

# UKŁADY SEKWENCYJNE

***Układ sekwencyjny*** – wartości wyjść są funkcją aktualnego stanu, sekwencji poprzednich stanów oraz wejść układu cyfrowego

- Autonomiczne włączanie lampek choinkowych
- Sterowanie w zaplanowanej kolejności „pokazem fontann”
- Światła kierujące ruchem ulicznym
- Reklamy świetlne...
- Sekwencyjna wymiany danych

## ***Układ sekwencyjny...***

***Asynchroniczny*** – zmiany stanów następują bezpośrednio po zmianie wartości sygnałów wejściowych (układ rzadko stosowany)

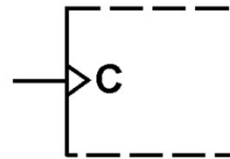
***Synchroniczny*** – zmiany stanów następują na podstawie wartości sygnałów wejściowych w chwilach określanych przez zewnętrzny sygnał taktujący, zazwyczaj okresowy stąd zwany zegarowym

***autonomiczny*** – układ synchroniczny bez wejść sterujących, tylko zegar

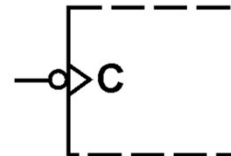
# UKŁADY SEKWENCYJNE

## Sposoby wyzwalania układu synchronicznego sygnałem zegarowym

**Zbocze narastające**  
( zmiana  $0 \rightarrow 1$  )



**Zbocze opadające**  
( zmiana  $1 \rightarrow 0$  )



# UKŁADY SEKWENCYJNE

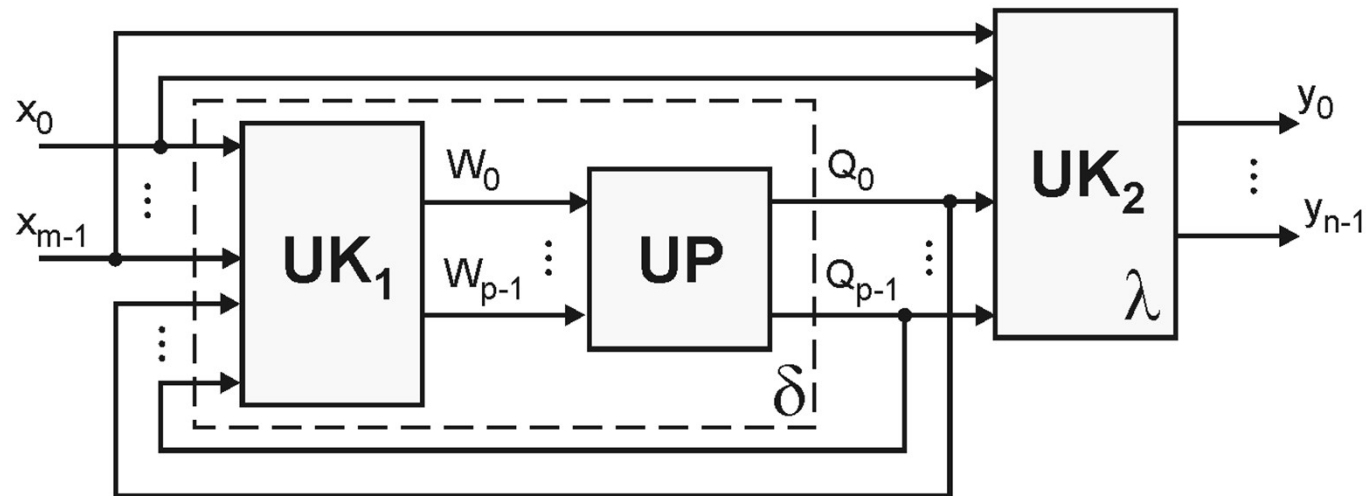
**Model matematyczny układu sekwencyjnego nazywany jest  
*AUTOMATEM***

**Rozróżniamy dwa modele automatów:**

- automat Mealy’ego – (1955 r.) sygnały wyjściowe zależą od stanu w jakim układ się znajduje oraz od sygnałów wejściowych (rzadko stosowany)**
- automat Moore’a – (1956 r.) sygnały wyjściowe zależą tylko od stanu w jakim układ się znajduje**

