

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)

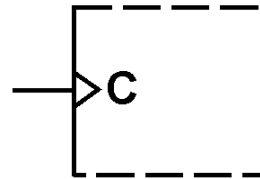
Synchroniczny – zmiany stanów następują na podstawie wartości sygnałów wejściowych w chwilach określanych przez zewnętrzny sygnał taktujący, zazwyczaj okresowy stąd zwany zegarowym

autonomiczny – układ synchroniczny bez wejść sterujących, tylko zegar

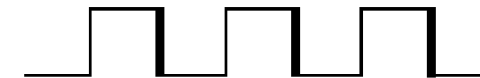
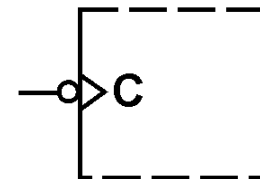
UKŁADY SEKWENCYJNE

Sposoby wyzwalania układu synchronicznego sygnałem zegarowym C

Zbocze narastające
(zmiana $0 \rightarrow 1$)



Zbocze opadające
(zmiana $1 \rightarrow 0$)



UKŁADY SEKWENCYJNE

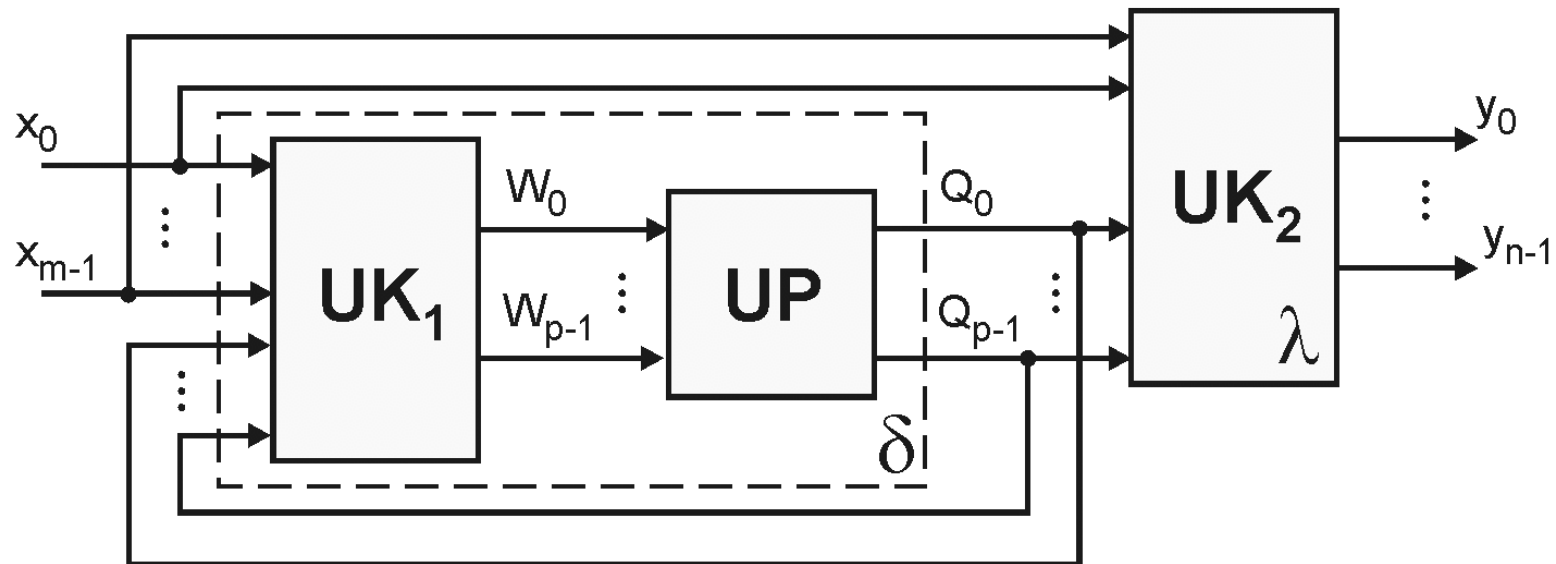
Model matematyczny układu sekwencyjnego nazywany jest *AUTOMATEM*

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

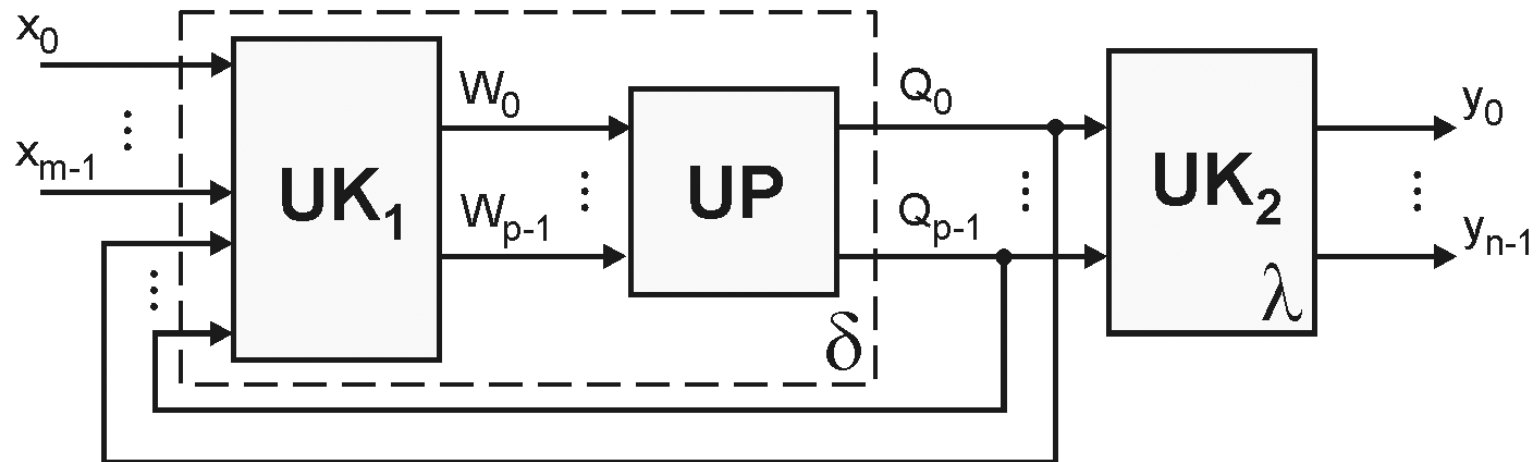


$$Q = \delta(Q, X) \quad Y = \lambda(Q, X)$$

UP – *układ pamięciowy*

UKŁADY SEKWENCYJNE

Schemat blokowy automatu Moore'a



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

$$Y = \lambda(Q)$$

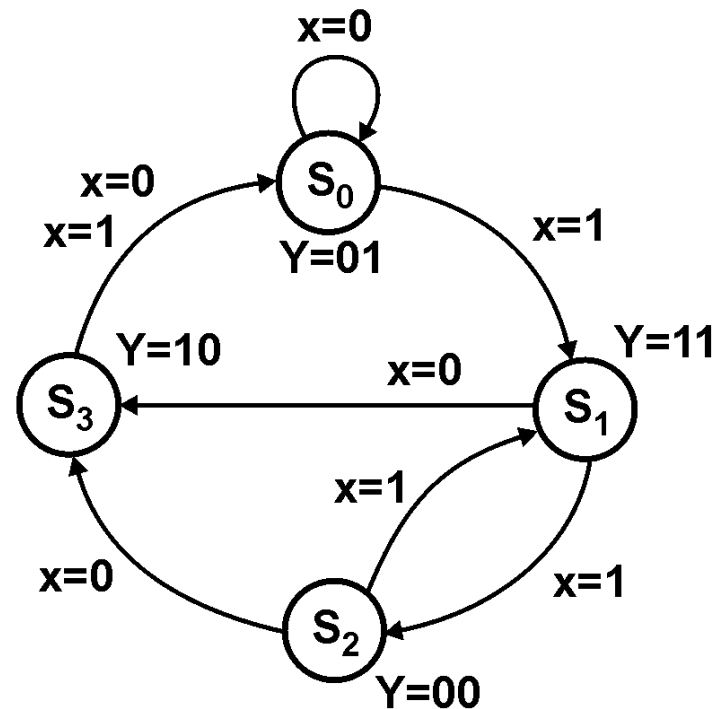
UP – *układ pamięciowy*

UKŁADY SEKWENCYJNE

Sposoby opisu układu sekwencyjnego

Graf stanów

Moore



UKŁADY SEKWENCYJNE

Sposoby opisu układu sekwencyjnego

Tablica przejść i wyjść

Moore

Tablica przejść

| Stan | | | | | |
|------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| x | | S ₀ | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| | | S ₀ | S ₃ | S ₃ | S ₀ |
| 0 | | S ₀ | S ₃ | S ₃ | S ₀ |
| 1 | | S ₁ | S ₂ | S ₁ | S ₀ |

