

Technika cyfrowa

Wykład 4

Układy sekwencyjne

Technika cyfrowa

Dr inż. Janusz Dudziak

Plan wykładu:
pojęcia i definicje podstawowe,

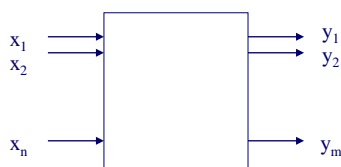
Technika cyfrowa

Dr inż. Janusz Dudziak

Literatura:

1. B. Wilkinson: Układy cyfrowe, WKŁ
2. J. Pieńkos, J. Turczyński: Układy scalone TTL w systemach cyfrowych, WKŁ
3. W. Traczyk: Układy cyfrowe. Podstawy teoretyczne i metody syntezy, WNT
4. J. Piecha: Elementy i układy cyfrowe, PWN
5. W. Majewski: Układy logiczne, WNT
6. M. Łakomy, J. Zabrodzki: Cyfrowe układy scalone, PWN

Automaty sekwencyjne



$X = \langle x_0, x_1, \dots, x_{n-1} \rangle$ -wektor (słowo) wejściowy

$Y = \langle y_0, y_1, \dots, y_{m-1} \rangle$ -wektor (słowo) wyjściowy

Stan wyjść automatu przedstawionego powyżej może zależeć nie tylko od aktualnego słowa wejściowego lecz również od całej sekwencji słów wejściowych, jaka występowała poprzednio. O takich automatach mówi się, że są to automaty z pamięcią albo inaczej automaty sekwencyjne.

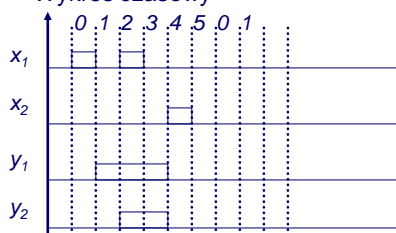
Automaty sekwencyjne

Nieformalne metody opisu

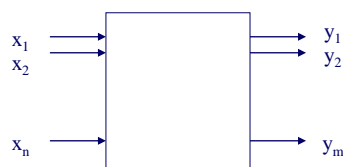
- Słowny np. „zbudować licznik zliczający w naturalnym kodzie binarnym w przedziale od 0 do 15 zakończony impulsy wyjściowe.
- Ciąg stanów wejść i wyjść np.

x	0	1	0	1	0	1	0	...
Y	0	1	1	0	0	1	1	...

- Wykres czasowy



Automaty sekwencyjne



$X = \langle x_0, x_1, \dots, x_{n-1} \rangle$ -wektor (słowo) wejściowy

$Y = \langle y_0, y_1, \dots, y_{m-1} \rangle$ -wektor (słowo) wyjściowy

Automat określa się definiując

- zbiór słów wejściowych $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ gdzie $N \leq 2^n$ nazywany jest alfabetem wejściowym
- zbiór słów wyjściowych $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_M\}$ gdzie $M \leq 2^m$ nazywany jest alfabetem wyjściowym
- $A = \{A_1, A_2, \dots, A_K\}$ - zbiór **stanów automatu**
- **2 funkcje**
 - funkcję **przejsć** oznaczaną przez λ
 - Funkcję **wyjść** oznaczaną przez χ

Automaty sekwencyjne

funkcja przejść $\delta: \mathbf{A} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{A}$ podaje stan następny $A' = \delta(A, X)$ do którego automat ma przejść w zależności od stanu bieżącego oraz słowa wejściowego

Funkcja wyjść

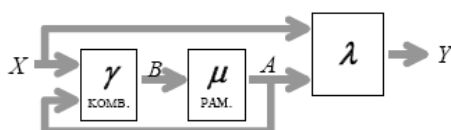
$\lambda: \mathbf{A} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$ (dla automatu Mealy'ego)

$\lambda: \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{Y}$ (dla automatu Moore'a)

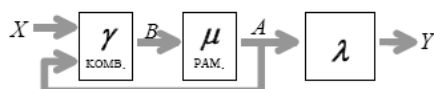
stan wyjść **automatu Moore'a** zależy wyłącznie od stanu automatu