# UKŁADY SEKWENCYJNE

## Schemat blokowy automatu Mealy'ego



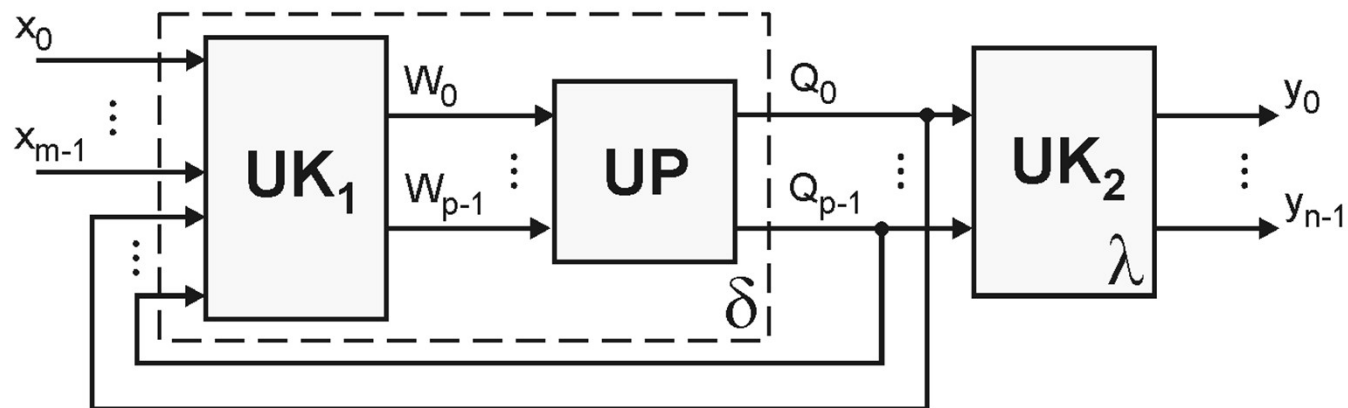
$$Q = \delta(Q, X)$$

$$Y = \lambda(Q, X)$$

**UP – układ pamięciowy**

# UKŁADY SEKWENCYJNE

## Schemat blokowy automatu Moore'a



$$Q = \delta(Q, X)$$

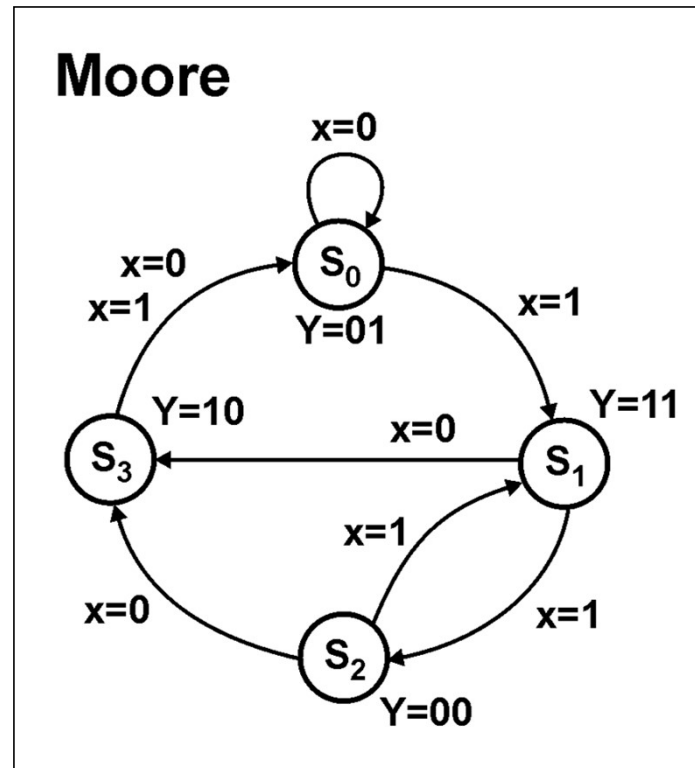
$$Y = \lambda(Q)$$

UP – *układ pamięciowy*

# UKŁADY SEKWENCYJNE

## Sposoby opisu układu sekwencyjnego

### *Graf stanów*



# UKŁADY SEKWENCYJNE

## Sposoby opisu układu sekwencyjnego

### *Tablica przejść i wyjść*

#### Moore

Tablica przejść

Stan		Stan			
x		S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
		S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>0</sub>
0		S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>0</sub>
1		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>

Stan<sub>+</sub>

Tablica wyjść

		Stan			
Y		S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
		01	11	00	10

Stan – stan aktualny, Stan<sub>+</sub> – stan następny



# ELEMENTY PAMIĘCIOWE => *przerzutniki*

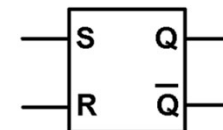
## Ze względu na sposób przełączenia:

- przerzutniki *asynchroniczne* – tylko wyjściowe sygnały wyzwalające zmianę stanu wyjścia; *zatrask, latch*
- przerzutniki *synchroniczne* – wyjściowe sygnały wyzwalające zmianę stanu wyjścia oraz sygnał taktujący (zegar)

## Ze względu na działanie:

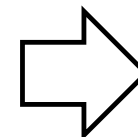
- SR ( Set – Reset )
- D ( Data, Delay )
- JK ( ulepszona wersja SR )
- T ( Toggle – *ang.* przełączenie )

# ASYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK *SR*



## Zasada działania

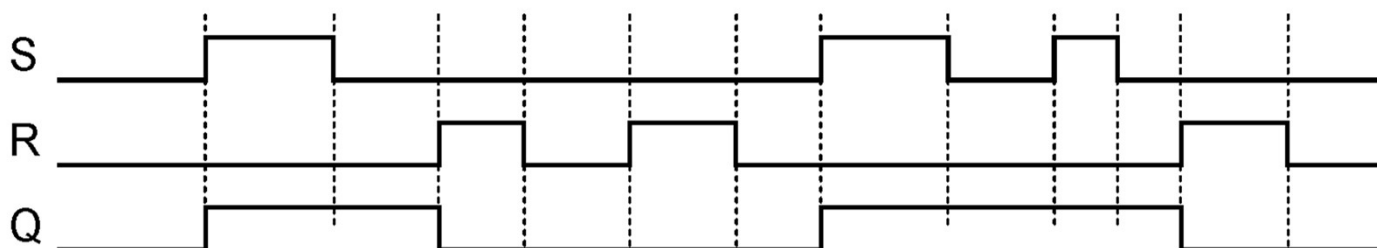
**S – Set** → dla S=1 ustaw Q=1  
**R – Reset** → dla R=1 ustaw Q=0



Tablica przejść

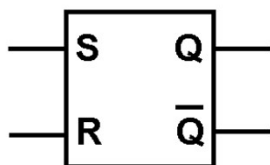
S	R	Q <sub>+</sub>
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	—

## Przykładowe przebiegi sygnałów

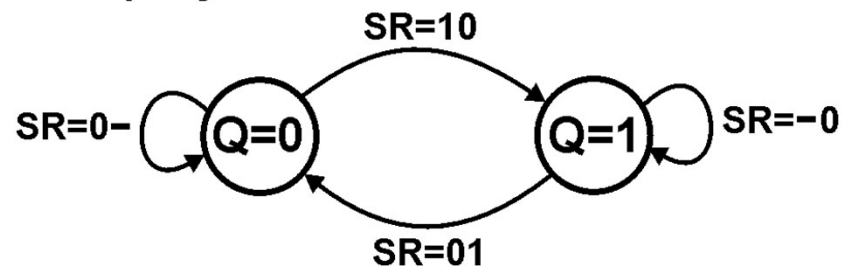


## Asynchroniczny przerzutnik SR – sposoby opisu działania

Symbol



Graf przejść



Siatka Karnaugh

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

$Q^+$

Tablica przejść

S	R	$Q^+$
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	—

Tablica wzbudzeń

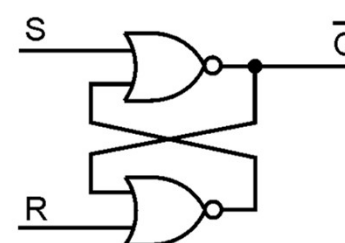
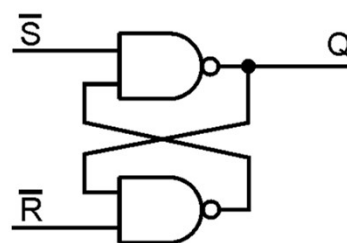
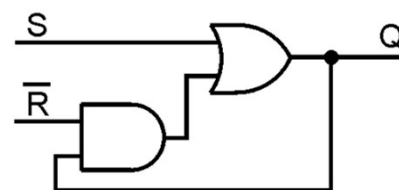
$Q \rightarrow Q^+$	S	R
0 → 0	0	—
0 → 1	1	0
1 → 0	0	1
1 → 1	—	0