Stan₊

Tablica wyjść

| | | Stan | | | |
|---|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Y | | S ₀ | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| | | 01 | 11 | 00 | 10 |

Stan – stan aktualny, Stan₊ – stan następny

ELEMENTY PAMIĘCIOWE => *przerzutniki*

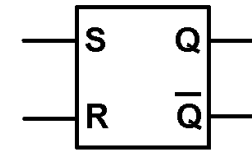
Ze względu na sposób przełączenia:

- 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)

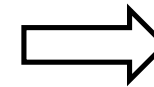
ASYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK *SR*



Zasada działania

S – Set → dla S=1 ustaw Q=1

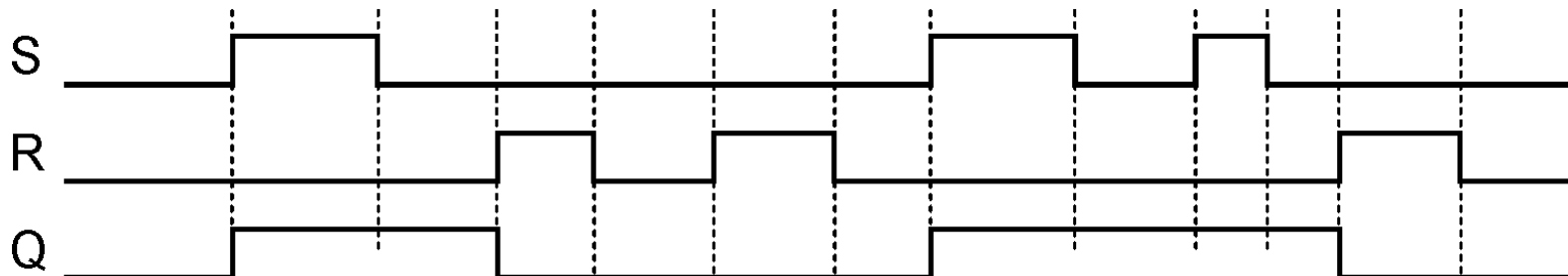
R – Reset → dla R=1 ustaw Q=0



Tablica przejść

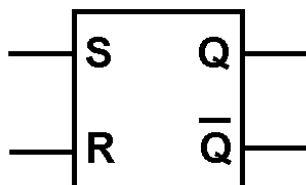
| S | R | Q ₊ |
|---|---|----------------|
| 0 | 0 | Q |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | — |

Przykładowe przebiegi sygnałów

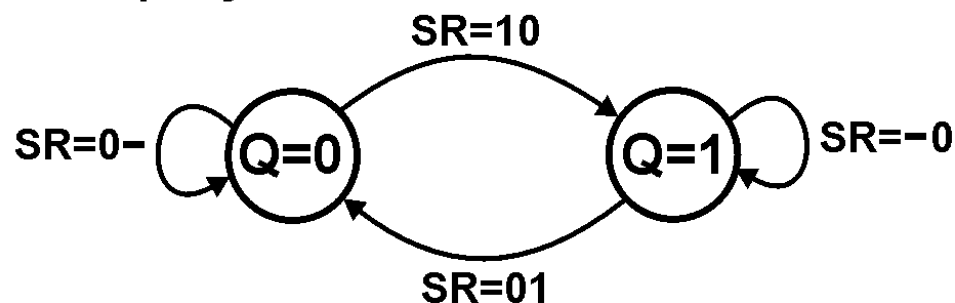


Asynchroniczny przerzutnik SR – sposoby opisu działania

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

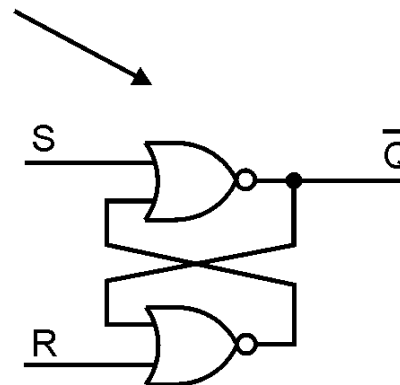
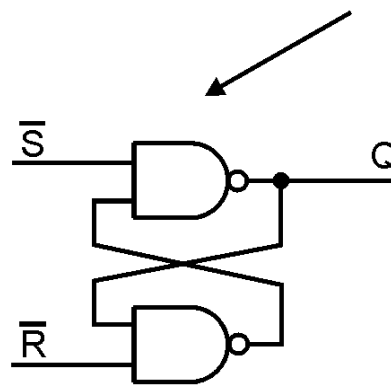
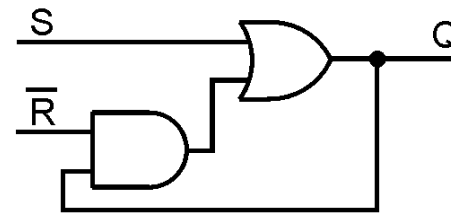
| $Q \rightarrow Q^+$ | S R |
|---------------------|-----|
| 0 → 0 | 0 — |
| 0 → 1 | 1 0 |
| 1 → 0 | 0 1 |
| 1 → 1 | — 0 |

Asynchroniczny przerzutnik SR – realizacja układowa

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

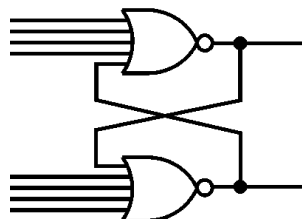
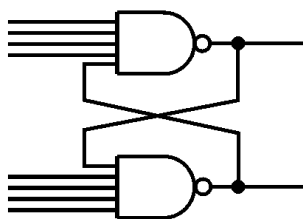
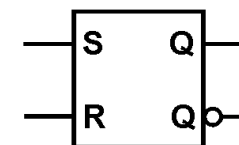
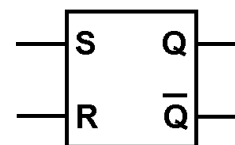
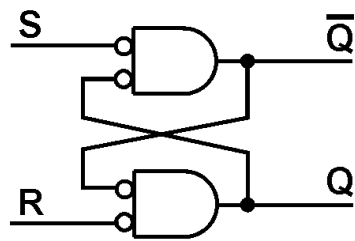
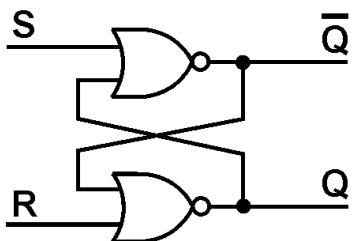
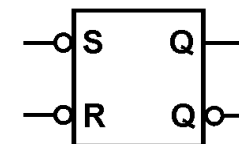
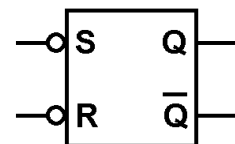
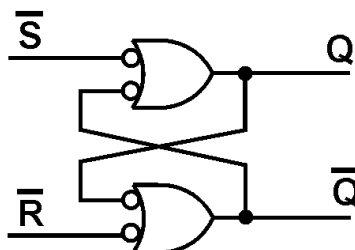
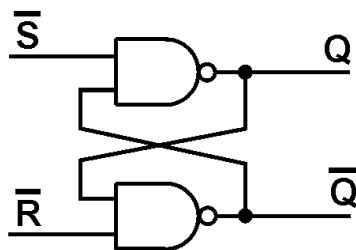
Q_+

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



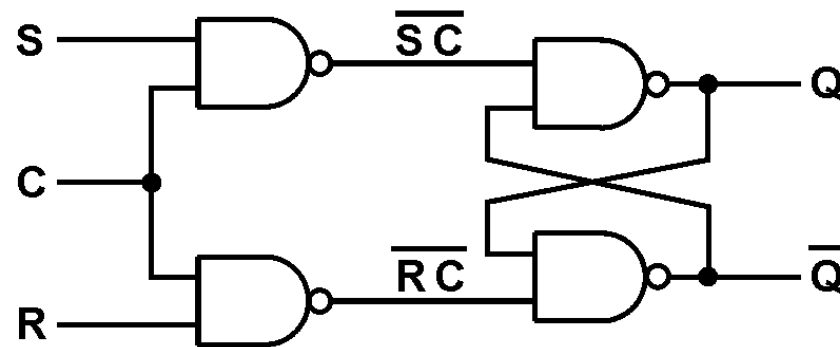
\bar{R}, \bar{S} – znak negacji oznacza reakcję tych wejść na stan 0

Asynchroniczny przerzutnik SR – realizacja układowa



...kilka wejść S i R...

