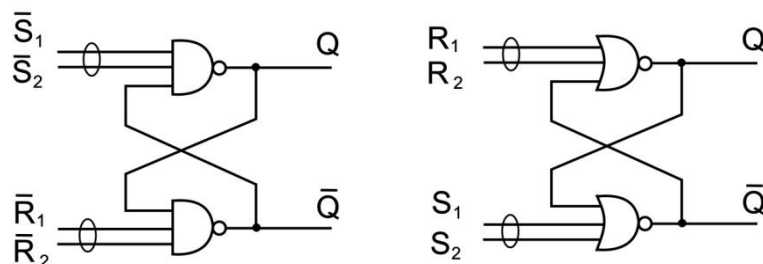
c)



Rys. 4.3 Przerzutnik SR z funktorami NOR: schemat (a), tabela prawdy oraz synteza funkcji (b) i przebiegi czasowe (c).

Działanie tych przerzutników nie wymaga większych komentarzy. Zwróćmy tylko uwagę, że równoczesne stany aktywne na obu wejściach (jedynek dla NAND, zera dla NOR) powodują tylko niezachowanie wzajemnej negacji wyjść. Sytuacja taka może występować przy wykorzystaniu przerzutników SR w automatach asynchronicznych. W równaniach przez Q_0 oznaczono stan poprzedni przerzutnika. Na przebiegach czasowych uwzględniono odcinki „ t_p ” odpowiadające czasom propagacji bramki NAND/NOR. Widzimy też, że zmiana stanu na wyjściach $Q/\bar{Q}$ nie następuje równocześnie.

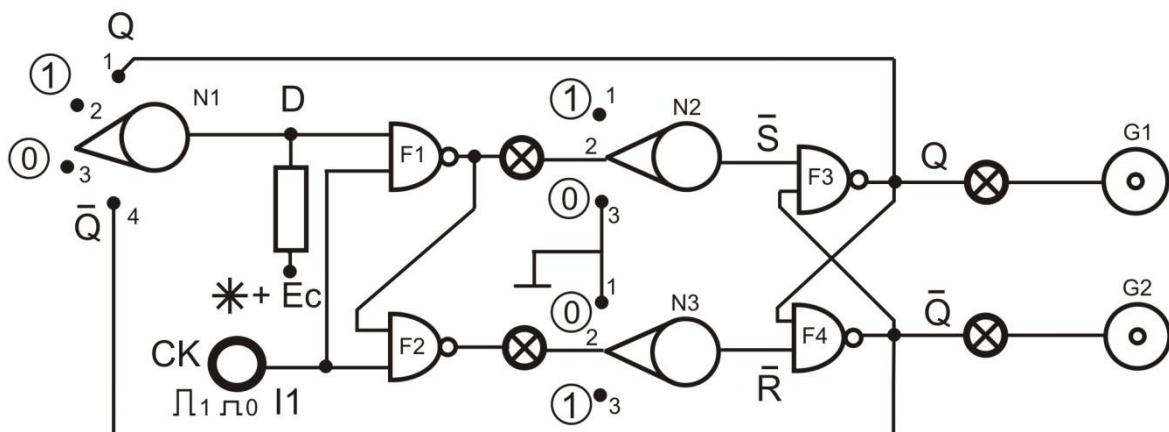
Wejścia SR mogą być zwielokrotniane (rys. 4.4).



Rys. 4.4 Przerzutniki z wejściami wielokrotnymi.

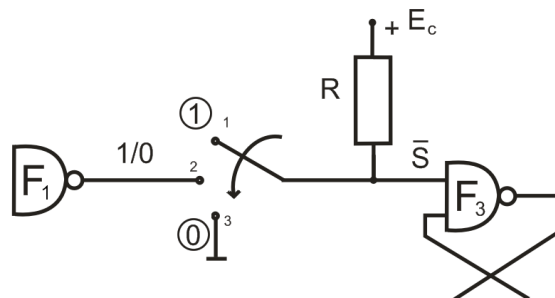
Dla wersji z bramkami NAND, do ewentualnej zmiany stanu przerzutnika, wystarczy jedno aktywne zero, a dla wersji z bramkami NOR jedna aktywna jedynka.

! Sprawdzić działanie przerzutnika asynchronicznego SR zbudowanego z bramek NAND.



| Stany wejść $\bar{S}$ i $\bar{R}$ zadać przy pomocy nastawników N2 i N3. Aby na wyjściach F1/F2 był nieaktywny stan 1 podaj jako zegar CK stan L (I1 zał.).

Należy pamiętać, że zestyk mechaniczny charakteryzuje się nieskoordynowanymi drganiami o czasie trwania nawet do 4-5ms. Przełączając wejście F3 (F4) do stanu 0 w rzeczywistości podajemy „paczkę” impulsów. Nie jest to jednak problemem, gdyż pierwszy impuls zerowy z „paczki” powoduje zmianę stanu przerzutnika SR. Aby wejścia $\bar{S}$ i $\bar{R}$ w czasie przełączania nastawnikami nie były chwilowo z niczym połączone zastosowano nie zaznaczone na ogólnym schemacie rezystory polaryzujące (rys. 4.5).

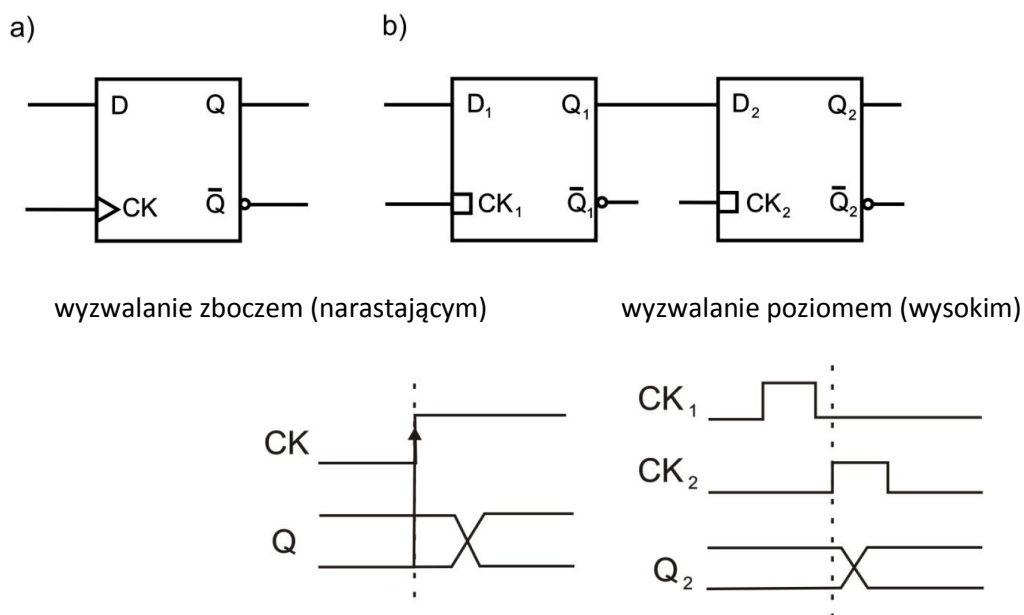


Rys. 4.5 Zabezpieczenia wejść przerzutnika przeciw zakłóceniom przy przełączaniu.

Są one konieczne, gdyż „wiszące” wejścia są podatne na zakłócenia.

4.2 Przerzutniki synchronizowane.

Do budowy automatów sekwencyjnych stosuje się przerzutniki synchronizowane zboczem zegara. Synchronizacja może też następować wyróżnionym poziomem, lecz wtedy zastosowanie w automacie synchronicznym (np. licznik) nie jest możliwe w sposób bezpośredni. Można natomiast posłużyć się takimi przerzutnikami, jeśli dokona się ich podwojenia i odpowiednio ukształtuje podwójny sygnał zegarowy (rys. 4.6).