## Asynchroniczny przerzutnik SR – realizacja układowa

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

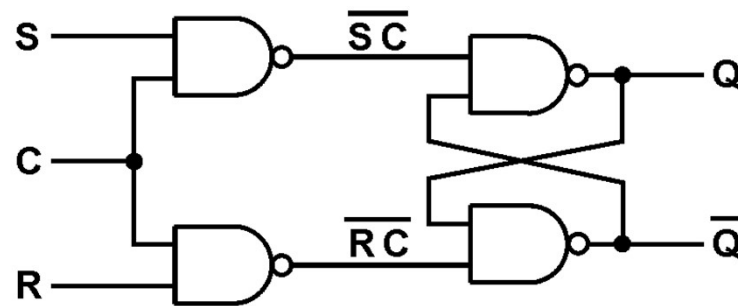
$Q_+$

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



$\bar{R}, \bar{S}$  – znak negacji oznacza reakcję tych wejść na stan 0

## Przerzutnik SR – z zezwoleniem... ( bramkowany zatrzask )

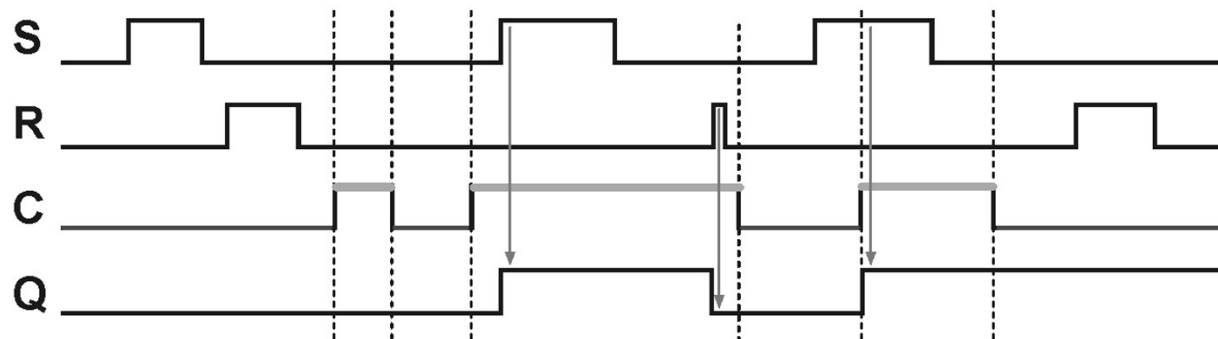


$$\overline{SC} = \begin{cases} 1 & \text{dla } C = 0 \\ \overline{S} & \text{dla } C = 1 \end{cases}$$

$$\overline{RC} = \begin{cases} 1 & \text{dla } C = 0 \\ \overline{R} & \text{dla } C = 1 \end{cases}$$

Stany wejść  $S$  i  $R$  są przenoszone przez bramki NAND tylko przy sygnale zezwalającym  $C = 1$ .

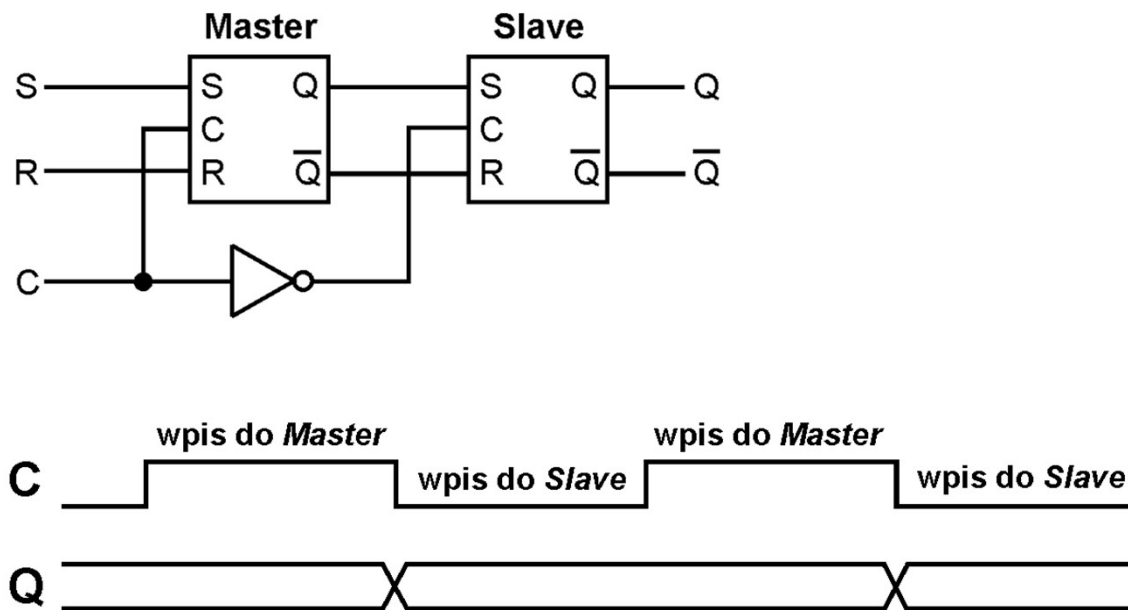
### Przykładowe przebiegi sygnałów



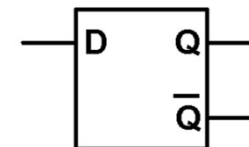
## Przerzutnik typu Master–Slave

Jest to najprostsze rozwiązanie eliminujące „przezroczyść”, stanowiące szeregowe połączenie dwóch bramkowanych zatrząskó wyzwalanych w przeciwnych fazach impulsem sygnału zegarowego.

### Przerzutnik SR MS

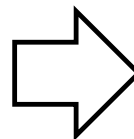


## „ASYNCHRONICZNY” PRZERZUTNIK *D*



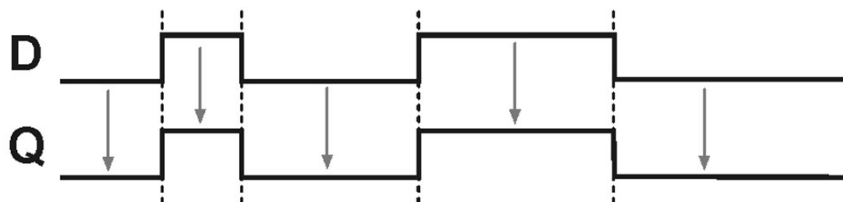
### Zasada działania

dla  $D=1$  ustaw  $Q=1$   
dla  $D=0$  ustaw  $Q=0$



Tablica przejść	
D	$Q_+$
0	0
1	1

### Przykładowe przebiegi sygnałów

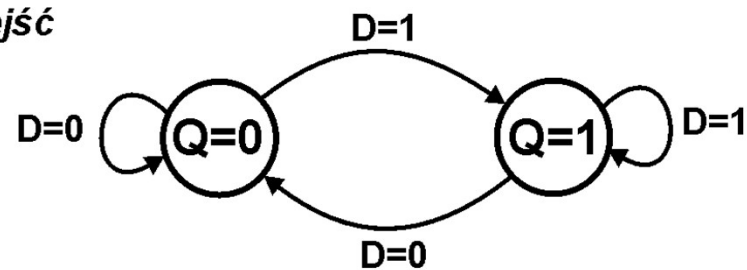


„super-przeźroczysty...”

???