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

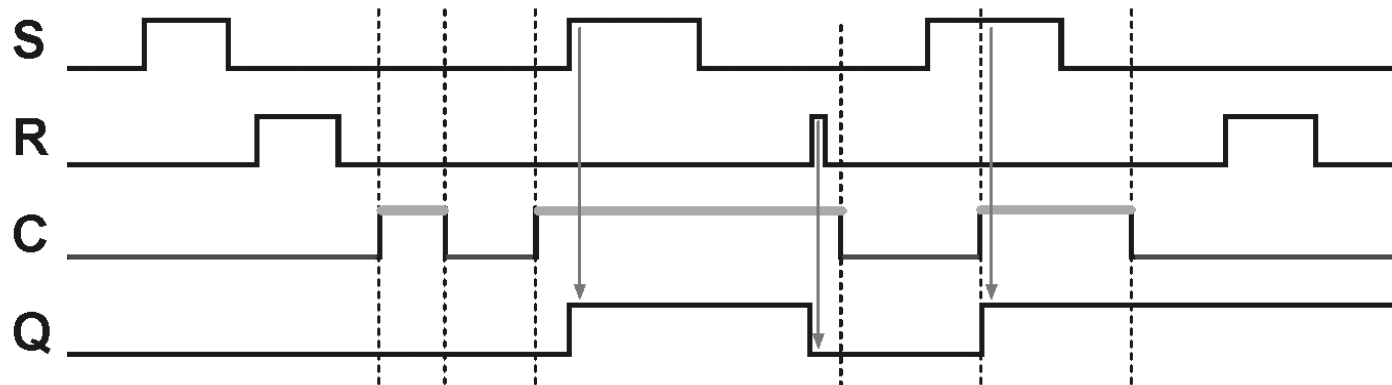


$$\overline{SC} = \begin{cases} 1 & \text{dla } C = 0 \\ \overline{S} & \text{dla } C = 1 \end{cases}$$

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

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

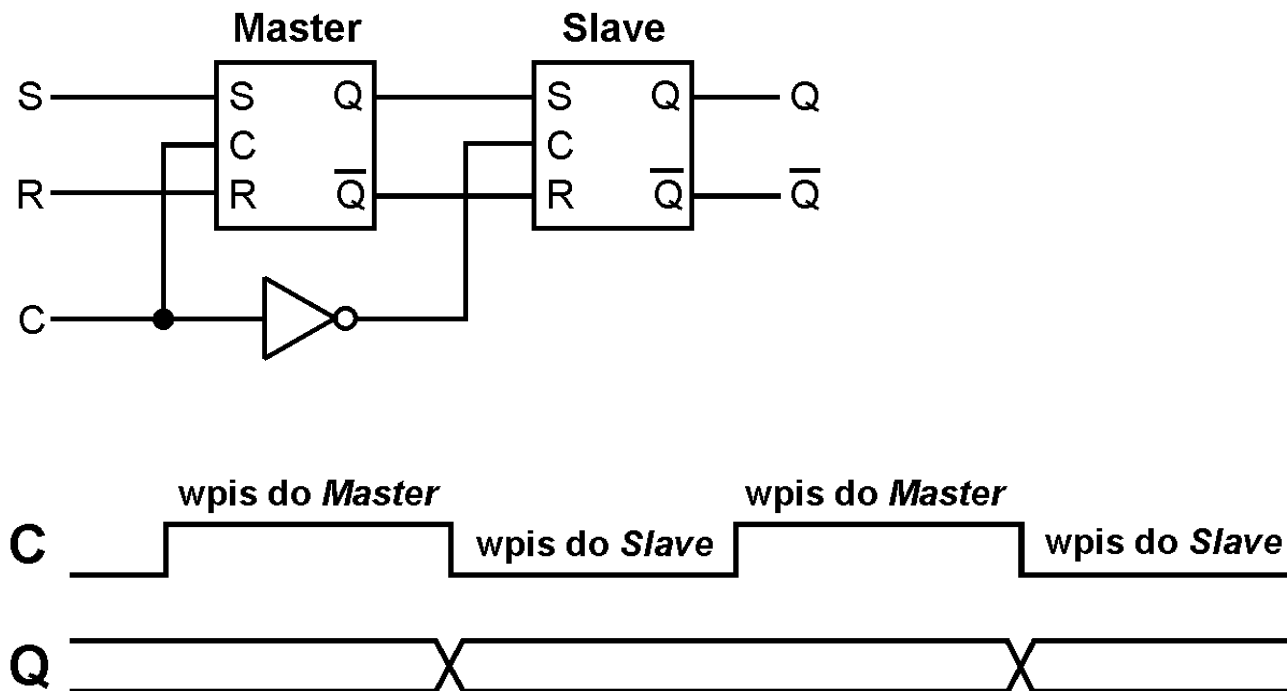
Przykładowe przebiegi sygnałów



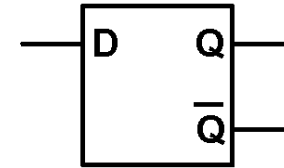
Przerzutnik typu Master–Slave

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

Przerzutnik SR MS

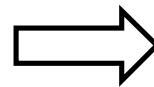


„ASYNCHRONICZNY” PRZERZUTNIK *D*



Zasada działania

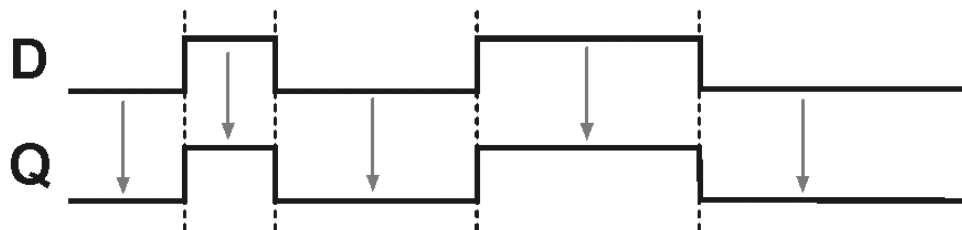
dla $D=1$ ustaw $Q=1$
dla $D=0$ ustaw $Q=0$



Tablica przejść

| D | Q_+ |
|---|-------|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

Przykładowe przebiegi sygnałów

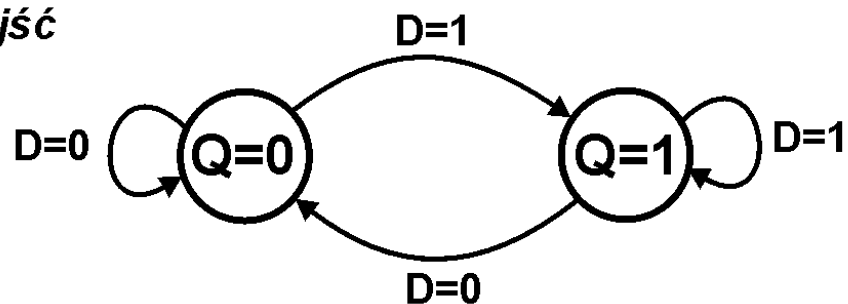


???

„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

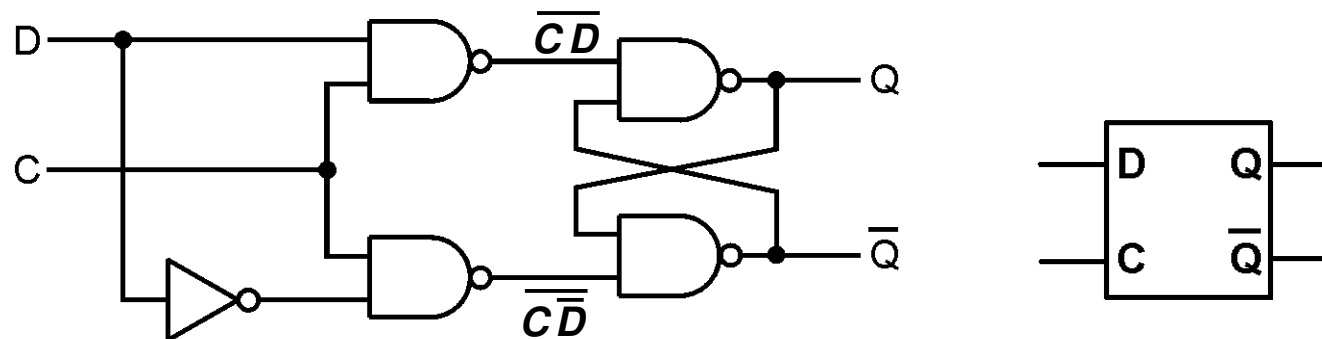
| $Q \rightarrow Q^+$ | D |
|---------------------|---|
| 0 → 0 | 0 |
| 0 → 1 | 1 |
| 1 → 0 | 0 |
| 1 → 1 | 1 |

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

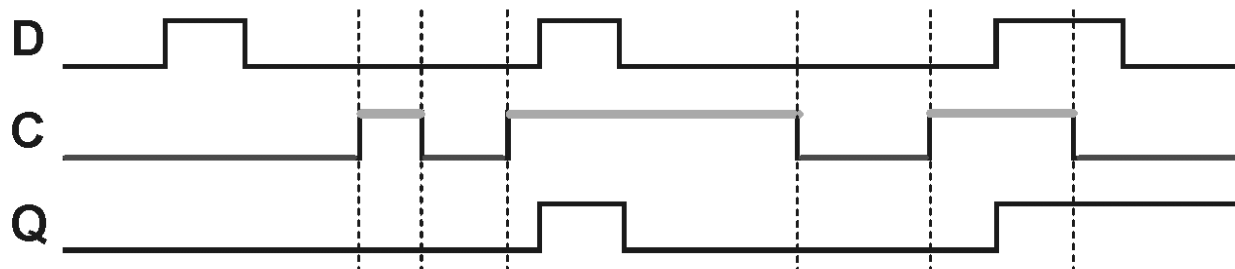
Powstał z zatrzasku SR w wyniku połączenia wejścia S przez inwerter do wejścia R.