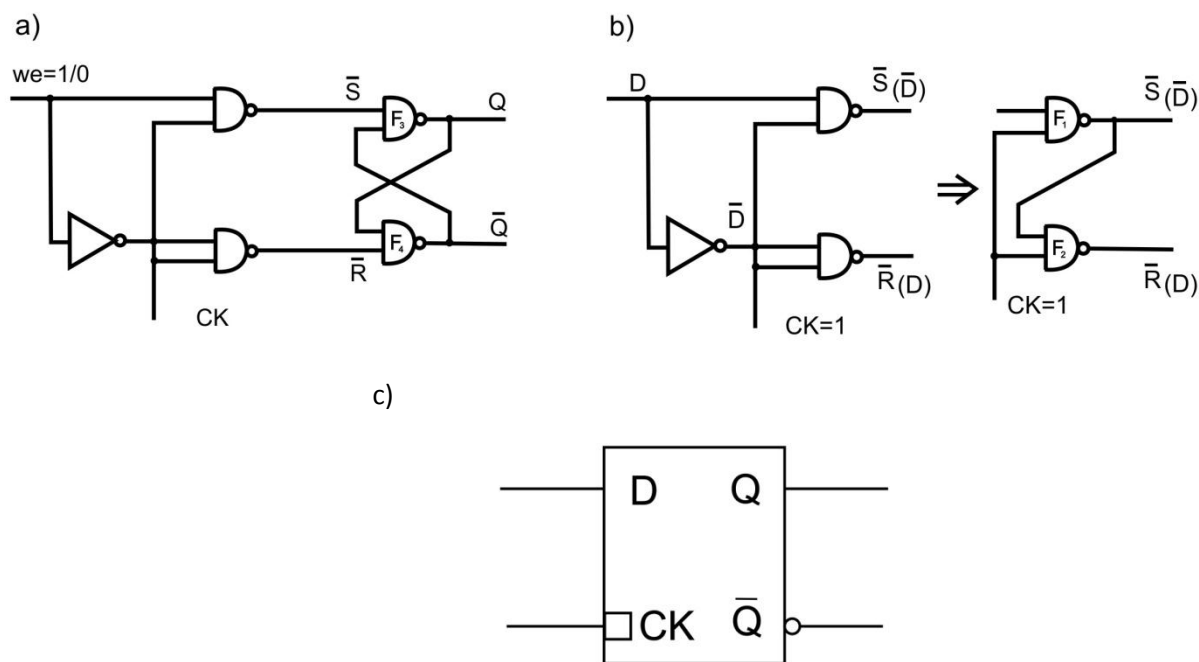


Rys. 4.6 Przerzutnik synchronizowany zboczem (a) i jego wersja zastępcza z dwóch układów synchronizowanych wysokim stanem zegara (b).

4.2.1 Przerzutnik synchronizowany poziomem

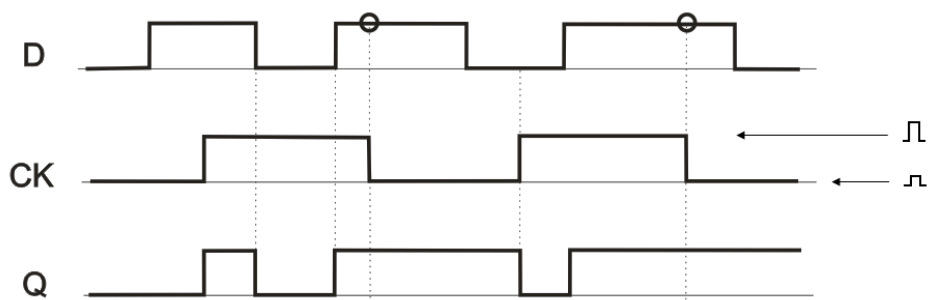
Dołączenie sygnału zegarowego do prostego przerzutnika SR nie ma praktycznego uzasadnienia. Z kolei przerzutnik JK, gdy $J=K=1$ przy aktywnym poziomie zegara będzie stale zmieniał stan na przeciwny.

Synchronizację poziomem stosują się tylko dla przerzutnika typu D, który nazywany jest popularnie przerzutnikiem typu zatrask (latch). Jak dla każdej wersji przerzutnika, jego wyjście to podstawowy układ SR. Jest on poprzedzony układem zamieniającym stan D na odpowiednią parę sygnałów $\bar{S}/\bar{R}$ aktywnych tylko przy wysokim poziomie CK. Prowadzi to do następującego schematu. (rys. 4.7).



Rys. 4.7 Przerzutnik D synchronizowany poziomem: schemat wyjściowy (a), wersja zoptymalizowana (b) i oznaczenie na schemacie ideowym (c).

Należy zauważyć, że dla $CK=1$ zachodzi $Q = we$. Gdy $CK=0$ to $\bar{S} = \bar{R} = 1$ i przerzutnik pozostaje w tym samym stanie. Negator może zostać wyeliminowany (wersja b) bez zmiany czasu propagacji zegar - wyjście. Jeżeli $CK=1$, to obowiązuje działanie $D \rightarrow Q$ (układ jest „przezroczysty”). Po zmianie CK na stan niski przerzutnik zapamiętuje (zatraskuje) ostatni stan z wejścia D . Przykładowe przebiegi czasowe przedstawia rysunek 4.8 (czasy propagacji nie zostały uwzględnione).



Rys. 4.8 Przykładowe przebiegi czasowe dla przerzutnika D typu zatrask.

! Zaobserwować działanie przerzutnika D typu zatrzask.

| N2 i N3 poz. 2.

| Sprawdzić następujące sytuacje:

| a) CK = 1 (I1 wył). Podawać na D stany 0 i 1 (N1 poz. 2 i 1) i obserwować

| stan „wejść” $\bar{S}\bar{R}$ i „wyjść” $Q/\bar{Q}$.

| b) Dla D=0 a potem 1 zmienić stan CK z 1 $\rightarrow$ 0 (I1 wciśnięte) – zauważyć, że | stan Q pozostaje (zatrzasknięcie) a zmiany D (0 - 1) są ignorowane.

| c) Przy CK = 0 połączyć $Q \rightarrow D$ (N1 poz. 1), następnie załączyć aktywny poziom

| zegara (CK = 1 tj. I1 wył.). Zauważyć, że stan przerzutnika nie zmienia się.

| Obserwacje przeprowadzić dla obu początkowych stanów Q (zmieniane wcześniej

| przy CK = 1).

Połączenie Q z D powoduje podtrzymanie istniejącego stanu. Gdy jednak dołączymy do D wyjście zanegowane $\bar{Q}$ to na obu wyjściach uzyskamy komplementarne przebiegi zerojedynkowe. Ich częstotliwość wynika z czasów propagacji bramek.

! Zaobserwować przebiegi na wejściach Q i $\bar{Q}$, gdy $\bar{Q} = D$. Określić częstotliwość

! generowanego przebiegu.

| N2 i N3 poz. 2. Połączyć $\bar{Q} \rightarrow D$ (N1 poz. 4).

| Wyjścia $Q/\bar{Q}$ dołączyć poprzez sondy bierne do obu kanałów oscyloskopu.

f[MHz]	
--------	--

4.2.2 Przerzutniki synchronizowane zboczem.

Spśród przerzutników synchronizowanych zboczem znalazły zastosowanie przerzutniki typu D oraz JK. Wersja SR występuje wewnątrz struktur scalonych (np. rejestry), w przypadku gdy istnieje pewność, że na wejściach nie pojawi się kombinacja S = R = 1. Funkcja opisująca przerzutnik D to po prostu $Q = D$. Natomiast dla przerzutnika JK, na podstawie tabeli otrzymuje się:

$\begin{matrix} JK \\ Q_0 \end{matrix}$	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	1	0	0	1

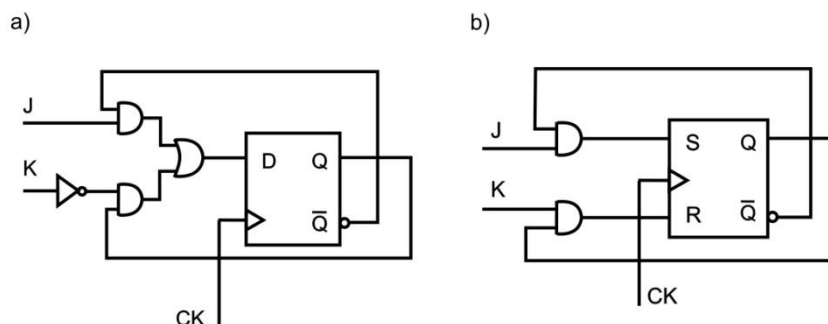
$$Q = J\bar{Q}_0 \vee \bar{K}Q_0 (\vee JK)$$

a dla wyjścia komplementarnego

$$\bar{Q} = \bar{J}Q_0 \vee KQ_0 (\vee \bar{J}\bar{K})$$

Człony $(J\bar{K} / \bar{J}K)$ stosowane w układach kombinacyjnych do eliminacji ewentualnego hazardu dynamicznego są zbędne, gdyż działanie przerzutnika jest i tak synchronizowane.

Formalne przekształcenie przerzutnika D w JK następuje poprzez podłączenie do wejścia D zsyntezowanej powyżej funkcji dla wyjścia Q (rys. 4.9a).