## Przerzutnik D – sposoby opisu działania

Graf przejść



Siatka Karnaugh

D \ Q	0	1
0	0	1
1	0	1

$Q^+ = D$

Tablica przejść

D	$Q^+$
0	0
1	1

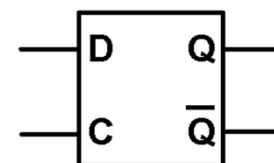
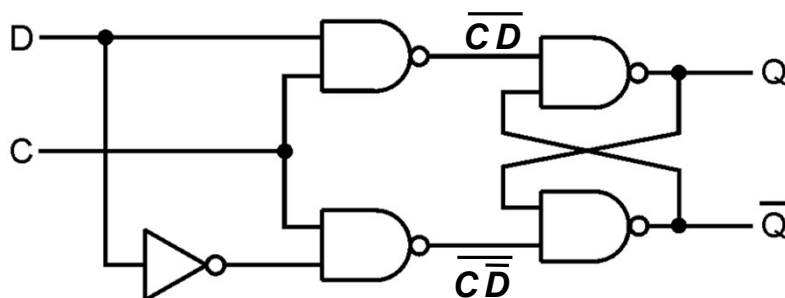
Tablica wzbudzeń

$Q \rightarrow Q^+$	D
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	0
1 → 1	1



## Przerzutnik D – z zezwoleniem... ( bramkowany, zatrzask )

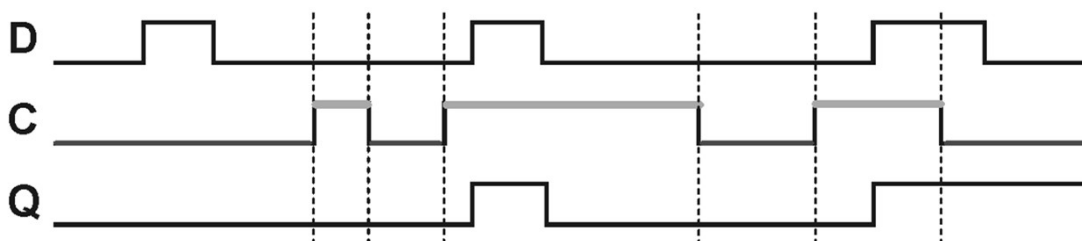
Powstał z zatrzasku SR w wyniku połączenia wejścia S przez inwerter do wejścia R =>



Tablica przejść

S	R	Q <sub>+</sub>
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	—

### Przykładowe przebiegi sygnałów

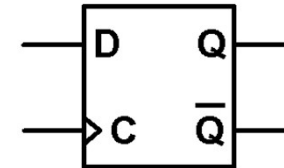


?

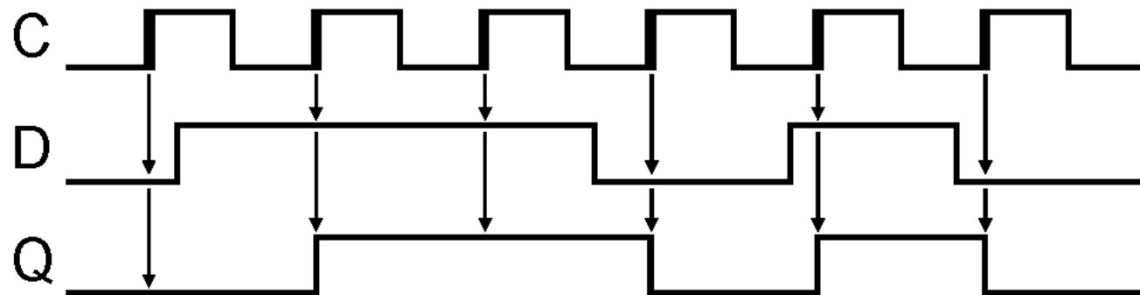
„prawie nieprzeźroczysty...”

## ***SYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK $D$***

***– wyzwalany zboczem sygnału zegara***



***Przykładowe przebiegi sygnałów***

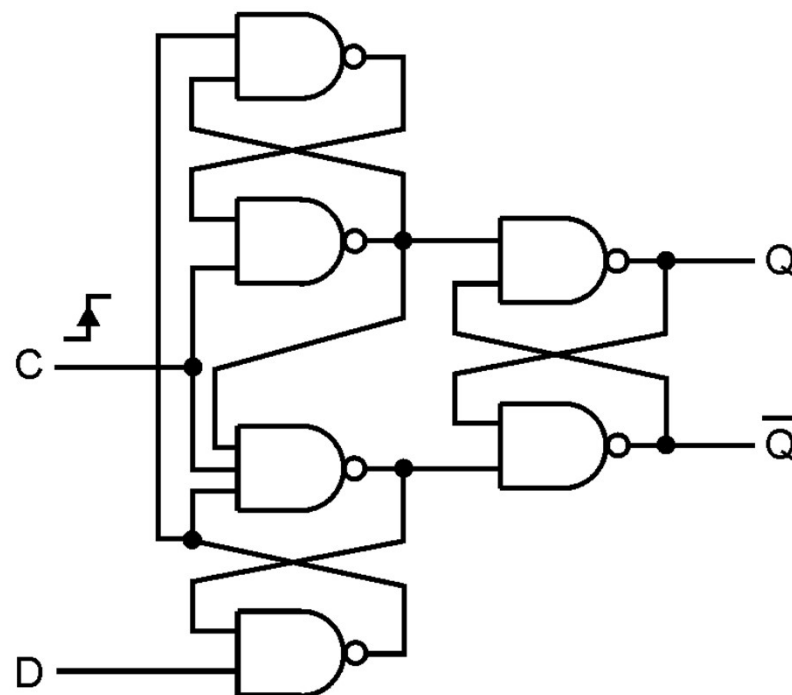


***„całkowicie nieprzeźroczysty...”***



***Wyjście  $Q$  przyjmuje stan wejścia  $D$  tylko  
w momentach zmiany na  $C$  z 0 na 1***

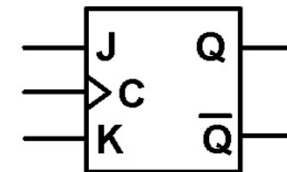
## *Synchroniczny przerzutnik D – realizacja układowa*



## SYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK *JK*

*J* – John

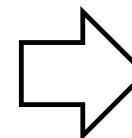
*K* – Kilby



*Ulepszona wersja przerzutnika SR – brak stanu zabronionego !*

### *Zasada działania*

**J (set) → dla J=1 ustaw Q=1**  
**K (reset) → dla K=1 ustaw Q=0**



Tablica przejść		
J	K	Q <sub>+</sub>
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q}$

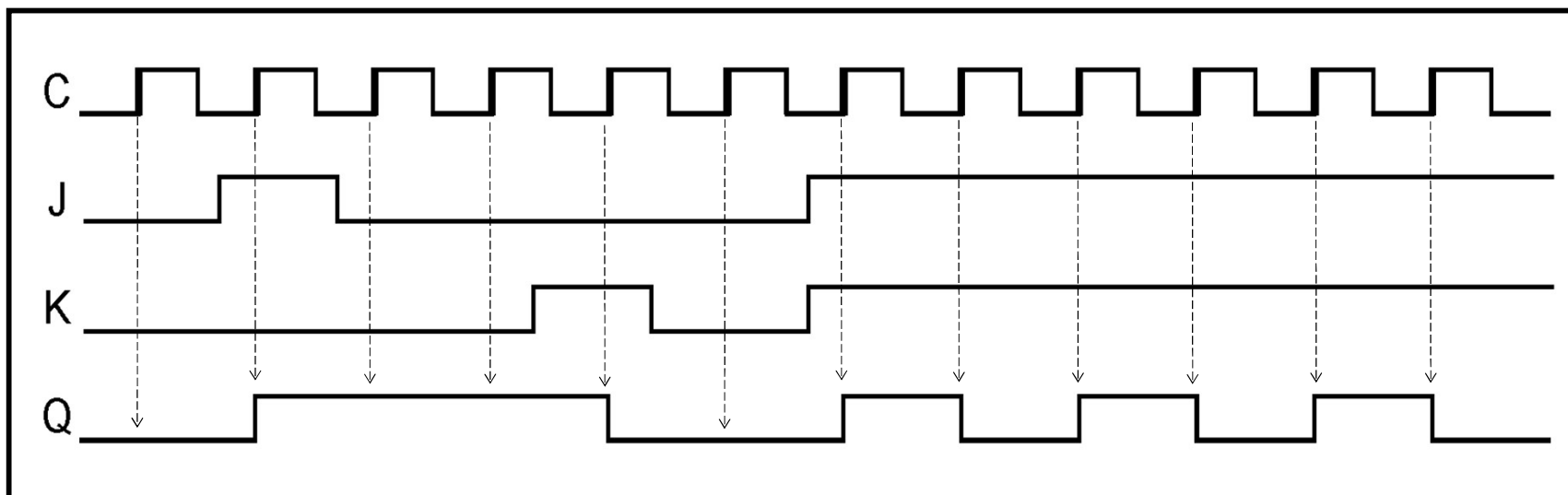
***Dla J = 1 i K = 1 wyjście Q przyjmuje stan przeciwny!***