Tablica przejść

| S | R | Q ₊ |
|---|---|----------------|
| 0 | 0 | Q |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | – |



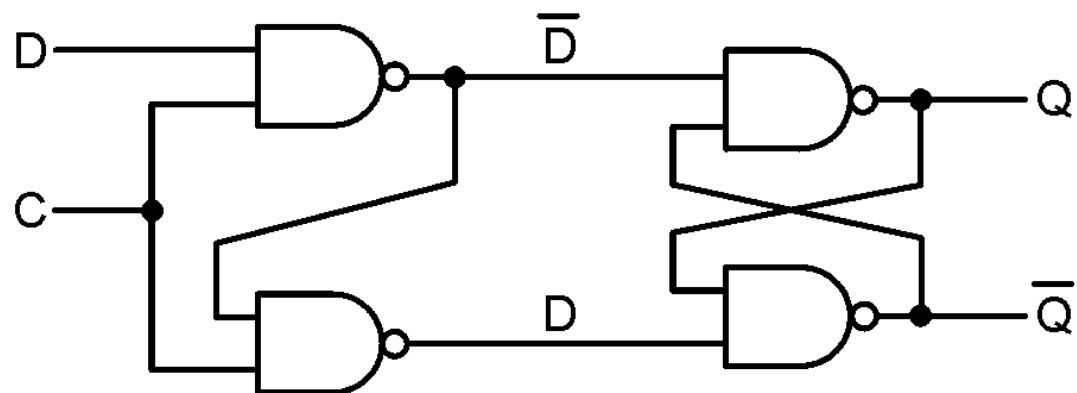
Przykładowe przebiegi sygnałów



?

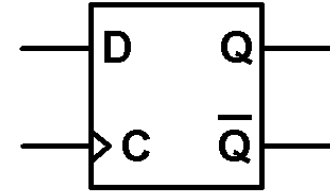
„prawie nieprzeźroczysty...”

Przerzutnik D – z zezwoleniem... prostsza budowa...

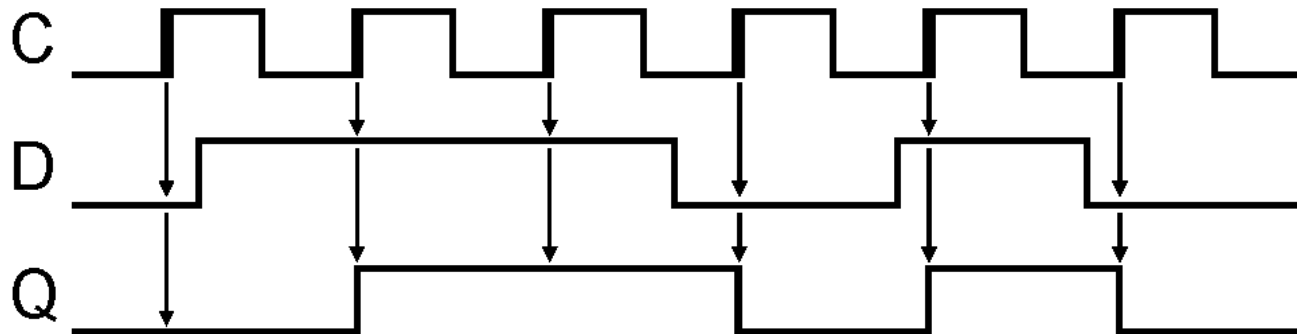


SYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK D

– wyzwalany zboczem sygnału zegara



Przykładowe przebiegi sygnałów

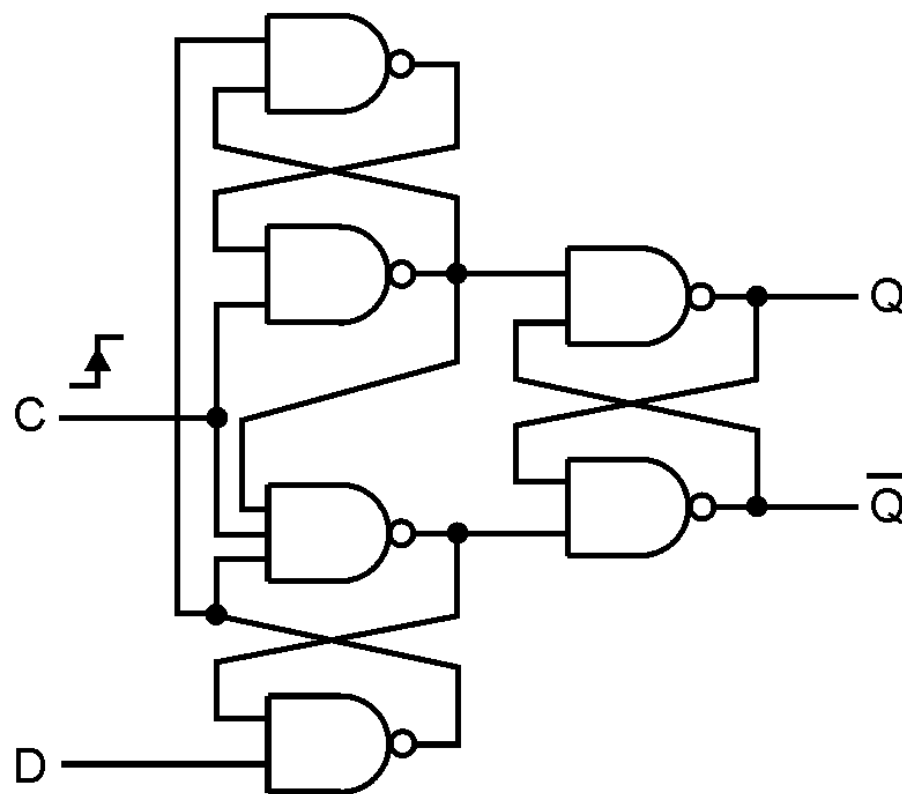


„całkowicie nieprzeźroczysty...”



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

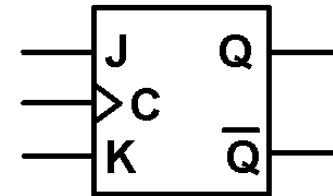
Synchroniczny przerzutnik D – realizacja układowa



SYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK **JK**

J – John

K – Kilby

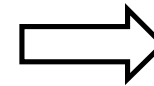


Ulepszona wersja przerzutnika SR – brak stanu zabronionego !