Rys. 4.9 Zamiany przerzutników : D $\rightarrow$ JK (a) i SR $\rightarrow$ JK (b).

W przerzutniku SR stan S=R=1 jest formalnie sprzeczny. Aby przerzutnik ten przejął funkcję przerzutnika JK, dla wejść SR należy stworzyć pomocnicze funkcje logiczne. Będą to funkcje nowych wejść (JK) oraz poprzedniego stanu przerzutnika Q_0 . Posługując się tabelą wzbudzeń przerzutnika SR (tab 4.2) należy wypełnić dwie poniższe tabele Karnaugh – dla wejść S i R. Kryterium doboru pary stanów SR jest informacja, jak para JK w odniesieniu do Q_0 zmienia stan przerzutnika. Stąd mamy układ zamieniający przerzutnik SR na JK (rys. 4.9b).

$Q_0 \backslash JK$	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	X	0	0	X

$$S = \bar{Q}_0 J$$

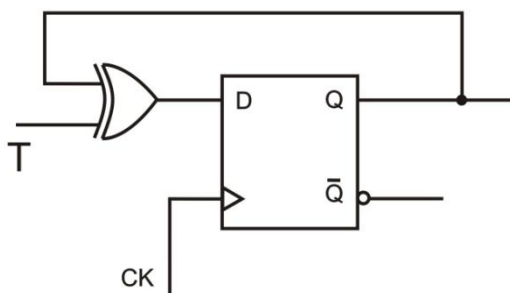
$Q_0 \backslash JK$	00	01	11	10
0	X	X	0	0
1	0	1	1	0

$$R = Q_0 K$$

Przerzutnik typu T nie jest wykonywany jako samodzielna konstrukcja. Przy syntezie liczników, dla przejrzystości wyodrębnia się czasem także te przerzutniki. Zamiana przerzutnika typu JK na typ T jest banalna ($J = T$ i $K = T$). Posiłkując się wyjściowym przerzutnikiem typu D otrzymamy dla jego wejścia, na podstawie tabeli wzbudzeń przerzutnika typu T, poniższą tabelę Karnaugh oraz schemat zastępczy (rys. 4.10).

$Q_0 \backslash T$	0	1
0	0	1
1	1	0

$$D = T\bar{Q}_0 \vee \bar{T}Q_0 = T \oplus Q_0$$



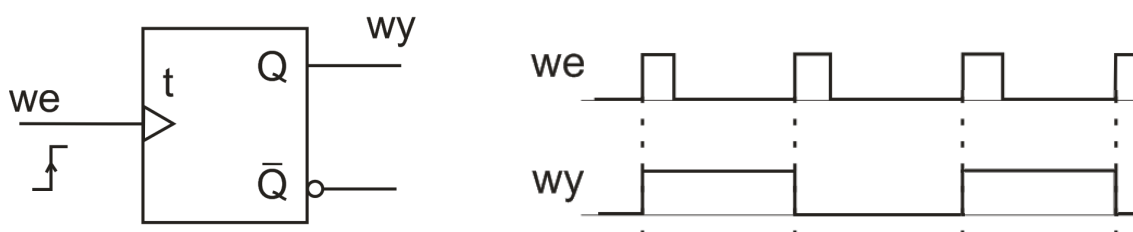
Rys. 4.10 Zamiana przerzutnika D $\rightarrow$ T.

Można zauważyć, że identyczny efekt uzyskamy łącząc na rys. 4.9a wejścia J i K jako wspólne wejście T.

Analizując tabele wzbudzeń przerzutników (tab. 4.2) można stwierdzić, że synteza automatu z przerzutnikami JK prowadzi do najprostszych funkcji dla ich wejść, ponieważ średnio 50% pól w tabelach Karnaugh'a to pola X. Prostota syntezowanych funkcji dla J i K przeważa zwykle nad pojedynczą, ale rozbudowaną funkcją dla wejścia D.

W rozwiązaniach dyskretnych przerzutniki JK i D synchronizowane zboczem zegara uzupełnia się o dodatkowe wejścia ustawiające i zerujące asynchronicznie przerzutnik. Ich priorytet jest większy od wejść związanych z zegarem. Te dodatkowe wejścia są także oznaczane jako S/R.

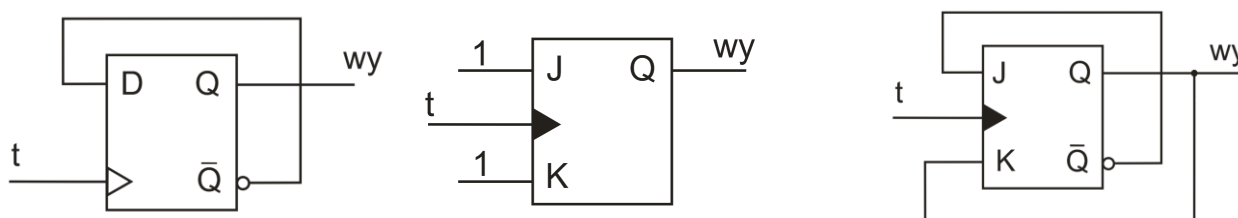
W teorii przerzutników definiuje się także rozwiązania z dynamicznym (zboczowym) działaniem wejść (rs, jk, t). Praktyczne znaczenie ma przerzutnik „t”. Każde aktywne zbocze na wejściu t powoduje zmianę stanu na przeciwny. Tak więc przerzutnik typu „t” dzieli przez 2 częstotliwość przebiegu podanego na jego wejście, a przebieg na wyjściu ma zawsze współczynnik wypełnienia 50% (rys. 4.11).



Rys. 4.11 Działanie przerzutnika „t”.

Przerzutnik typu „t” tworzy się mając do dyspozycji układy D lub JK synchronizowane zboczem. Wejście „t” musi być sygnałem zegarowym. Należy tylko określić funkcje dla wejść D lub JK. Ich argumentami mogą być, oprócz stanu Q tylko wartości stałe (zera lub jedynki). Przerzutnik D zmienia zawsze stan na przeciwny, gdy zapewnimy $D = \bar{Q}$ (porównaj z przerzutnikiem zatrzask). Przerzutnik JK natomiast zachowuje się tak, gdy $J = K = 1$.

Analizując tabele wzbudzeń przerzutnika JK zauważymy też, że dla przejść $0 \rightarrow 1$ i $1 \rightarrow 0$ składających się na działanie przerzutnika „t” można posłużyć się sprzężeniem zwrotnym z wyjść $Q/\bar{Q}$. Przedstawiono to na rysunku 4.12, gdzie zebrano wszystkie warianty realizacji przerzutnika „t”.



$Q_0 \rightarrow Q$	$\bar{Q}_0 \rightarrow \bar{Q}$	JK			
0 1	1 0	1 1	lub		1 0
1 0	0 1	1 1	lub		0 1

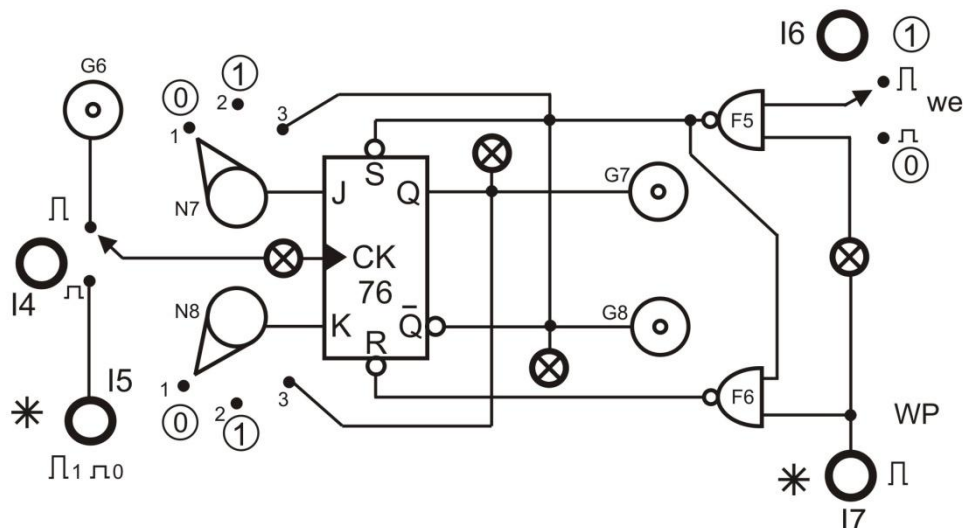
Rys 4.12 Różne sposoby realizacji przerzutnika „t”.