## ***Synchroniczny przerzutnik JK***

***– przykładowe przebiegi sygnałów***

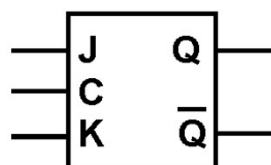
Tablica przejść

J	K	Q <sub>+</sub>
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q}$

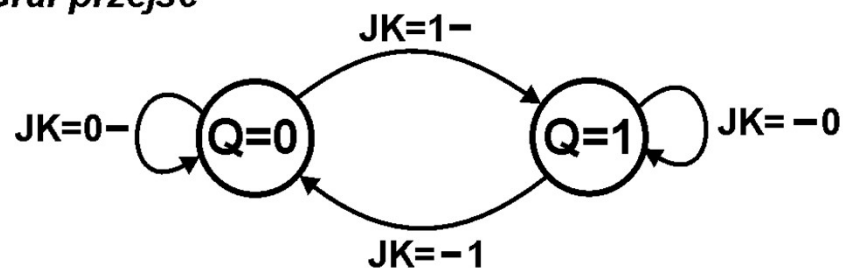


## Synchroniczny przerzutnik JK – sposoby opisu działania

Symbol



Graf przejść



Siatka Karnaugh

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

$Q^+$

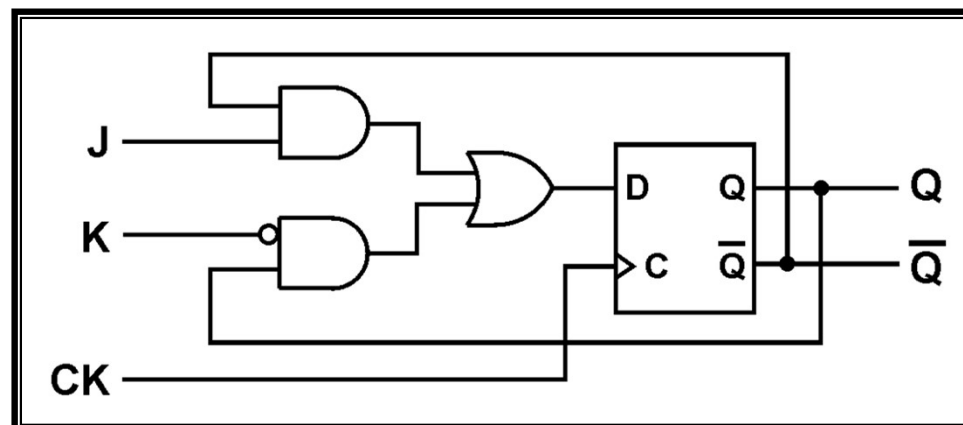
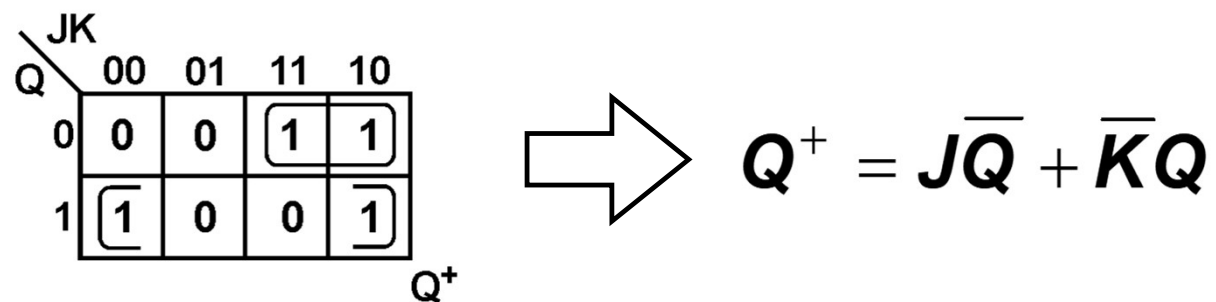
Tablica przejść

JK	$Q^+$
00	Q
01	0
10	1
11	$\overline{Q}$

Tablica wzbudzeń

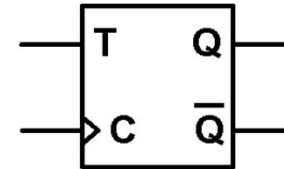
$Q \rightarrow Q^+$	JK
0→0	0-
0→1	1-
1→0	-1
1→1	-0

## Synchroniczny przerzutnik JK – realizacja układowa



## SYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK $T$

$T$  – toggle – przełączać...



### Zasada działania

- dla  $T=1$  ustaw na  $Q$  stan przeciwny, czyli not  $Q$
- dla  $T=0$  nie zmieniaj stanu wyjścia  $Q$