Zasada działania

J (set) → dla J=1 ustaw Q=1

K (reset) → dla K=1 ustaw Q=0



Tablica przejść

| J | K | Q ₊ |
|---|---|----------------|
| 0 | 0 | Q |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | \overline{Q} |

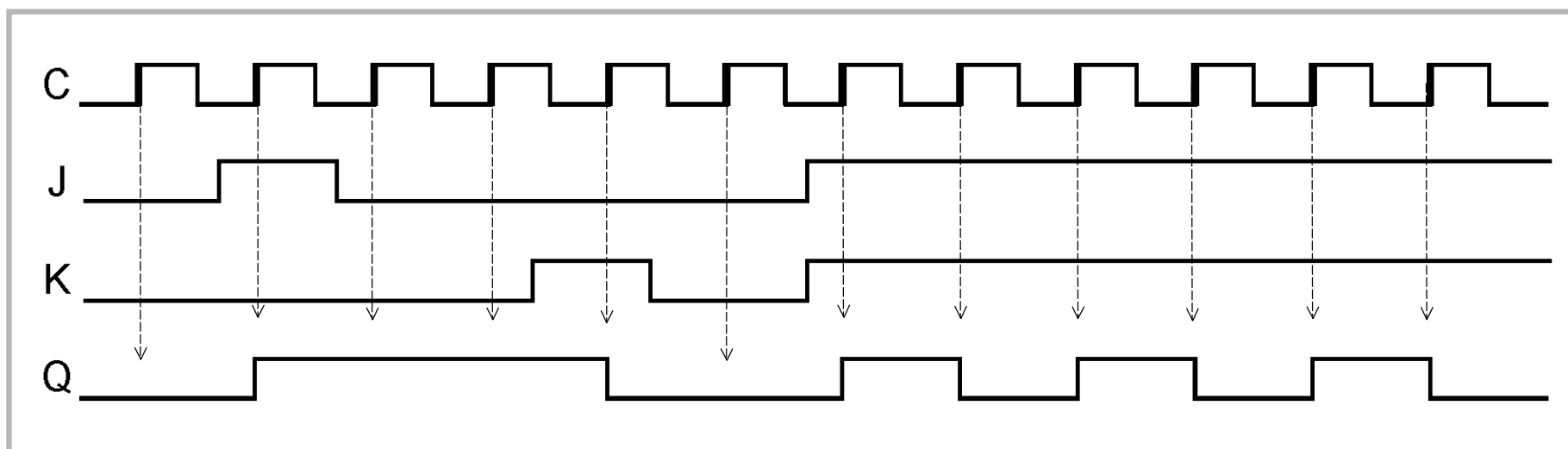
***Dla J = 1 i K = 1
wyjście Q przyjmuje stan przeciwny!***

Synchroniczny przerzutnik JK

– przykładowe przebiegi sygnałów

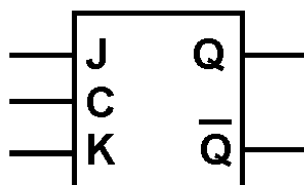
Tablica przejść

| J | K | Q ₊ |
|---|---|----------------|
| 0 | 0 | Q |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | \overline{Q} |

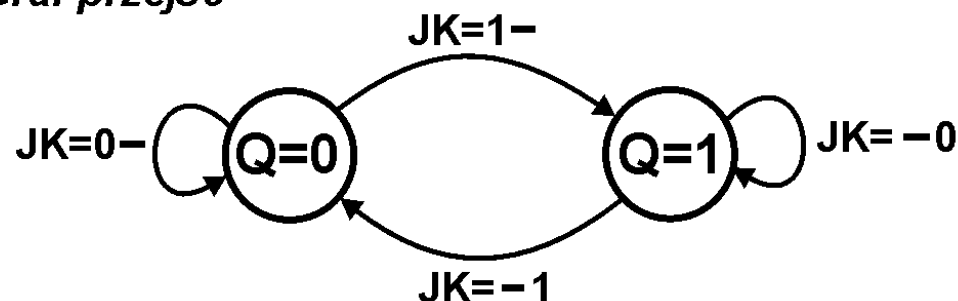


Synchroniczny przerzutnik JK – sposoby opisu działania

Symbol



Graf przejść



Siatka Karnaugh

| JK \ Q | | JK | | | |
|--------|---|----|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| Q | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Q^+

Tablica przejść

| JK | Q^+ |
|-----|----------------|
| 0 0 | Q |
| 0 1 | 0 |
| 1 0 | 1 |
| 1 1 | \overline{Q} |

Tablica wzbudzeń

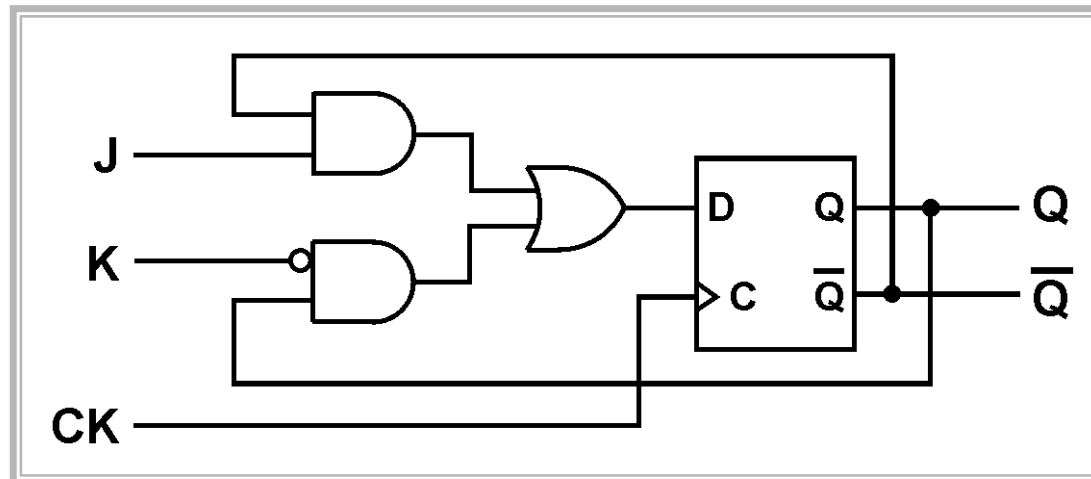
| Q → Q^+ | JK |
|-----------|-----|
| 0 → 0 | 0 - |
| 0 → 1 | 1 - |
| 1 → 0 | - 1 |
| 1 → 1 | - 0 |

Synchroniczny przerzutnik JK – realizacja układowa

| Q \ JK | JK | | | |
|--------|----|----|----|----|
| | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

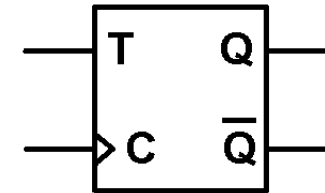
Q^+

$$\Rightarrow Q^+ = J\bar{Q} + \bar{K}Q$$



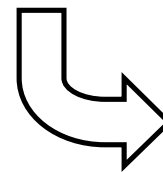
SYNCHRONICZNY PRZERZUTNIK T

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

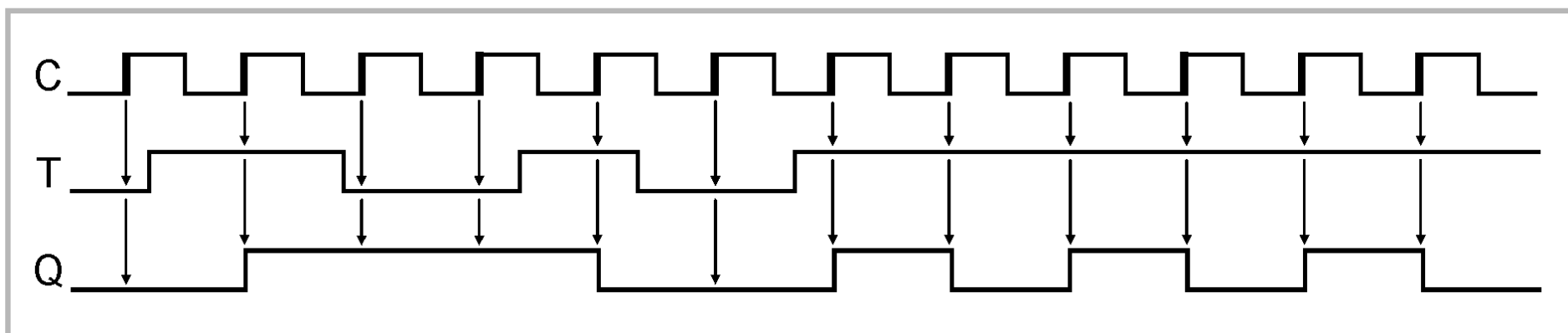
| T | Q_+ |
|-----|----------------|
| 0 | Q |
| 1 | \overline{Q} |

Synchroniczny przerzutnik T

– przykładowe przebiegi sygnałów

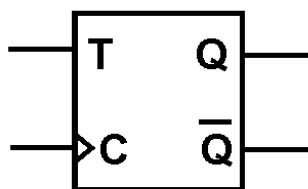
Tablica przejść

| T | Q_+ |
|---|----------------|
| 0 | Q |
| 1 | \overline{Q} |

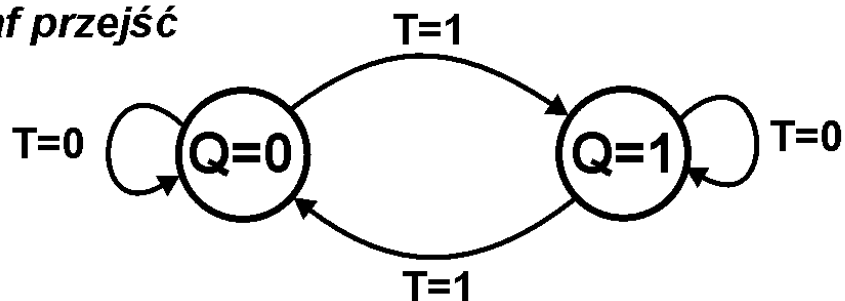


Synchroniczny przerzutnik T – sposoby opisu działania

Symbol



Graf przejść



Siatka Karnaugh

| | | T | |
|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 |
| Q | 0 | 0 | 1 |
| | 1 | 1 | 0 |