Klasycznym zastosowaniem przerzutnika typu „t” są liczniki asynchroniczne zliczające przede wszystkim w podstawowym kodzie binarnym. Dla przerzutnika typu „t” używamy też nazw dwójka licząca lub licznik modulo 2.

4.2.2.1 Przerzutniki JK.

Na rys. 4.6b pokazano, że synchronizację zabezpieczającą przed „wycięciem” przy połączeniu $\bar{Q}$ -D można uzyskać posilując się dwoma przerzutnikami synchronizowanymi wysokimi poziomami zegarów CK_1/CK_2 . Nie ma przeszkód, aby sygnały te były wzajemnie negacjami. Jeżeli jako sygnał zegara przyjmie się CK_1 , a CK_2 wytworzy się wewnątrz odwracając fazę CK_1 , to z dwóch przerzutników synchronizowanych poziomem uzyska się jeden przerzutnik synchronizowany zboczem opadającym. Na tej zasadzie oparta jest część rozwiązań przerzutników JK. Aby uzyskać działanie zgodne z odnośną tabelą prawdy, należy dodać odpowiednie sprzężenie zwrotne pomiędzy wyjściami Q i $\bar{Q}$ a pierwszym stopniem przerzutnika.

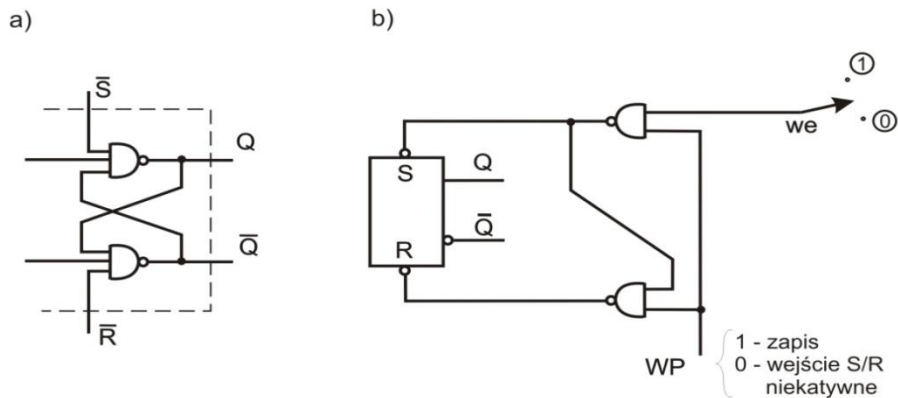
Fragment modelu odnoszący się do przerzutnika JK przedstawiono poniżej.



Oprócz wejść funkcyjnych dysponujemy wspomnianymi wejściami asynchronicznymi $\bar{S}/\bar{R}$ o najwyższym priorytecie. Są one aktywne niskim stanem. Należy zauważyć, że gdy równocześnie $\bar{S} = \bar{R} = 0$ to otrzymuje się $Q = 1$ i $\bar{Q} = 1$ identycznie jak w podstawowym przerzutniku SR. Dzieje się tak, gdyż każdy rozbudowany przerzutnik zakończony jest prostą konstrukcją z dwóch bramek NAND lub NOR (rys. 4.13a). Z tego faktu wynikają też praktyczne konsekwencje.

Otóż z wyjścia przerzutnika nie można sterować zbyt długiej linii, szczególnie w warunkach niedopasowania falowego. Odbicia sygnału, które pojawią się zwrotnie np. na wyjściu Q, mogą spowodować przypadkowe przełączenie przerzutnika poprzez „dolną” bramkę, gdzie Q jest dołączone. W przypadku długiej linii należy posłużyć się dołączonym do wyjść Q lub $\bar{Q}$ dodatkowym funktorem zabezpieczającym przed tymi efektami.

Wejścia SR można wykorzystywać do asynchronicznego wpisu wartości z linii we do przerzutnika (rys. 4.13b). Można zauważyć, że jest to rozwiązanie identyczne jak dla przerzutnika D typu zatrask (rys. 4.7b).



Rys. 4.13 Logika wyjściowa każdego przerzutnika (a) i układ wpisu asynchronicznego (b).

! Sprawdzić działanie układu wpisuującego.

- | Podać WP=1. Zauważyć, że stan we (I6 zał./wył.) przenosi się na Q. Po powrocie
- | WP na 0 w przerzutniku pozostaje ostatni stan. Podać WP=1, I4 zał., I3 przełączane –
- | aktywne zbocze zegara przy zwalnianiu. Zauważyć, że wskutek wyższego priorytetu
- | wejść SR próba zmiany stanu przerzutnika od wejść JK (przy aktywnym zboczu
- | zegara) nie daje rezultatu.

! Sprawdzić tabelę prawdy przerzutnika JK.

| Użyć zegara manualnego (I4 wciśnięty) i przycisku pojedynczego impulsu (I5). Sygnał WP=0 (I7 zał., N6/N7 poz. 1/2).

J	K	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

} *

JK	00	01	11	10
Q ₀				
0				
1				

* - stany 0, 1, Q_0 , $\overline{Q}_0$

Q =

! Na podstawie tabeli prawdy określić funkcję logiczną przerzutnika $Q = f(J, K, Q_0)$.

! Sprawdzić możliwości tworzenia dwójki liczącej (na wejściu JK oprócz 11 można

! podać odpowiednio $\overline{Q}/Q$).

W przerzutnikach synchronizowanych zboczem definiuje się szereg wymogów czasowych dla sygnałów i ich współzależności. Szczegółowo zostaną one omówione przy okazji przerzutnika D. Tutaj zostaną tylko sprawdzone czasy propagacji od wejść JK do wyjścia (przerzutnik w konfiguracji dwójki liczącej).

! Zmierzyć czasy propagacji t_{pLH} i t_{pHL} . Wyniki wpisać do tabeli.

Q	t_{pLH} [ns]		*	*
	t_{pHL} [ns]			
$\bar{Q}$	t_{pLH} [ns]		*	
	t_{pHL} [ns]			

*- wartości średnie

- | I4 wył., I7 zał., Gen.: TTL 4MHz do G6 (trójnik) i osc (CH1), wyjście Q
- | (G7) a potem $\bar{Q}$ (G8) – osc (CH2). Zwiększać częstotliwość
- | zegarową aż do wartości 15 MHz (maksymalną dla generatora GFG3015).
- | Zliczanie modulo 2 jest prawidłowe, ponieważ okres wynosi $1/(15 \cdot 10^6)$
- | = 67 ns[Hz] i jest większy od czasu propagacji przerzutnika.

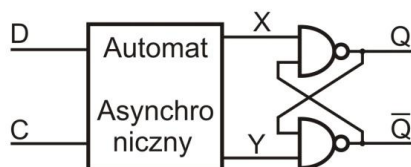
4.2.2.2 Przerzutnik D

Przerzutnik D wyzwalany narastającym zboczem stał się jednym ze standardów techniki cyfrowej. Dlatego też postanowiono zamieścić tu jego syntezę, aby pokazać, że odpowiednie połączenie trzech asynchronicznych przerzutników SR pozwala na uzyskanie własności synchronizacji. Otrzymany przerzutnik, już synchroniczny, jest podstawowym elementem automatów sekwencyjnych (synchronicznych).

Każda konstrukcja przerzutnika powtarza na wyjściu elementarny przerzutnik SR. Współpracujące z nim funktry zapewniają synchronizację zegarem i działanie zgodne z typem przerzutnika (D, JK). Dla przerzutnika D typu zatrzask (synchronizowanego poziomem zegara) ta dodatkowa, wstępna logika zawierała dwa funktry NAND w oczywistej konfiguracji (rys. 4.7).

Zostanie teraz dokonana synteza logiki wstępnej, w przypadku gdy chcemy uzyskać przerzutnik D synchronizowany zboczem zegara (narastającym). Dodatkowa logika będzie automatem asynchronicznym, tj. takim, w którym zmiany stanów następują w ślad za zmianami sygnałów wejściowych. Automat będzie generował sygnały dla przerzutnika SR na podstawie wejścia D i wejścia zegarowego C (rys. 4.14a).

a)



b)

Stan	X	Y
Blokada	1	1
Ustawienie	0	1
Zerowanie	1	0
	0	0

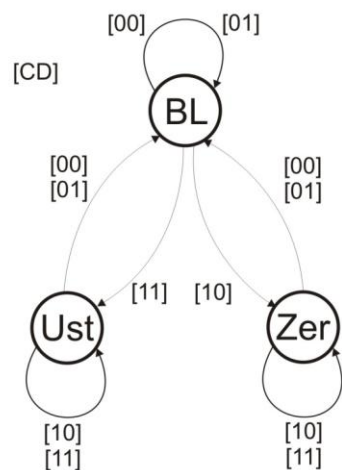
Rys 4.14 Automat sterujący przerzutnikiem SR.

a) schemat blokowy; b) stany wyjść automatu

Ze względów formalnych wejścia przerzutnika oznaczono inaczej, a mianowicie literami X,Y. Automat może znajdować się w jednym z trzech stanów (rys. 4.14b) tj.