Tablica przejść	
$T$	$Q_+$
0	$Q$
1	$\overline{Q}$

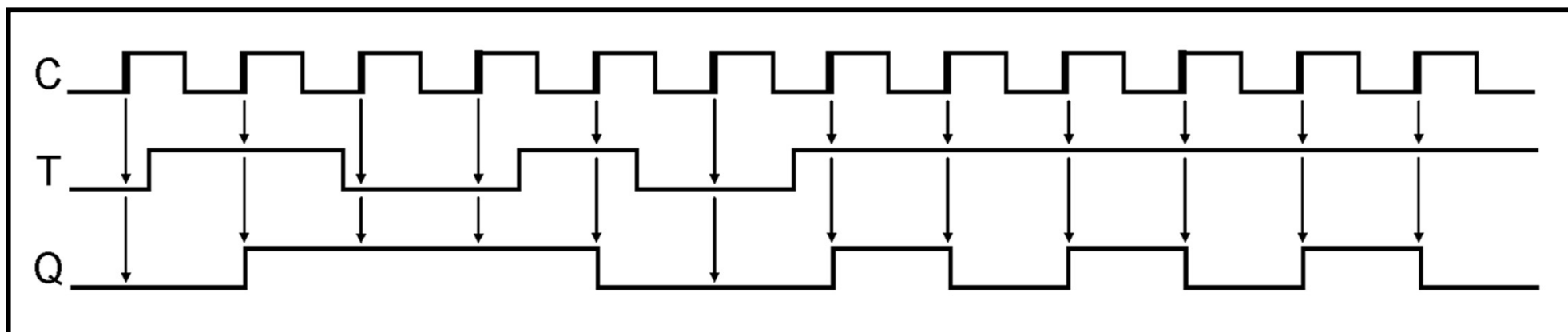


## ***Synchroniczny przerzutnik T***

***– przykładowe przebiegi sygnałów***

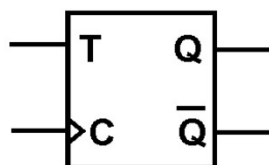
Tablica przejść

T	$Q_+$
0	$Q$
1	$\overline{Q}$

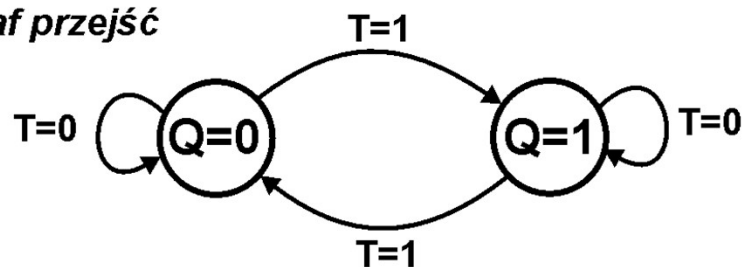


## Synchroniczny przerzutnik $T$ – sposoby opisu działania

Symbol



Graf przejść



Siatka Karnaugh

		T	
		0	1
Q	0	0	1
	1	1	0

$Q^+$

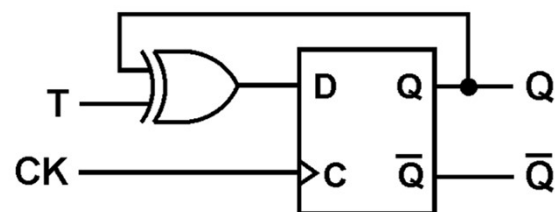
Tablica przejść

T	$Q^+$
0	Q
1	$\bar{Q}$

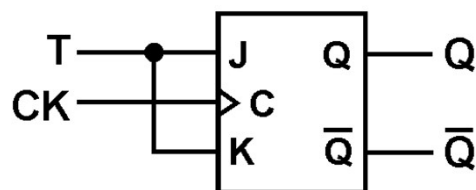
Tablica wzbudzeń

$Q \rightarrow Q^+$	T
0 $\rightarrow$ 0	0
0 $\rightarrow$ 1	1
1 $\rightarrow$ 0	1
1 $\rightarrow$ 1	0

## Synchroniczny przerzutnik $T$ – realizacje układowe



T \ Q	0	1
0	0	1
1	1	0

 $Q^+ = T \oplus Q$ 


Tablica wzbudzeń

Q → Q <sup>+</sup>	T
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	1
1 → 1	0

# **Projektowanie układów sekwencyjnych**

## **ETAPY:**

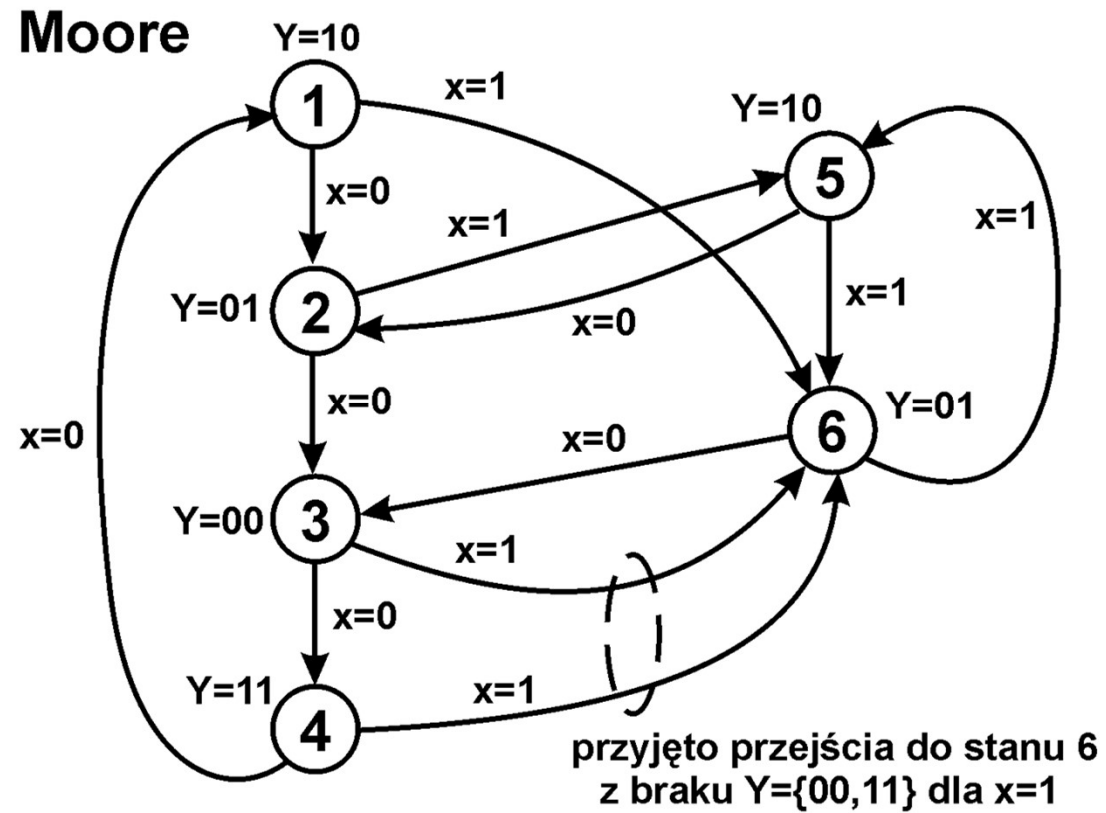
- 1. Opis słowny działania układu**
- 2. Utworzenie grafu automatu**
- 3. Utworzenie pierwotnej tablicy przejść i wyjść**
- 4. Minimalizacja liczby stanów automatu**
- 5. Kodowanie stanów**
- 6. Wybór elementów pamięciowych**
- 7. Utworzenie funkcji wzbudzeń przerzutników**
- 8. Utworzenie funkcji wyjść**
- 9. Schemat układu ( bramki, przerzutniki )**

### **Przykład – opis słowny działania układu**

**Zaprojektować synchroniczny układ sekwencyjny generujący sekwencję sygnałów sterujących 10, 01, 00, 11 dla sygnału wejściowego  $x=0$  oraz sekwencję 01, 10 dla  $x=1$ . Przy zmianie sygnału  $x$  układ generuje nową sekwencję tak, aby należał do niej ostatni wyraz poprzedniej sekwencji.**

## Przykład – *graf automatu*

$x=0 \rightarrow 10, 01, 00, 11$  oraz  $x=1 \rightarrow 10, 01$  (brak 00 i 11!)