Automaty sekwencyjne- struktury

dla automatu Mealy'ego



(dla automatu Moore'a)



Automaty sekwencyjne- struktury

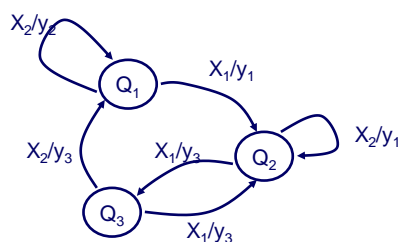
- Stan automatu nazywamy *stabilnym* jeżeli

$$\forall A_i, X_j : \delta (A_i, X_j) = A_k \Rightarrow \delta (A_k, X_j) = A_k$$
- Automat sekwencyjny jest synchroniczny, jeżeli zmiany stanu automatu mogą się odbywać tylko w określonych momentach czasu, wyznaczonych przez *sygnał zegarowy*,
- W określonych momentach (np. zbocza narastające sygnału zegara) wyznacza momenty próbkowania są wartości sygnałów wejściowych i odpowiedniej zmiany stanu wewnętrznego.
- Automat, który nie jest synchroniczny nosi nazwę asynchronicznego.
- Wymaga się, by wszystkie stany automatu asynchronicznego były stabilne.
- Realizacja asynchroniczna posiada wady: kłopotliwa analiza zależności czasowych, problemy z ich spełnieniem w rzeczywistych układach cyfrowych, problemy ze stabilnością, ryzyko wystąpienia wyścigów i hazardu. Z wymienionych względów nie będziemy się nimi w dalszym ciągu zajmować.

Automaty sekwencyjne - specyfikacja

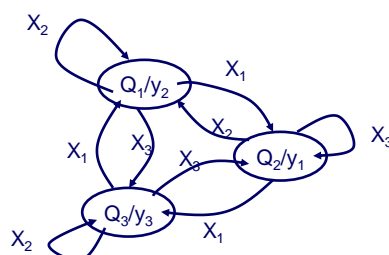
automat Mealy'ego

	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
Q ₁	Q ₂	Q ₁	y ₁	y ₂
Q ₂	Q ₃	Q ₂	y ₃	y ₁
Q ₃	Q ₂	Q ₁	y ₂	y ₃

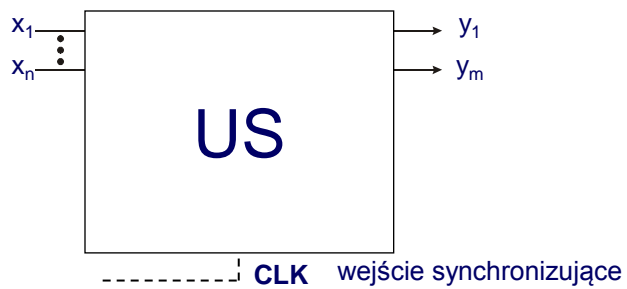


automat Moore'a

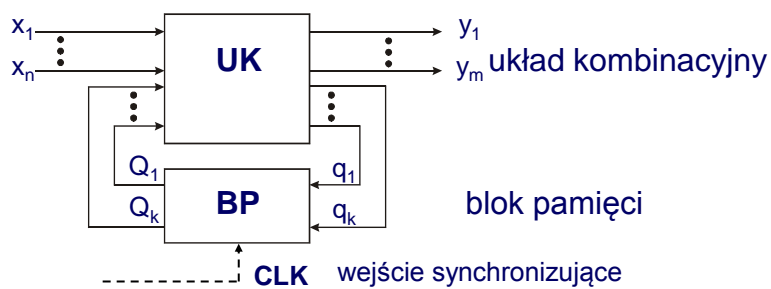
	X ₁	X ₂	X ₃	y
Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₃	y ₂
Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	y ₁
Q ₃	Q ₁	Q ₃	Q ₂	y ₃