„Ustawiania”, „Zerowania” lub „Blokady” (nieaktywne poziomy sygnałów dla wyjściowego przerzutnika SR). Obecność trzech stanów implikuje wykorzystanie dwóch elementarnych układów pamiętających ($2^2 > 3$). Stany automatu modyfikują sygnały tzw. warunków. Są to wspomniane linie D oraz C (rys. 4.15).

c)



d)

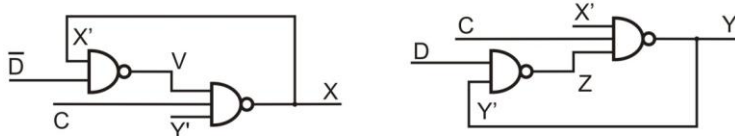
CD \ X'Y'	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	1	1	0	0
11	1	1	0	1
10	1	1	1	1

$$X = \overline{C} \vee \overline{Y'} \vee X'D = \overline{C}Y'X'D$$

CD \ X'Y'	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	1	1	1	1
11	1	1	1	0
10	1	1	0	0

$$Y = \overline{C} \vee \overline{X'} \vee Y'D = \overline{C}X'Y'D$$

e)



Rys. 4.15 Synteza automatu sterującego przerzutnikiem SR.

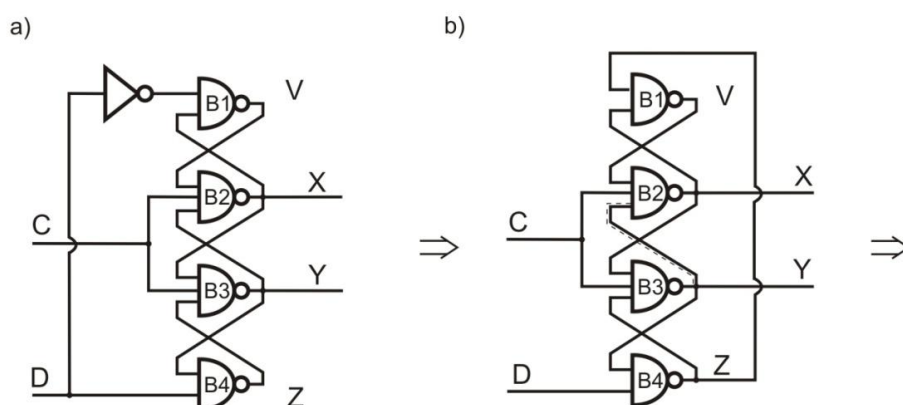
c) sieć działania ; d) tablice funkcji ; e) realizacje z bramek NAND

Przed narysowaniem sieci działania (grafu automatu) należy zakodować jego stany wewnętrzne. Aby uniknąć bloku przekodowującego należy przyjąć, że kod stanów będzie tożsamy z wyjściami automatu, tj. XY. Automat powinien w momencie zmiany stanu zegara C ($0 \rightarrow 1$) wprowadzić w aktywny niski stan linię X lub Y odpowiednio dla $D=1$ względnie

$D=0$. W stanach „Ustawiania” lub „Zerowania” należy pozostawać przez cały czas, dokąd zegar C utrzymywany jest na wysokim poziomie. Ewentualne zmiany na linii D należy wtedy ignorować. Powrót do stanu „Blokady” nastąpi dopiero wraz z powrotem zegara do niskiego poziomu. Powyższe działanie zebrano w postaci grafu (rys. 4.15c). Wartości w nawiasach to sygnały C, D. Są to warunki przejść pomiędzy stanami.

Jak wspomniano, w automacie asynchronicznym zmiany stanów następują od razu po zmianie warunków. Aby uniknąć niejednoznaczności zapisu należy oznaczyć jako $X'Y'$ stany poprzednie. Na podstawie grafu można utworzyć dwie tablice funkcji dla sygnałów XY. Zależą one od poprzedniego stanu automatu (X' , Y') i od warunków C, D (rys. 4.15d). Pod tabelami umieszczono postać funkcji otrzymaną bezpośrednio po „sklejeniu” jedynek oraz zapis po zastosowaniu twierdzenia de Morgana. Dzięki temu można dokonać syntezy posługując się bramkami NAND (rys. 4.15e) Dla celów późniejszych przekształceń zostały wprowadzone zmienne pomocnicze V oraz Z.

Dwa cząstkowe schematy z rys. 4.15e należy oczywiście połączyć w całość uzupełniając je funktorem negacji (rys. 4.16a).



Rys. 4.16 Pierwotna postać asynchronicznego automatu sterującego (a), i schemat po wyrugowaniu funktora negacji (b).

Bramki B1-B2 oraz B3-B4 tworzą wspomniane dwa przerzutniki pamiętające stan automatu. Należy rozważyć, czy element negacji może zostać wyrugowany (podobnie postąpiono dla przerzutnika D typu zatrask). W tym celu przekształćmy postać funkcji stanu dla X.

$$X = \bar{C} \vee \bar{Y}' \vee X' \bar{D}$$

Zgodnie z twierdzeniem o pochłanianiu można zapisać:

$$\bar{Y}' = \bar{Y}' \vee \bar{Y}' X'$$

Po podstawieniu otrzymamy, kolejno przekształcając:

$$X = \overline{C} \vee \overline{Y'} \vee \overline{Y'} X' \vee X' \overline{D}$$

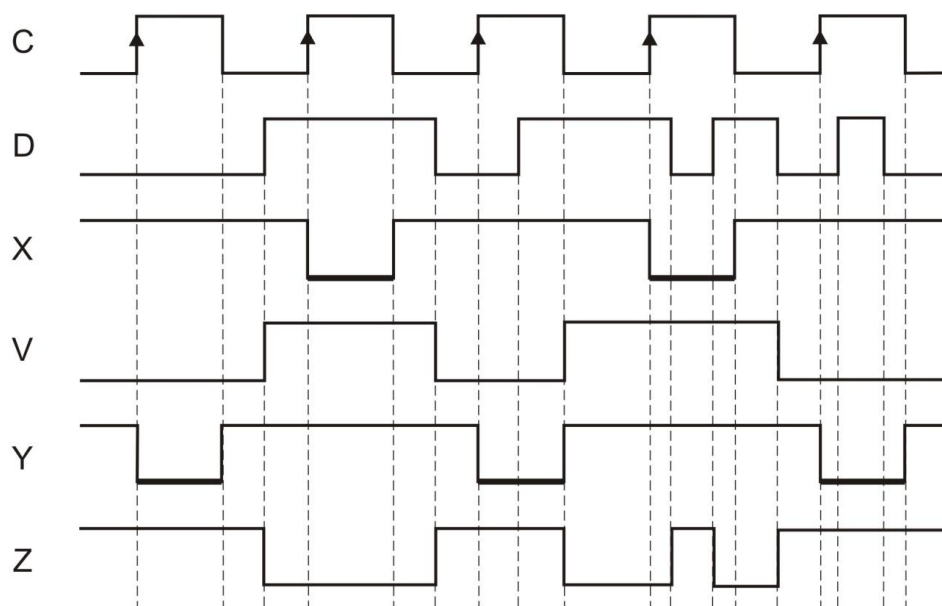
$$X = \overline{C} \vee \overline{Y'} \vee X' (\overline{Y'} \vee \overline{D}) = \overline{C} \vee \overline{Y'} \vee X' \overline{Y'} \overline{D}$$

$$X = \overline{\overline{C} \vee \overline{Y'} \vee X' \overline{Y'} \overline{D}}$$

$$X = \overline{\overline{C} \vee \overline{Y'} \vee X' \overline{Y'} \overline{D}} = \overline{\overline{C} \vee \overline{Y'} \vee X' \overline{Z'}} = \overline{\overline{C} \vee \overline{Y'}}$$

Widać, że zamiast $\overline{D}$ można posłużyć się funkcją Z. Prowadzi to do ulepszonej wersji automatu (rys. 4.16b).