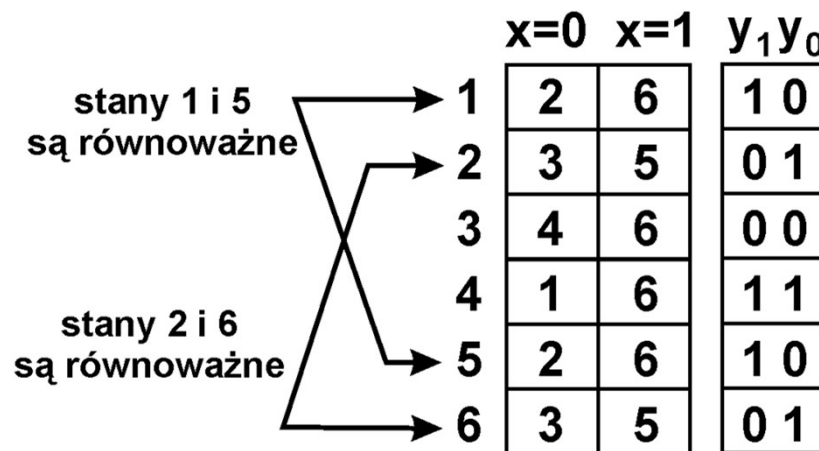
**Przykład – pierwotna tablica przejść i wyjść**

	<b>x=0</b>	<b>x=1</b>	<b>y<sub>1</sub>y<sub>0</sub></b>
<b>1</b>	2	6	1 0
<b>2</b>	3	5	0 1
<b>3</b>	4	6	0 0
<b>4</b>	1	6	1 1
<b>5</b>	2	6	1 0
<b>6</b>	3	5	0 1

## Przykład – *minimalizacja liczby stanów*

Dwa stany są równoważne, jeżeli dla każdej kombinacji wejść dają taką samą wartość wyjścia oraz przenoszą automat do tego samego stanu lub stanów równoważnych.

Stany równoważne sklejamy w jeden stan.



	x=0	x=1	$y_1y_0$
1	2	6	1 0
2	3	5	0 1
3	4	6	0 0
4	1	6	1 1
5	2	6	1 0
6	3	5	0 1

Zredukowana  
liczba stanów

	x=0	x=1	$y_1y_0$
(1,5)	2	6	1 0
(2,6)	3	5	0 1
3	4	6	0 0
4	1	6	1 1



## Przykład – minimalizacja liczby stanów

(1,5) → A

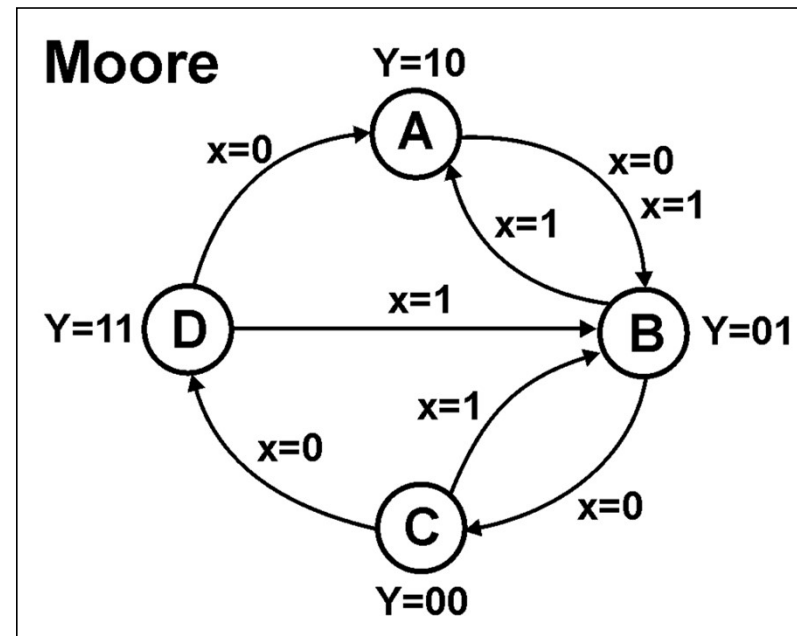
(2,6) → B

3 → C

4 → D

	x=0	x=1	$y_1 y_0$
A	B	B	1 0
B	C	A	0 1
C	D	B	0 0
D	A	B	1 1

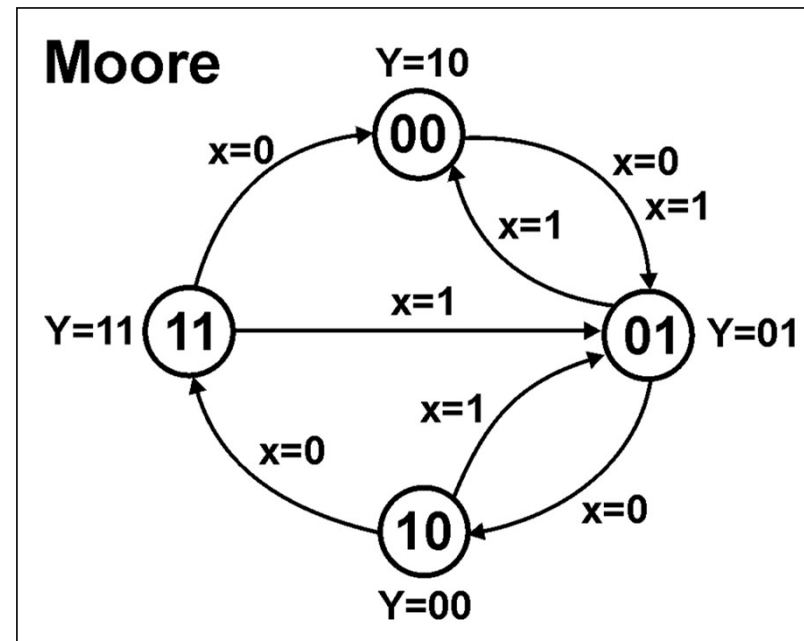
## Minimalny graf automatu



Minimalna tablica przej. i wyj.

## Przykład – *kodowanie stanów*

Kody stanów: A  $\leq$  00  
( $Q_1Q_0$ ) B  $\leq$  01  
C  $\leq$  10  
D  $\leq$  11