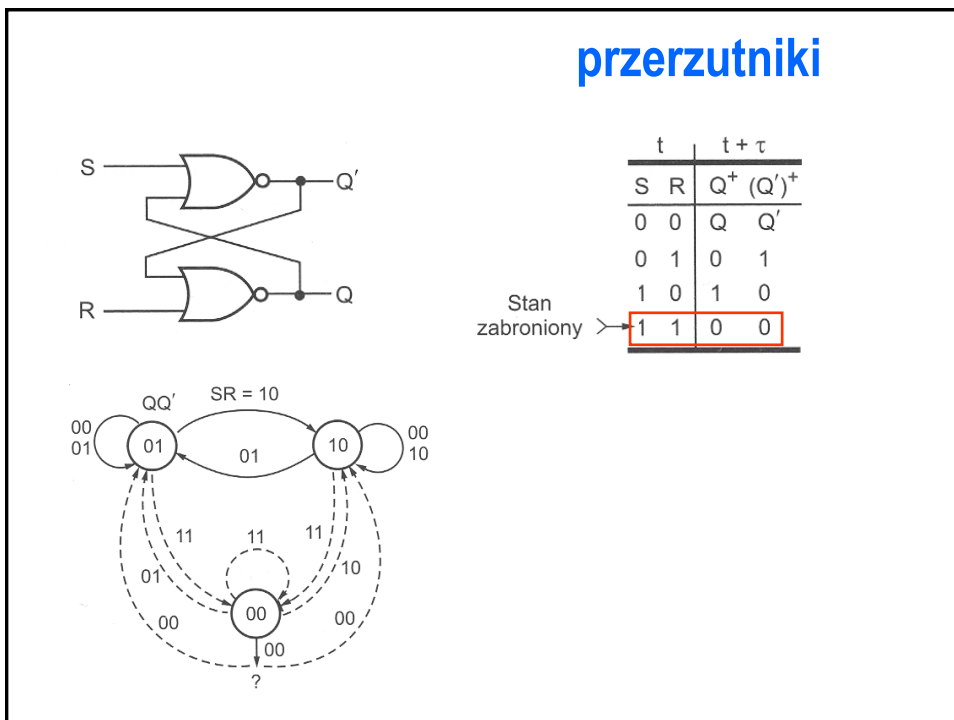
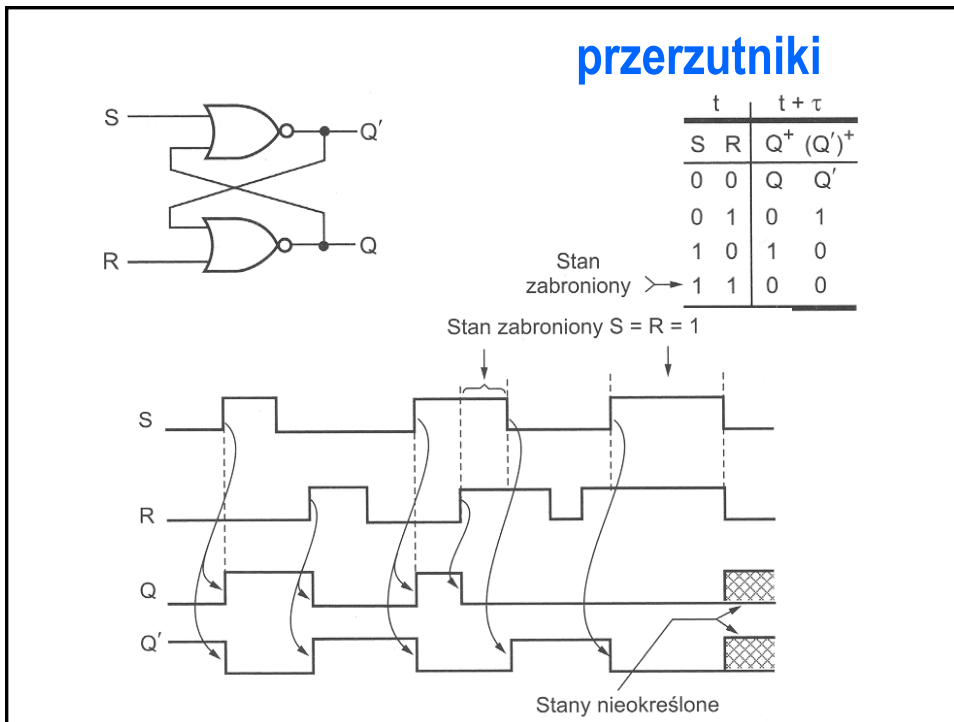