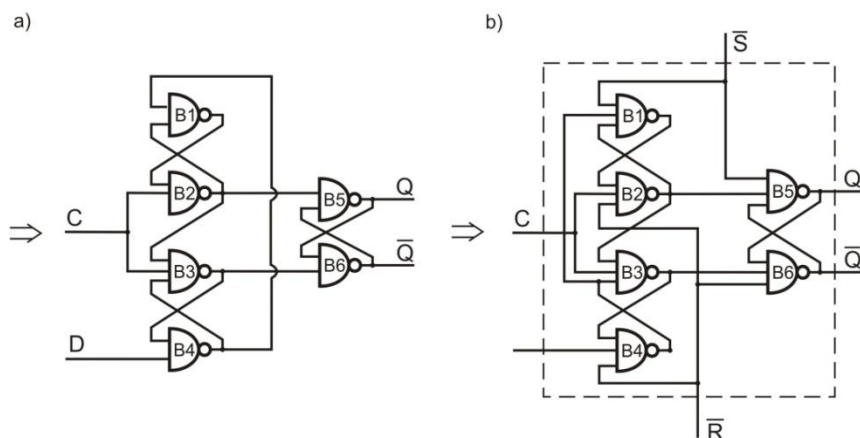
Działanie automatu zostanie jeszcze przeanalizowane przy pomocy przebiegów czasowych dla różnych współzależności pomiędzy sygnałami C i D (rys. 4.17 - czasów propagacji nie uwzględniano).



Rys. 4.17 Przebiegi czasowe automatu asynchronicznego w przerzutniku D.

Niski stan zegara C wymusza wysokie nieaktywne poziomy sygnałów X, Y. Natomiast, gdy $C=1$, na jednym z wyjść (X lub Y) mamy niski aktywny poziom, niezależnie od późniejszych zmian na linii D. Zmiany te są natomiast obserwowalne na liniach V i Z. Oba elementarne przerzutniki XV oraz YZ często pozostają w stanach „sprzecznych” tj. gdy $X=V=1$ oraz $Y=Z=1$. W przypadku logiki wewnętrznej niczemu to jednak nie przeszkadza.

Analiza czasowa pozwala zauważyć, że usunięcie połączenia $Y \rightarrow B2$ (dodatkowa linia kreskowana) nie ma wpływu na kształt przebiegów. Wynika to z faktu, że Y' jest już zawarte w funkcji Z, a więc następnie w V. Po tym kolejnym udoskonaleniu przerzutnik D synchronizowany zboczem uzyskuje ostateczny kształt (rys. 4.18a).



Rys. 4.18 Zoptymalizowana struktura wewnętrzna przerzutnika D synchronizowanego zboczem narastającym (a) i ostateczny schemat po uwzględnieniu asynchronicznych wejść ustawiana i zerowania (b).

Do przerzutników synchronizowanych zboczem dodaje się linie $\bar{S}$ $\bar{R}$, które mogą asynchronicznie wymuszać stany na wyjściach $Q/\bar{Q}$. Te dodatkowe linie zostaną doprowadzone nie tylko do sekcji wyjściowej, ale też do członów XV oraz YZ, aby zablokować wszelkie działania związane z liniami C i D. Mogłoby to doprowadzić do sytuacji gdy $X = Y = 0$. Miejsce dołączenia linii $\bar{S}$ $\bar{R}$ jest oczywiste (rys. 4.18b).

Dla przerzutnika D nie będzie powtarzana obserwacja działania wejść asynchronicznych. Parametry statyczne są oczywiste, należy się natomiast skoncentrować się na jego właściwościach dynamicznych.

Parametry statyczne

Tabela prawdy i tabela wzbudzeń przerzutnika D są trywialne.

D	Q
0	0
1	1

$Q_0 \rightarrow Q$	D
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

Oczywiście zależności powyższe są prawdziwe tylko w odniesieniu do narastającego zbocza sygnału zegarowego, poza tym zboczem przerzutnik podtrzymuje swój stan.

! Sprawdzić działanie przerzutnika D.

| N4 i N6 poz. 1, I2 zał., I3–pojedyncze impulsy, N5 stany 0 i 1.

| Zauważyć, że aktywne zerowe stany na wejściach $\bar{R}$ i $\bar{S}$ (N4 i N6 poz. 1)

| wymuszają wysokie poziomy na wyjściach $Q/\bar{Q}$ niezależne od stanu wyjścia D (przy narastającym zboczu zegara). Sprawdzić, czy dla zatrzymanego zegara (brak zbocza

| narastającego) zmiany na wejściu D mają wpływ na wyjścia $Q/\bar{Q}$ ($\bar{S} = \bar{R} = 1$).

Parametry dynamiczne

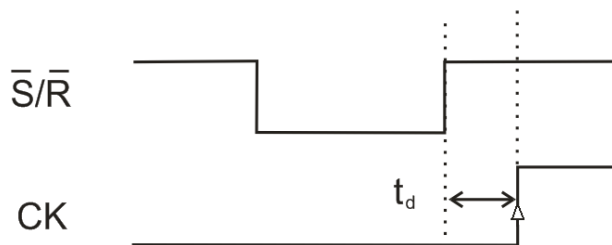
Parametry dynamiczne przerzutnika to szereg zdefiniowanych czasów, które muszą być zachowane, aby przerzutnik pracował prawidłowo. Rozróżnia się czasy:

- martwy t_d ,
- propagacji t_p ,
- wyprzedzania / podtrzymania t_{su}/t_h ,
- rozsunięcia t_{sk} .

Czasy te albo zostaną zmierzone, albo wykazana zostanie konieczność ich zachowania. Dla przerzutnika D podaje się jeszcze minimalny czas trwania niskiego aktywnego poziomu na wejściach $\bar{R}$ i $\bar{S}$ (czas t_w) oraz czas rozsunięcia t_{sk} , istotny przy badaniu liczników (rejestrów). Konieczność zachowania czasu t_w jest oczywista. Czas t_{sk} definiuje się na podstawie czasów poprzednich i zostanie on poglądowo wyprowadzony.

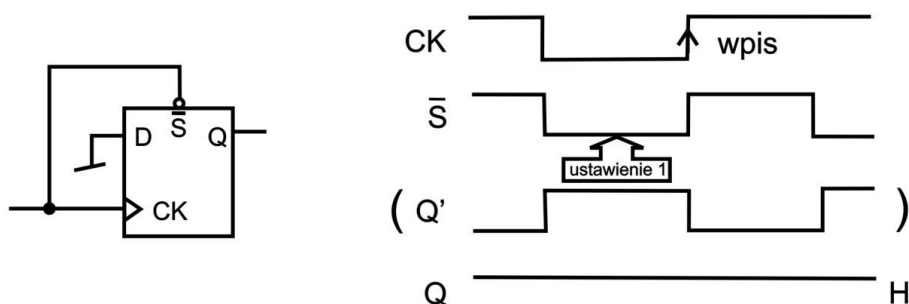
- Czas martwy

Czas martwy t_d jest to minimalna wartość czasu, który musi upłynąć od wycofania aktywnych stanów z wejść $\bar{S}/\bar{R}$ aby najbliższe aktywne zbocze zegara mogło przepisać stan z wejścia D na Q (rys. 4.19).



Rys. 4.19 Czas martwy dla przerzutnika synchronizowanego zboczem.

Efekt niezachowania czasu t_d należy sprawdzić łącząc przerzutnik D jak poniżej (rys. 4.20).



Rys. 4.20 Połączenie przerzutnika D ilustrujące efekt czasu martwego.

Gdyby czas t_d był równy 0 to otrzymano by $Q' = \overline{CK}$ (przebieg Q' w nawiasie). W rzeczywistości zbocza wpisujące są ignorowane i uzyskuje się $Q = 1 = \text{const.}$

| N4 poz. 3, N5 poz. 1, N6 poz. 2, I2 zał., I3 – zegar manualny.

- Czas propagacji

! Zmierzyć czasy t_{pLH} i t_{pHL} na wyjściu $Q/\overline{Q}$, wyniki wpisać do tabeli, przerzutnik

! w połączeniu dwójki liczącej.

| N4 i N6 poz. 1, N5 poz. 3, I2 wył. Gen.: TTL 4MHz do G5 (trójnik) i do

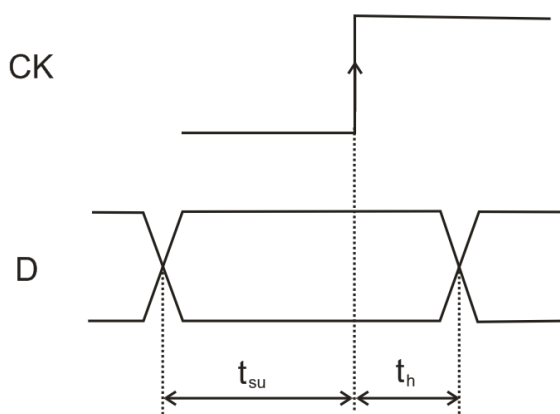
| CH1 osc., CH2 do G3/G4.