**Przykład – zakodowana minimalna tablica przejść i wyjść  
w postaci siatek Karnaugh**

**Moore**

Tablica przejść

		$Q_1 Q_0$			
		00	01	11	10
$x$	0	01	10	00	11
	1	01	00	01	01

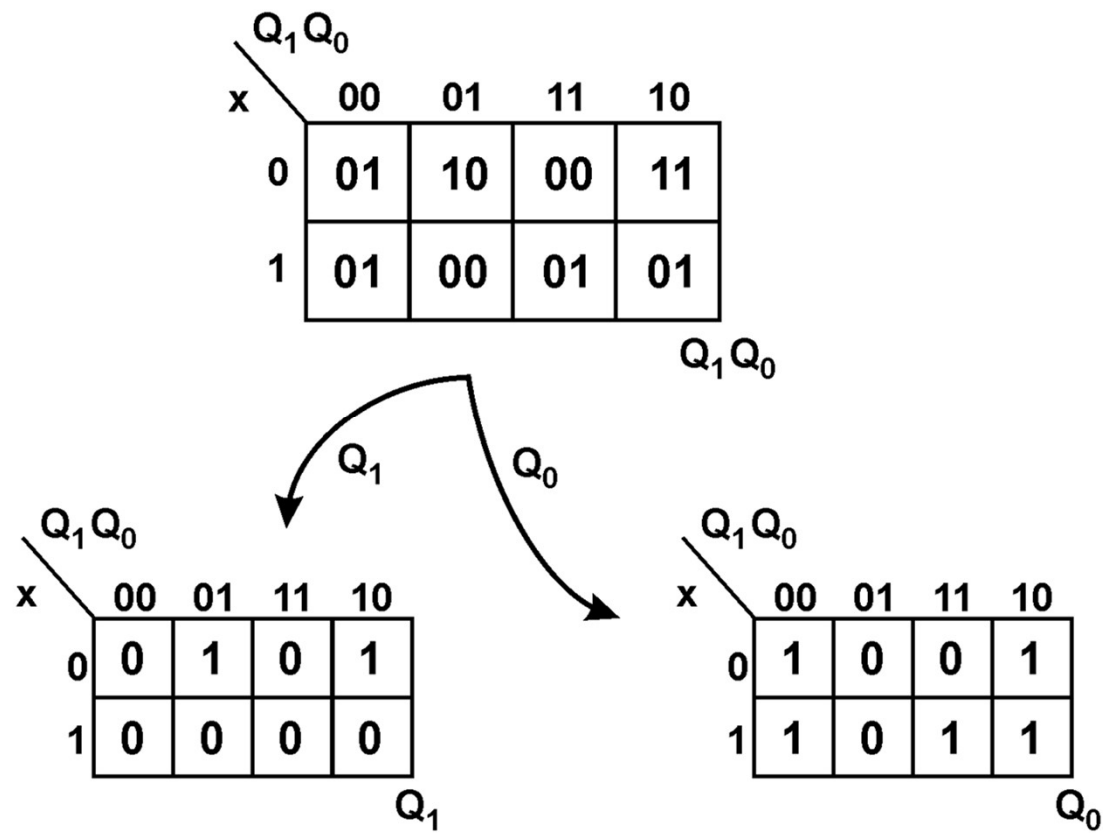
$Q_1 Q_0$

Tablica wyjść

		$Q_0$	
		0	1
$Q_1$	0	10	01
	1	00	11

$y_1 y_0$

## Przykład – *funkcje wzbudzeń*



## Przykład – funkcje wzbudzeń dla przerzutników JK

$Q_0$

Diagram of the initial state transition table for  $Q_0$ . The vertical axis is labeled  $x$  with values 0 and 1. The horizontal axis is labeled  $Q_1 Q_0$  with values 00, 01, 11, and 10. The table contains the next state values for  $Q_0$ .

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

Arrows indicate the state transitions between adjacent cells. A specific transition is highlighted:  $Q_0 = 0 \rightarrow 1$  from the cell (0, 01) to (0, 11).

Tablica wzbudzeń

$Q \rightarrow Q_+$	J K
0 → 0	0 –
0 → 1	1 –
1 → 0	– 1
1 → 1	– 0

Diagram of the J input function table for  $Q_0$ . The vertical axis is labeled  $x$  with values 0 and 1. The horizontal axis is labeled  $Q_1 Q_0$  with values 00, 01, 11, and 10. The table contains the J input values.

	00	01	11	10
0	1	–	–	1
1	1	–	–	1

Arrows from the initial state table point to the cells where  $J_0 = 1$  (00, 01, 11, 10 for  $x=0$  and 00, 10 for  $x=1$ ).

$$J_0 = 1$$

Diagram of the K input function table for  $Q_0$ . The vertical axis is labeled  $x$  with values 0 and 1. The horizontal axis is labeled  $Q_1 Q_0$  with values 00, 01, 11, and 10. The table contains the K input values.

	00	01	11	10
0	–	1	1	–
1	–	1	0	–

Arrows from the initial state table point to the cells where  $K_0$  is defined (01, 11 for  $x=0$  and 01, 11 for  $x=1$ ).

$$K_0 = \overline{Q_1} + \overline{x} = \overline{Q_1 x}$$

## Przykład – funkcje wzbudzeń dla przerzutników JK

$Q_1$

		$Q_1 Q_0$			
		00	01	11	10
$x$	0	0	1	0	1
	1	0	0	0	0

$Q$

Tablica wzbudzeń

$Q \rightarrow Q_+$	J K
0 → 0	0 –
0 → 1	1 –
1 → 0	– 1
1 → 1	– 0

		$Q_1 Q_0$				
		$x$	00	01	11	10
	0	0	1	—	—	
	1	0	0	—	—	

$J_1$

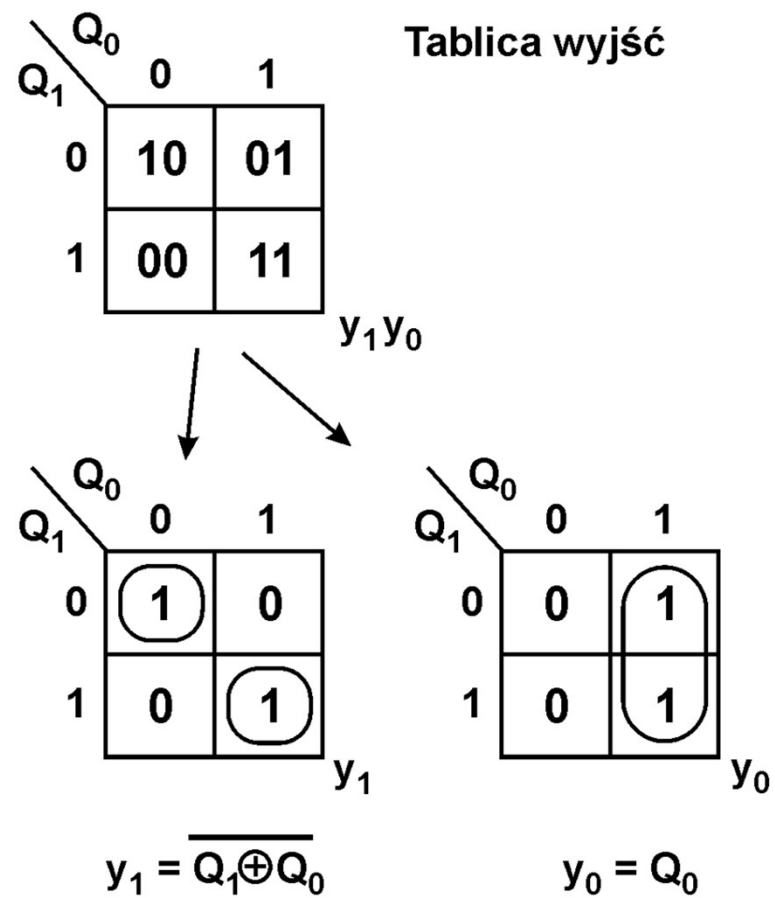
$$J_1 = \overline{x} Q_0$$

		$Q_1 Q_0$			
		00	01	11	10
$x$	0	—	—	1	0
	1	—	—	1	1

$K_1$

$$K_1 = Q_0 + x$$

## Przykład – funkcje wyjść $y_1$ i $y_0$



## Przykład – schemat logiczny automatu