Układ sekwencyjny

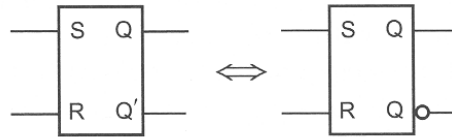
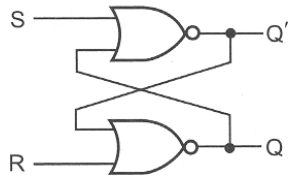


Układ sekwencyjny





przerzutniki



Stan zabroniony

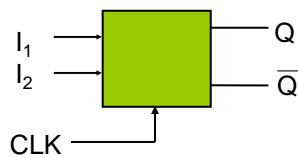
SR	00	01	11	10
Q	0	0	0	1
1	1	0	0	1

tablica przejść,

$Q \rightarrow Q^+$	S	R
0 0	0	x
0 1	1	0
1 0	0	1
1 1	x	0

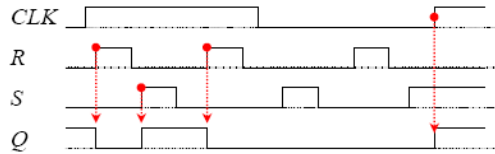
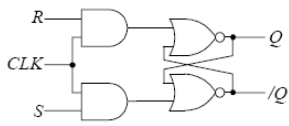
tablica wzbudzeń

przerzutniki



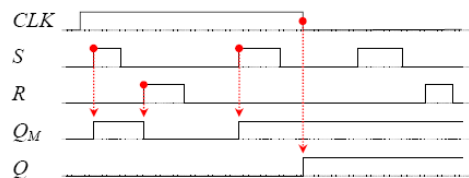
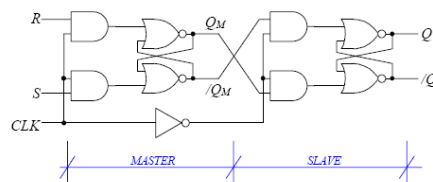
- rodzaj wejść informacyjnych :
 - ◆ D
 - ◆ T
 - ◆ SR
 - ◆ JK
- sposób wyzwalania:
 - ◆ synchroniczne (zmiana stanu następuje w odpowiedzi na sygnał zegara)
 - ◆ asynchroniczne
 - ◆ Wyzwalane poziomem
 - ◆ wyzwalane zboczem
- W zależności od sposobu działania
 - ◆ master-slave

przerzutniki



Gdy $CLK = 0$ (a więc od momentu zbocza opadającego CLK) sygnały R i S są odcinane od przerzutnika, jego stan jest zatrzymywany

przerzutniki

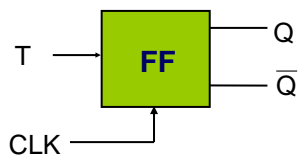


dwa kaskadowo połączone przerzutniki: *Master* (nadrzędny) i *Slave* (podrzędny),
 • przerzutnik *Master* bramkowany sygnałem CLK, *Slave* - /CLK.

przerzutniki

Przerzutnik jest określony:

- tablicą przejść,
- równaniem charakterystycznym, $Q' = f(I_1, I_2, Q)$
- tablicą wzbudzeń.