Q^+

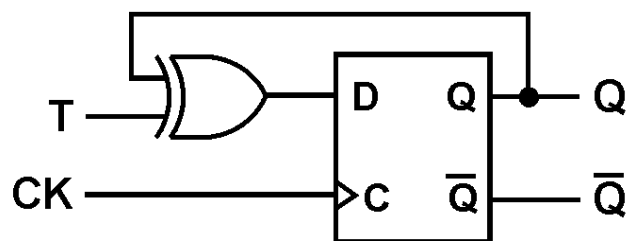
Tablica przejść

| T | Q^+ |
|---|----------------|
| 0 | Q |
| 1 | \overline{Q} |

Tablica wzbudzeń

| $Q \rightarrow Q^+$ | T |
|---------------------|---|
| 0 → 0 | 0 |
| 0 → 1 | 1 |
| 1 → 0 | 1 |
| 1 → 1 | 0 |

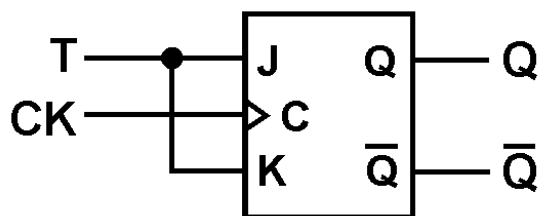
Synchroniczny przerzutnik T – realizacje układowe



| Q \ T | 0 | 1 |
|-------|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Q^+

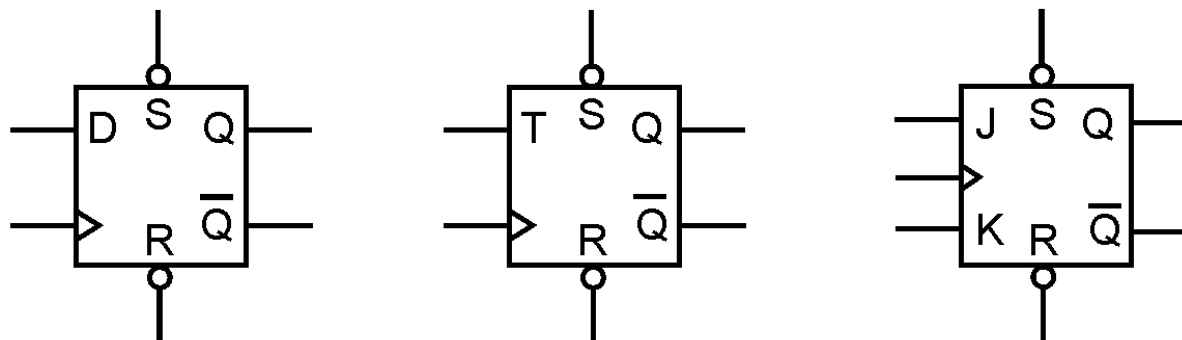
$$Q^+ = T \oplus Q$$



Tablica wzbudzeń

| Q → Q ⁺ | T |
|--------------------|---|
| 0 → 0 | 0 |
| 0 → 1 | 1 |
| 1 → 0 | 1 |
| 1 → 1 | 0 |

Przerzutniki synchroniczne z asynchronicznymi wejściami ustawiającymi i kasującymi



Wejścia zerowania R i ustawienia S zawsze należy podłączyć do sygnału sterującego lub na stałe podać odpowiedni stan logiczny tak, aby nie były aktywne w czasie działania układu sekwencyjnego.

Projektowanie układów sekwencyjnych

ETAPY:

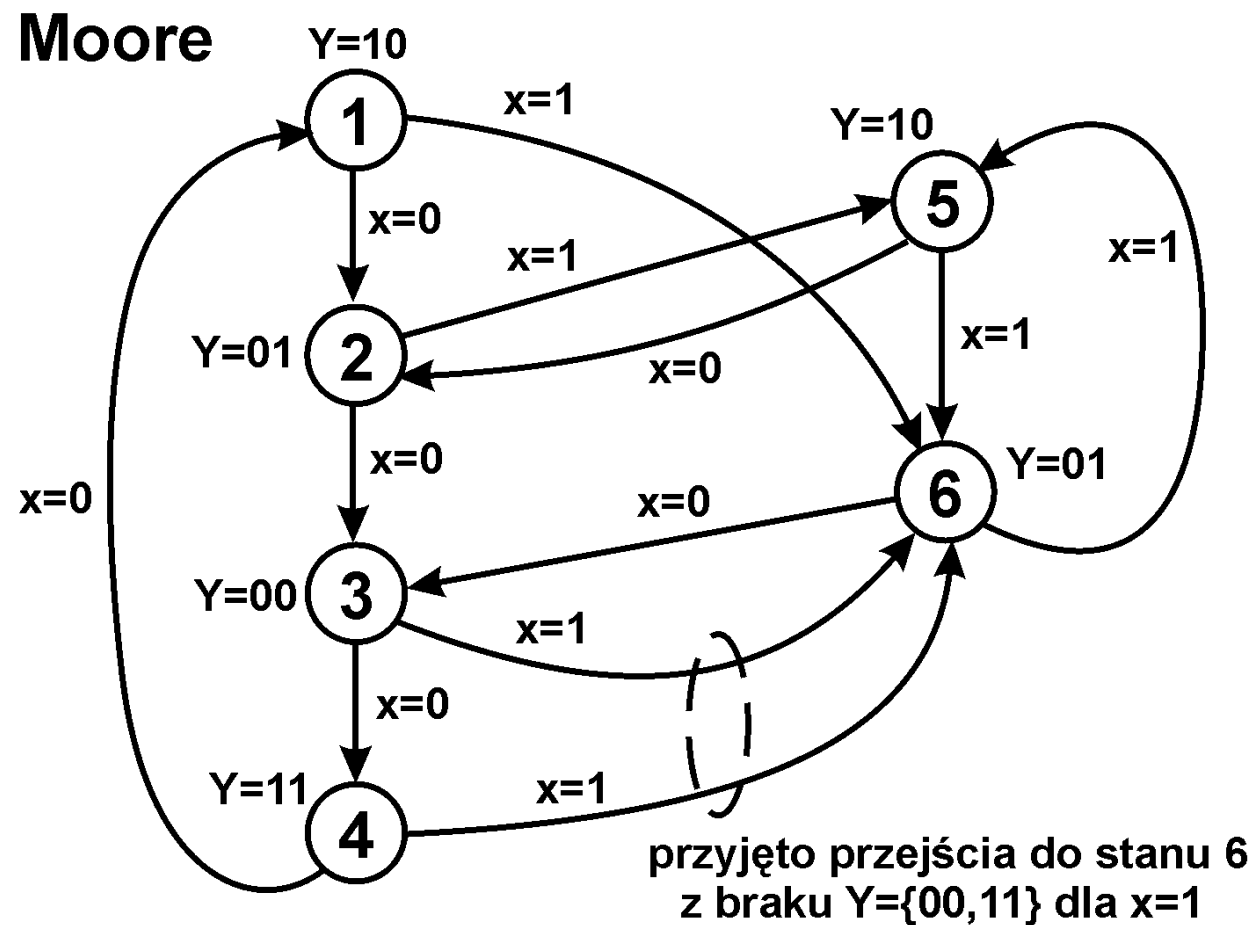
- 1. Opis słowny działania układu**
- 2. Utworzenie grafu automatu**
- 3. Utworzenie pierwotnej tablicy przejść i wyjść**
- 4. Minimalizacja liczby stanów automatu**
- 5. Kodowanie stanów**
- 6. Wybór elementów pamięciowych**
- 7. Utworzenie funkcji wzbudzeń przerzutników**
- 8. Utworzenie funkcji wyjść**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



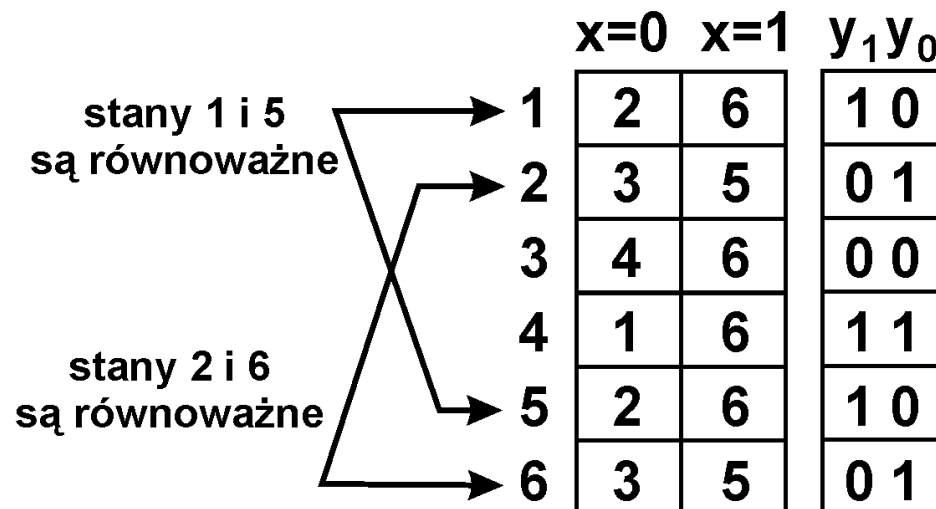
Przykład – *pierwotna tablica przejść i wyjść*

| | x=0 | x=1 | y₁y₀ |
|----------|------------|------------|-----------------------------------|
| 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 |

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.