Q	t_{pLH}		*	*
	t_{pHL}			
$\overline{Q}$	t_{pLH}		*	
	t_{pHL}			

* wartości średnie

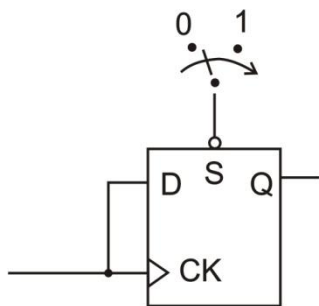
- Czas wyprzedzenia i podtrzymania

Prawidłowa synchronizacja zboczem zegarowym zachodzi gdy stan na wejściu D „obramowuje zbocze narastające” (rys. 4.21). W większości rozwiązań czas t_{su} jest nawet kilkakrotnie większy od t_h .



Rys. 4.21 Czasy wyprzedzenia i podtrzymania.

Aby pokazać niezbędność zachowania czasów t_{su}/t_h przerzutnik D zostanie połączony zgodnie z rysunkiem 4.22.



Rys. 4.22 Połączenie dla ilustracji efektu niezachowania czasu wyprzedzenia t_{su} .

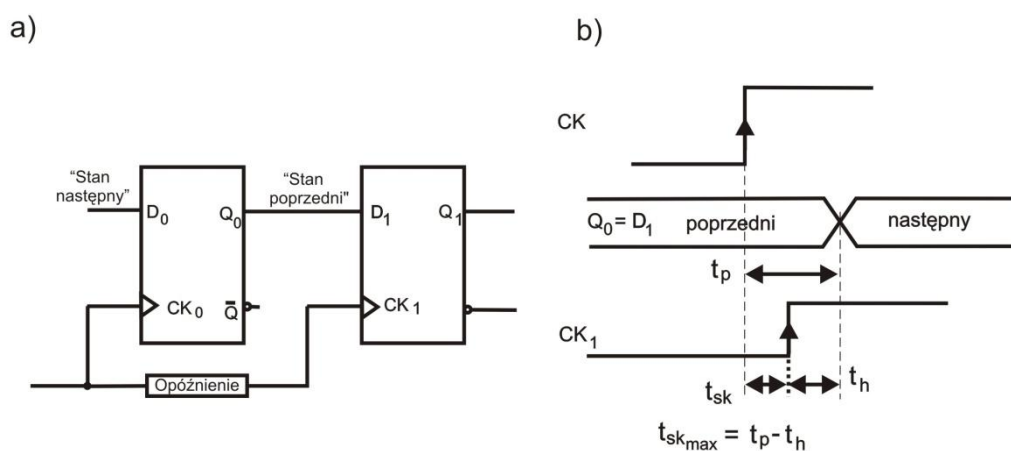
Dla powyższego połączenia ($CK = D$) i dla idealnych elementów należałoby się spodziewać przejścia do stanu $Q = 1$ po podaniu zbocza zegarowego. W rzeczywistości jest inaczej.

! Sprawdzić efekt niezachowania czasu t_{su} .

- | Wpisać do przerzutnika stan H przez wejście S (N6 poz. 2, N4 poz. 1, a potem
- | poz. 2). Podać impuls zegarowy na $CK = D$ (I2 zał., I3-zegar manualny).
- | Przerzutnik zmieni stan na L, gdyż jedynka na wejściu D pojawiła się zbyt późno
- | (nie jest zachowany czas t_{su}).

- Czas rozsunięcia

Z przerzutników synchronizowanych zboczem budowane są liczniki synchroniczne i rejestry. Sygnał zegarowy musi docierać równocześnie do wszystkich przerzutników. Należy teraz określić tzw. czas rozsunięcia (t_{sk}) jako miarę tolerancji układu na nierównoczesne podanie aktywnych zboczy sygnałów zegarowych. Czas t_{sk} zależy nie tylko od własności dynamicznych przerzutników, ale i od konfiguracji układu. Tutaj wyznaczmy czas rozsunięcia dla rejestru przesuwającego (rys. 4.23).



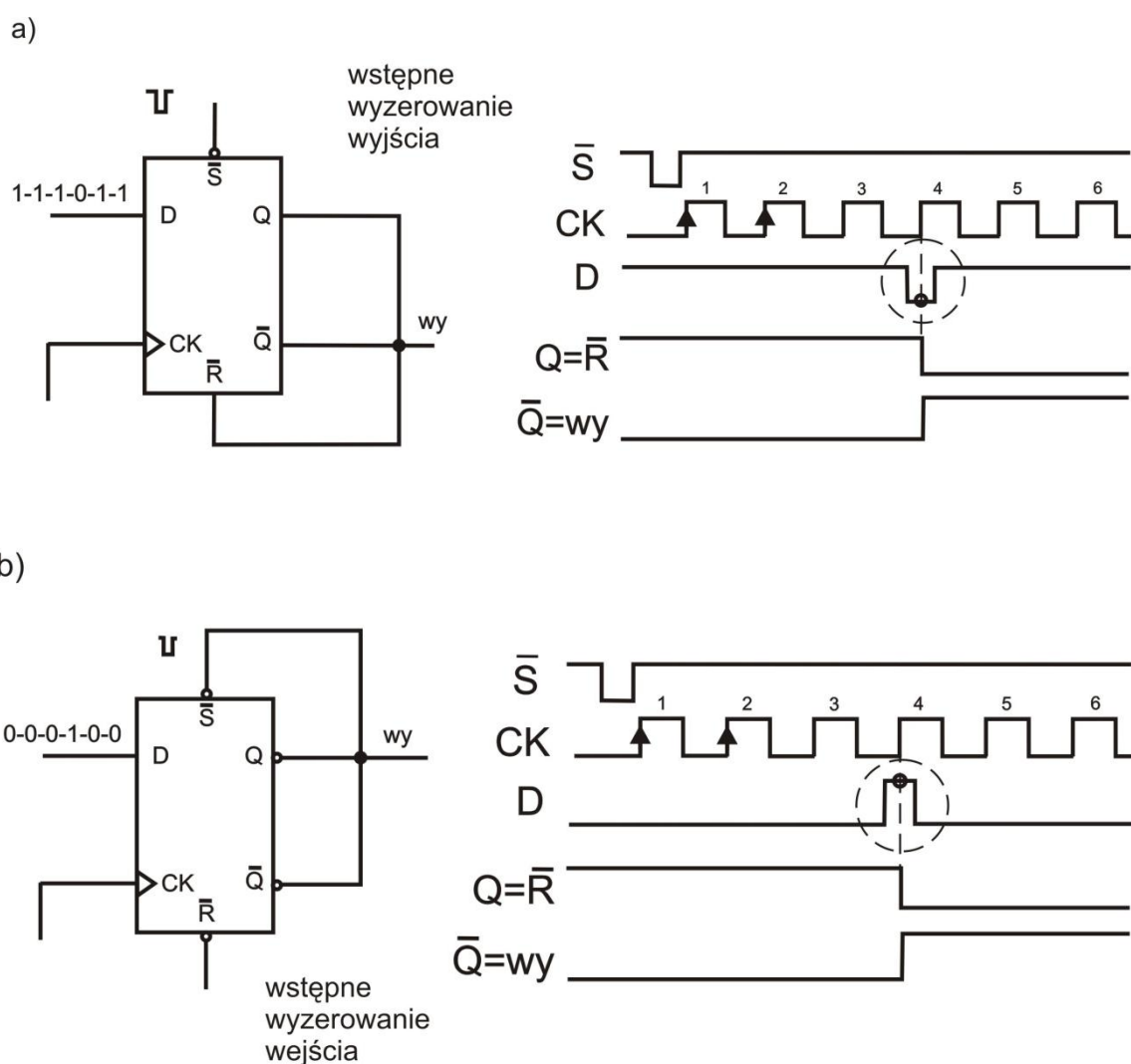
Rys.4.23 Kolejne ogniwa rejestru przesuwającego a) i kalkulacja czasu rozsunięcia b).

Aby przerzutnik Q_1 przejął i przesunął dalej stan „poprzedni”, a nie „następny” musi zachodzić zależność wyprowadzona na rys. 4.23b. Gdyby opóźnienie było „odwrotne” tj. CK_1 pojawił się wcześniej niż CK_0 , to czas rozsunięcia będzie w przybliżeniu równy okresowi

zegara. O zachowanie czasu t_{su} nie trzeba się obawiać, chyba że rejestr przesuwny zawiera przerzutniki następne, gdzie sytuacja ulegnie odwróceniu.