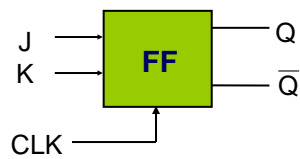
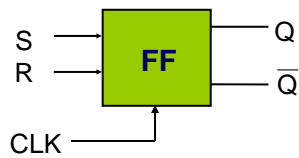
	D	0	1
Q	0	0	1
1	0	0	1

$Q' = D$

	T	0	1
Q	0	0	1
1	1	0	0

$Q' = \bar{T}Q + T\bar{Q}$

przerzutniki

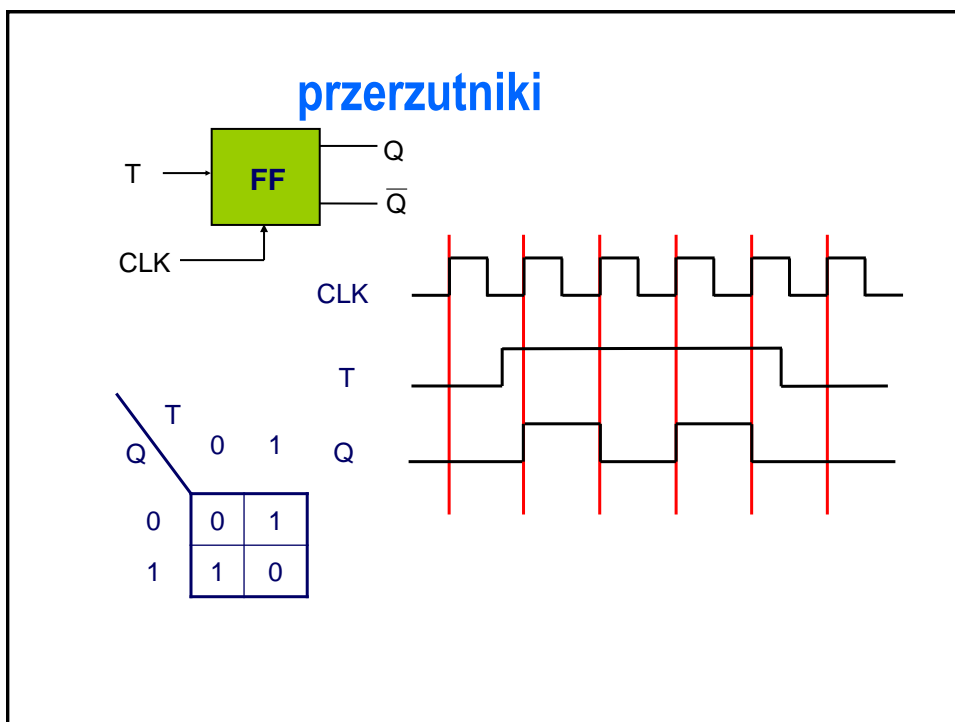
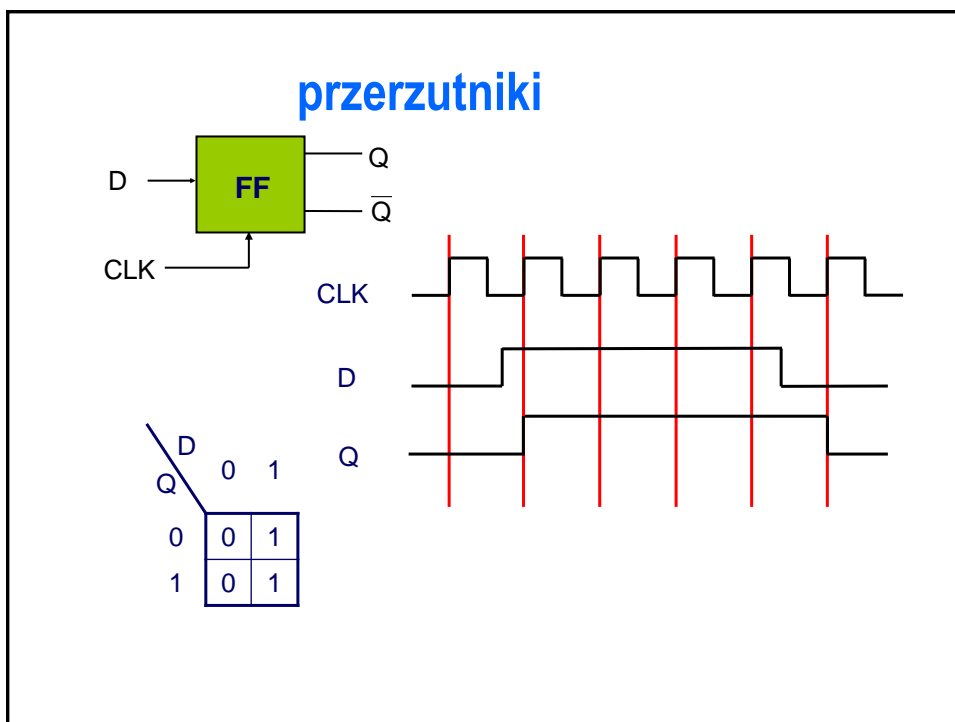