Zredukowana liczba stanów

| | x=0 | x=1 | $y_1 y_0$ |
|-------|-----|-----|-----------|
| (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

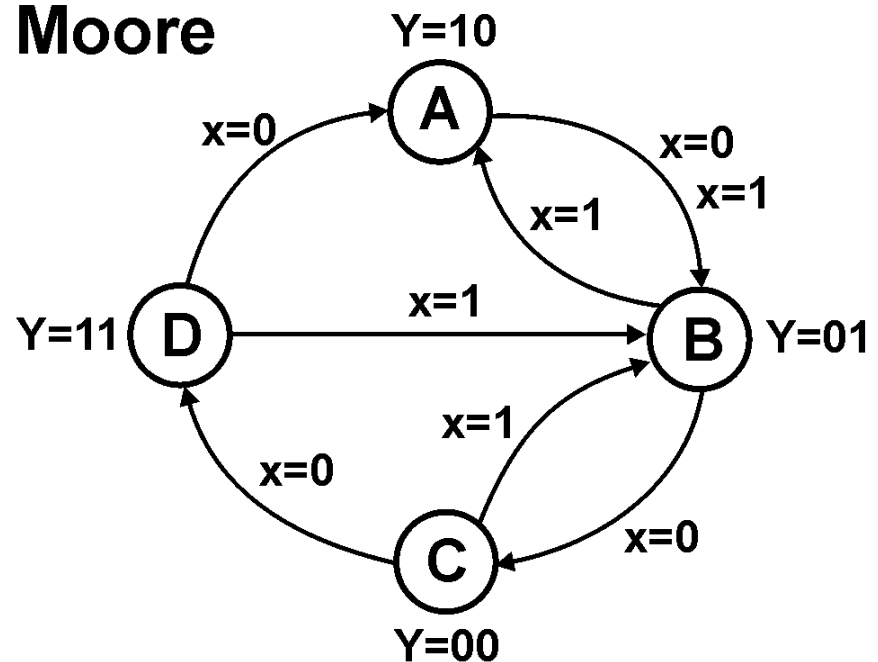
3 → C

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

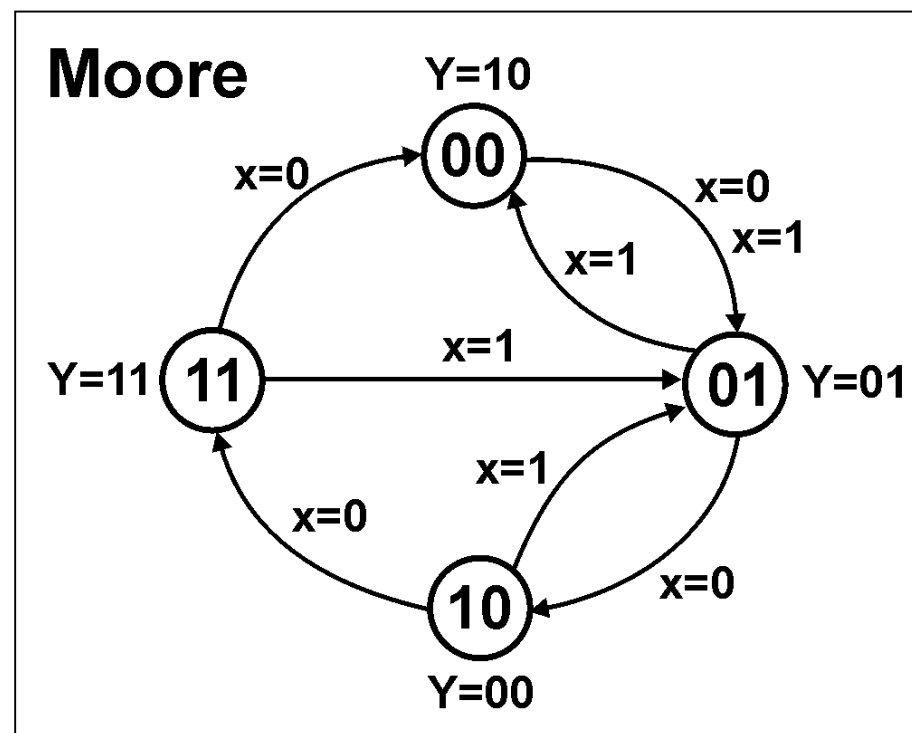
Moore



Minimalna tablica przej. i wyj.