Zastosowania niestandardowe

Przerzutnik D można też wykorzystywać do aplikacji nietypowych. Można określić konfiguracje układów, które po wstępnym wyzerowaniu (ustawieniu) wykryją obecność choć jednego stanu H (L) na wejściu D (w odniesieniu do aktywnego zbocza zegara). Rozwiązania te przedstawiono na rysunku 4.24a i 4.24b.



Rys. 4.24 Układy wykrywające obecność stanów L/H skojarzonych z zegarem.

Należy zauważyć, że dzięki zwrotnym połączeniom do wejść asynchronicznych dalsze zbocza zegarowe (5, 6) nie mogą już zmienić stanu przerzutnika.

! Sprawdzić działanie układu „wykrywania” obecności stanów L.

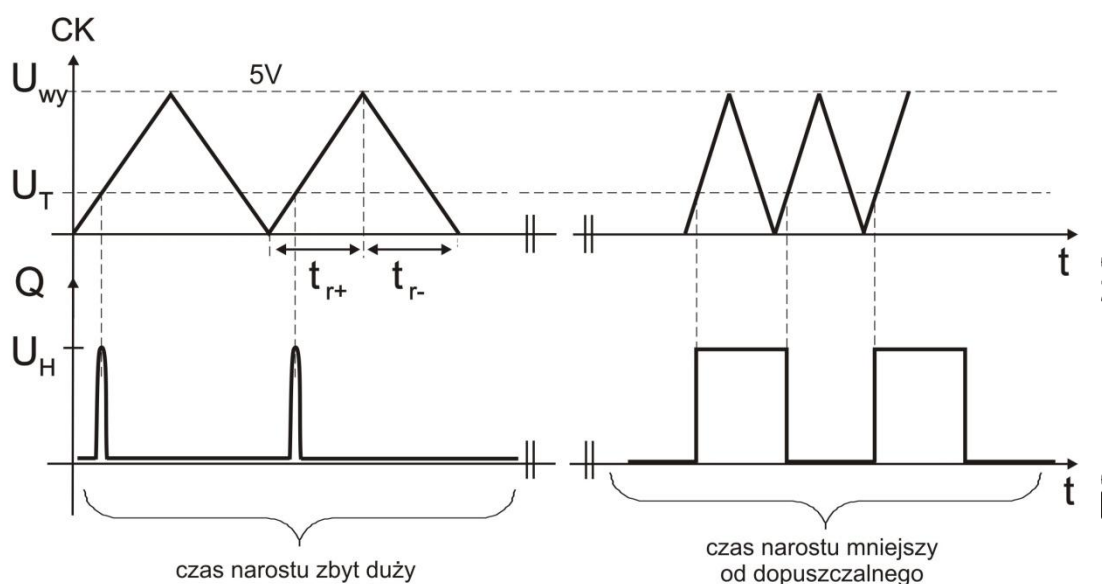
N6 poz. 3, N4 poz. 1→2 (stany L→H)	}	I2 zał., I3-zegar manualny,
N4 poz. 4, N6 poz. 1→2 (stany L→H)		N5 zgodnie z przebiegiem

czasowym (stan 0 ↔ 1).

Pomiar maksymalnego czasu narostu zbocza zegara

Ponieważ przerzutnik synchronizowany jest zboczem zegara, to dla prawidłowego działania wymagana będzie odpowiednia stromość jego zbocza. Oczywiście, przy standardowych przebiegach TTL np. z wyjścia bramki problem powyższy nie występuje.

Jeśli jednak sygnał zegarowy podaje się z innych zewnętrznych układów, to gdy czas narostu przekroczy dopuszczoną wartość przerzutnik przestaje funkcjonować (rys. 4.25 – przerzutnik D w połączeniu dwójki liczącej).



U_T - napięcie progowe przełączania.

Rys. 4.25 Efekt zbyt dużego czasu narostu sygnału zegarowego.

! Zaobserwować działanie przerzutnika D w zależności od czasu zboczy zegara.

| Na generatorze Rigol 1022 ustawić przebieg trójkątny (Ramp) o parametrach w standardzie dla TTL: HiLev: 5 V, | LoLev: 0V; symetria (Symm: 50 %), częstotliwość $f = 150$ kHz - okres wynosi μ s (jest to górna graniczna częstotliwość dla przebiegu | trójkątnego). Sprawdzić przebieg na oscyloskopie, a następnie podłączyć do modelu na wejście G5.

| N4 i N6–poz. 1, N5 poz. 3 (połączenie jako dwójka licząca), I2 wył. Do G5 wyjście z generatora i wejście na kanał
 | CH1 oscyloskopu (trójkąt), wejście kanału CH2 oscyloskopu do G3 (przez sondę bierną). Synchroniz. przez CH2.
 | Sprawdzić czy przerzutnik działa poprawnie jako dwójka licząca – czy jest stabilny przebieg prostokątny.
 Okres przebiegu na wyjściu przerzutnika D (G3) zmierzony metodą kursorów wynosi μs .
 Zaznaczyć napięcie odpowiadające progowi przełączania.

| Następnie zmniejszaj (lub nie – jeśli przebieg był niestabilny dla 150 kHz) częstotliwość przebiegu trójkątnego (dla symetrii „Symm = 50 %”) i sprawdź przy jakiej częstotliwości przerzutnik nadal pracuje poprawnie. Z przebiegu na wyjściu Q wyznacz maksymalny dopuszczalny czas narastania.

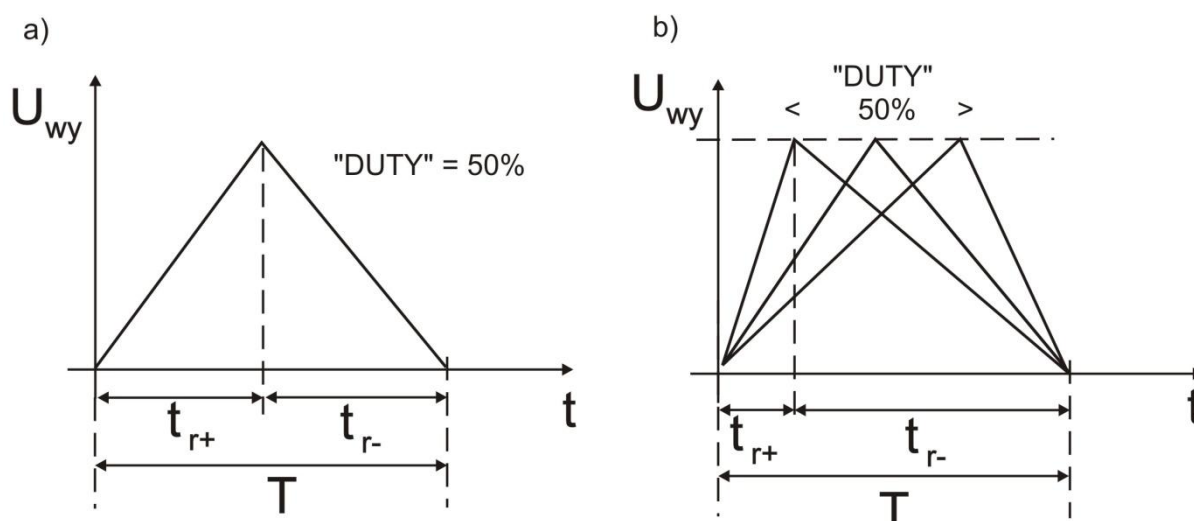
$t_{r+ \max} [\mu\text{s}]$	
-----------------------------	--

Na górnym wykresie narysuj poprawny przebieg ($f = \dots\dots\dots\text{kHz}$), a na dolnym przebieg dla częstotliwości kilkakrotnie mniejszej od dopuszczalnej ($f = \dots\dots\dots\text{kHz}$).

Dla częstotliwości (** wpisz do tabelki) dla której przerzutnik przestaje działać poprawnie zmniejszaj symetrię (aktywne zbocze narastające – wzrost stromości, zbocze opadające stromość maleje). Zauważ, że przerzutnik działa poprawnie mimo, iż stromość zbocza opadającego jest znacznie „gorsza” od dopuszczalnej stromości dla aktywnego zbocza narastającego.

Częstotliwość [kHz]	**	**	**	**
Symetria [%]				
Czas narastania $t_r + [\mu\text{s}]$				
Czas opadania $t_r - [\mu\text{s}]$				
Kształt przebiegu *				

*wpisać: poprawny lub niepoprawny



Rys. 4.26 Trójkątny przebieg zegarowy, wypełnienie 50% (a) i inne (b).