	SR	00	01	11	10
Q	0	0	0	-	1
1	1	1	0	-	1

$Q' = S + Q\bar{R}$

	JK	00	01	11	10
Q	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	1

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



Przerzutniki – tablica wzbudzeń

Q	Q'	D	T	SR	JK
0	0	0	0	0–	0–
0	1	1	1	10	1–
1	0	0	1	01	–1
1	1	1	0	–0	–0

Synteza automatu sekwencyjnego

Etapy syntezy:

- Opis pracy układu
- synteza abstrakcyjna (utworzenie tablicy przejść-wyjść)
- redukcja (minimalizacja) liczby stanów
- kodowanie stanów, liter wejściowych i wyjściowych
- synteza kombinacyjna (obliczanie funkcji wzbudzeń przerzutników i funkcji wyjściowych)
- Schemat logiczny układu

Synteza automatu sekwencyjnego

Przykład – detektor sekwencji „co najmniej dwa 0 potem 1”

AUTOMAT Mealy'go
 $Y = f(X, Q)$

	X	0	1	0	1
S	A	B	A	0	0
	B	C	A	0	0
	C	C	A	0	1
		Y			

Stanów jest 3, potrzebne będą 2 przerzutniki
Kodujemy stany

	X	0	1	0	1		
S	Q1Q0	A	00	01	00	0	0
	B	01	11	00	00	0	0
	C	11	11	00	00	0	1
	(-)	10	--	--	--	-	-

Synteza automatu sekwencyjnego

Użyte zostaną przerzutniki typu D. tablica wzburzeń =

	X	0	1	0	1		
S	Q1Q0	A	00	01	00	0	0
	B	01	11	00	00	0	0
	C	11	11	00	00	0	1
	(-)	10	--	--	--	-	-

Q	Q'	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

	X	0	1	0	1	
Q1Q0	00	0	0	00	0	0
	01	1	0	01	1	0
	11	1	0	11	1	0
	10	--	--	10	--	--

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

D1 = $Q_0 \bar{x}$

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

D0 = \bar{x}

Tablice przejść dla przerzutników Q1i Q0, Tablice wzburzeń dla przerzutników Q1i Q0,

Synteza automatu sekwencyjnego

Funkcja wyjść

		X			
		0	1	0	1
S	Q1Q0				
	00	01	00	0	0
A	00	01	00	0	0
B	01	11	00	0	0
C	11	11	00	0	1
(-)	10	--	--	-	-

$y = xQ_1$

Synteza automatu sekwencyjnego

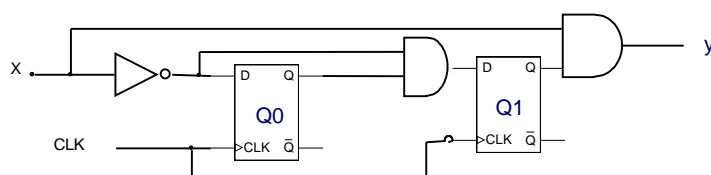
Funkcja charakterystyczna
Dla przerzutników Q0 i Q1