Przykład – kodowanie stanów

Kody stanów: **A** \leq 00
 (Q₁Q₀) **B** \leq 01
 C \leq 10
 D \leq 11



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

Moore

Tablica przejść

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

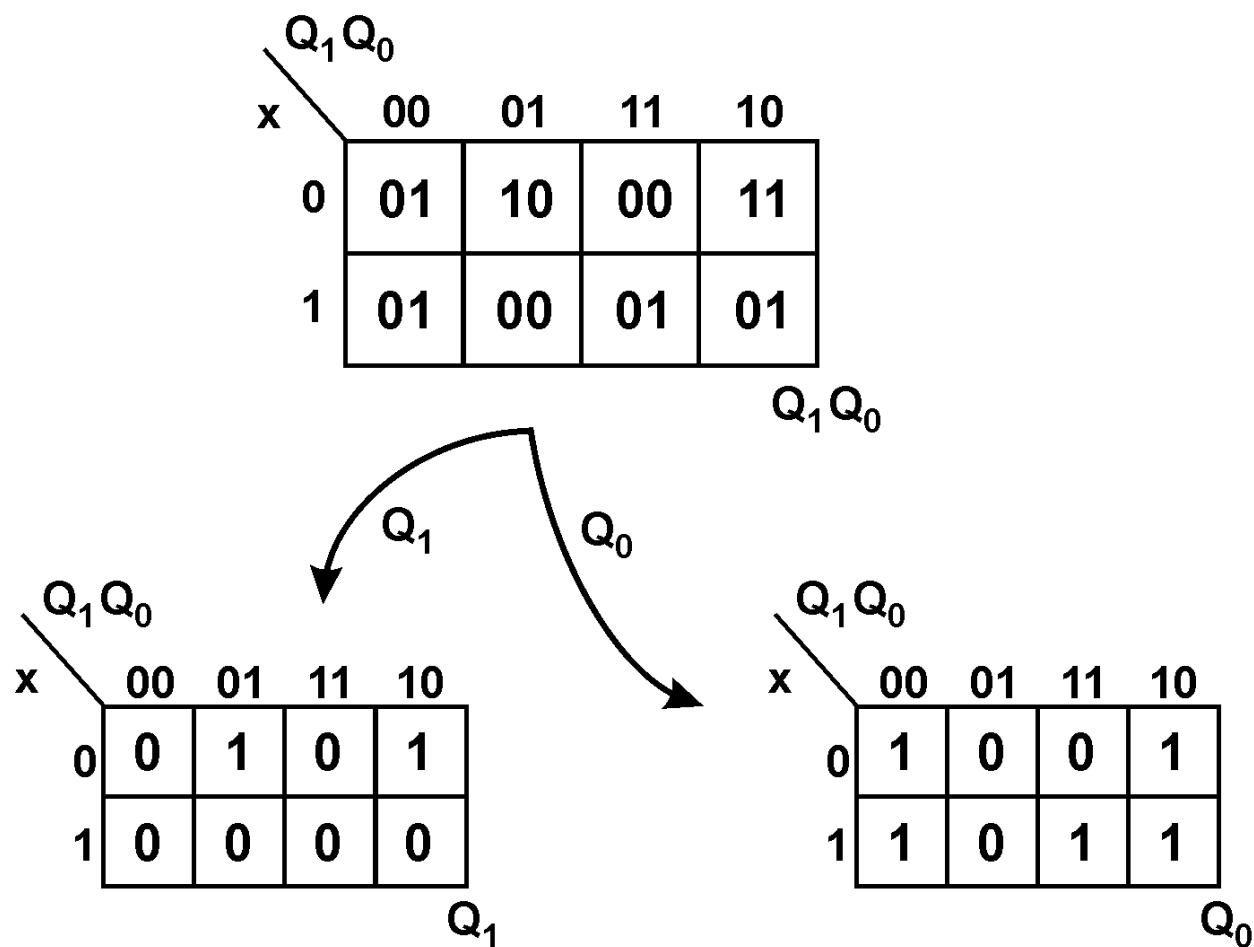
$Q_1 Q_0$

Tablica wyjść

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

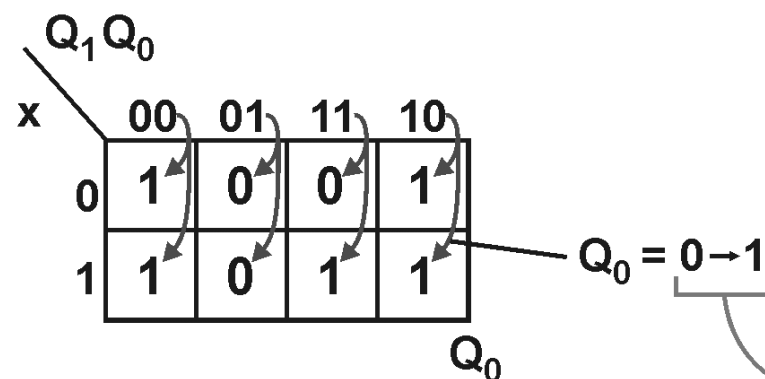
$y_1 y_0$

Przykład – funkcje wzbudzeń



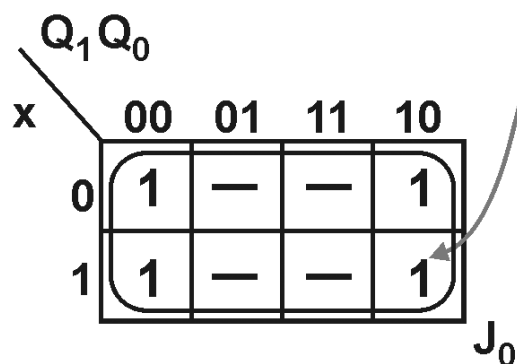
Przykład – funkcje wzbudzeń dla przerzutników JK

Q_0

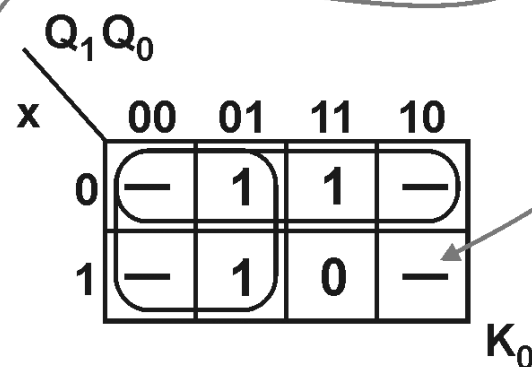


Tablica wzbudzeń

| $Q \rightarrow Q_+$ | J K |
|---------------------|-----|
| 0 → 0 | 0 - |
| 0 → 1 | 1 - |
| 1 → 0 | - 1 |
| 1 → 1 | - 0 |



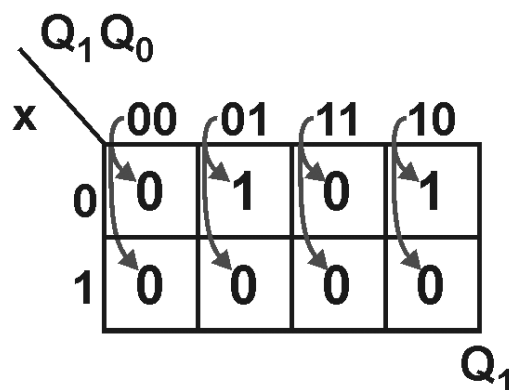
$$J_0 = 1$$



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

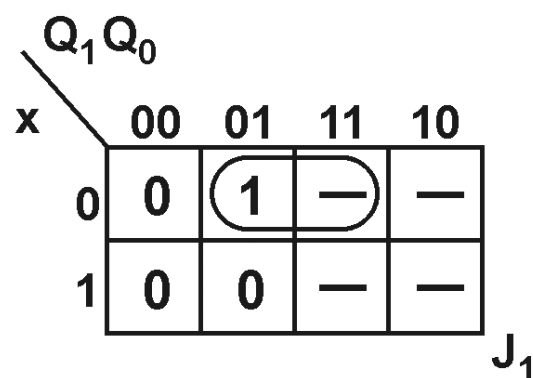
Przykład – funkcje wzbudzeń dla przerzutników JK

Q_1

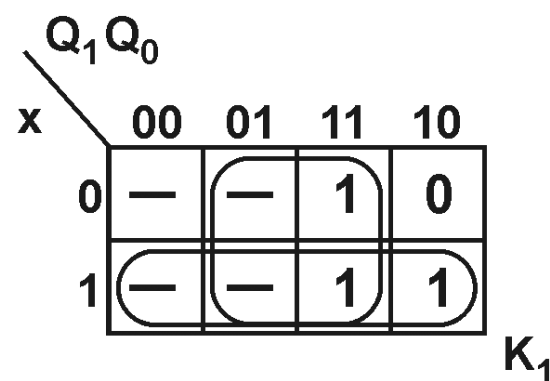


Tablica wzbudzeń

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

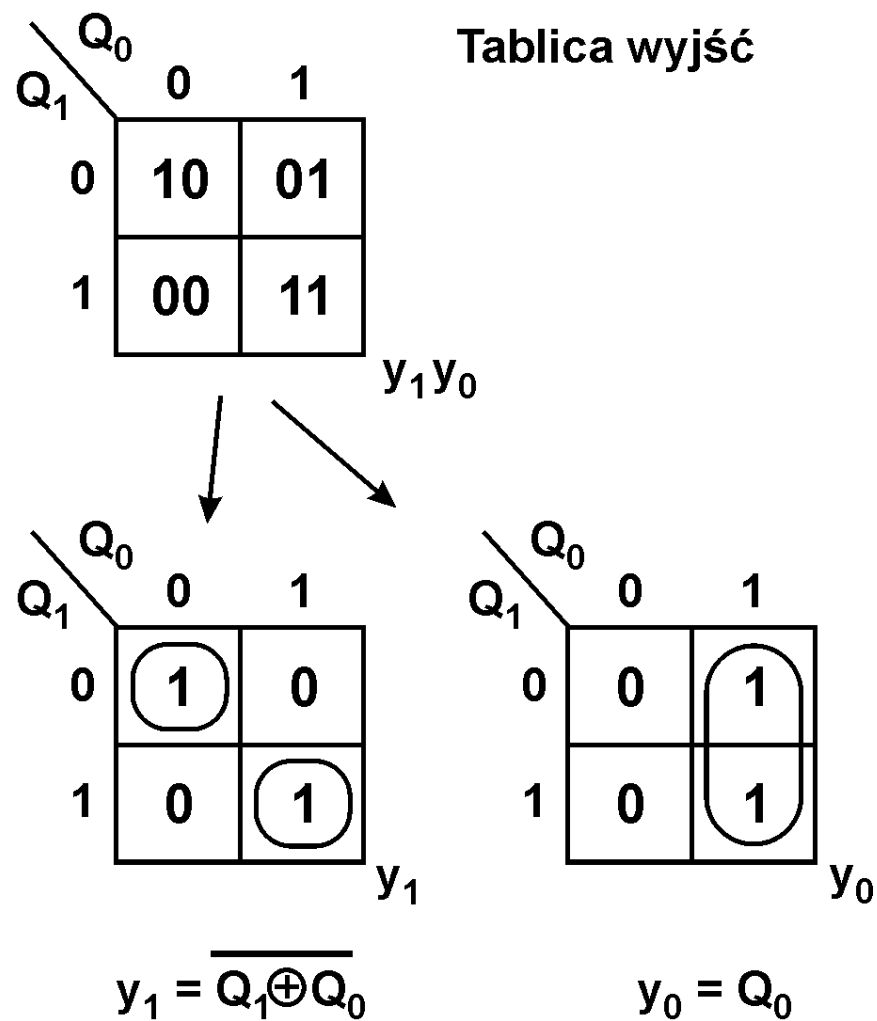


$$J_1 = \overline{x} Q_0$$



$$K_1 = Q_0 + x$$

Przykład – funkcje wyjść y_1 i y_0



Przykład – schemat logiczny automatu