$$D_1 = Q_0 \bar{x}$$

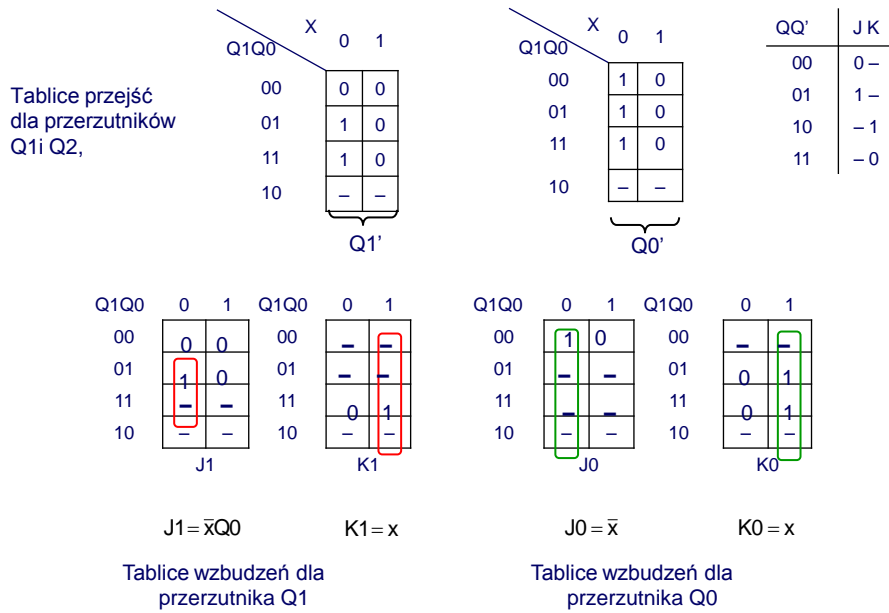
$$D_0 = \bar{x}$$

Funkcja wyjść

$$y = xQ_1$$



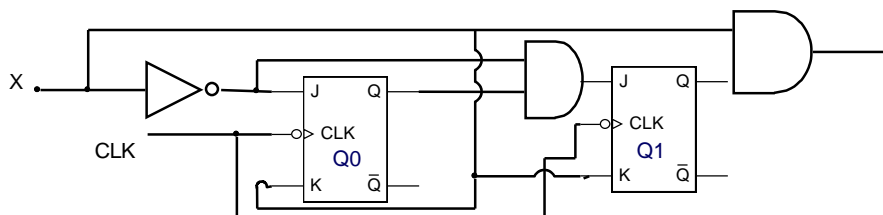
Synteza automatu sekwencyjnego – przerzutniki JK



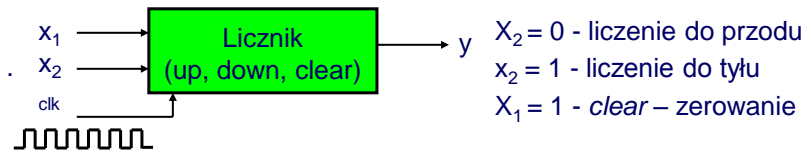
Synteza automatu sekwencyjnego

$$J_0 = \bar{x} \quad J_1 = \bar{x}Q_0$$

$$K_0 = x \quad K_1 = x$$



Synteza automatu sekwencyjnego



S \ X	a	b	c	Y
S0	S1	S4	S0	0
S1	S2	S0	S0	0
S2	S3	S1	S0	0
S3	S4	S2	S0	0
S4	S0	S3	S0	1

Q2Q1Q0 \ X	00	01	11	10
000	001	100	000	000
001	010	000	000	000
010	011	001	000	000
011	100	010	000	000
100	000	011	000	000

Synteza automatu sekwencyjnego

Q2Q1Q0 \ X	00	01	11	10
000	001	100	000	000
001	010	000	000	000
010	011	001	000	000
011	100	010	000	000
100	000	011	000	000

Q2'Q1'Q0'

Q2Q1Q0 \ X_1X_2	00	01	11	10
000	001	100	000	000
001	010	000	000	000
011	100	010	000	000
010	011	001	000	000
110	---	---	---	---
111	---	---	---	---
101	---	---	---	---
100	000	011	000	000

Q2'Q1'Q0'

