

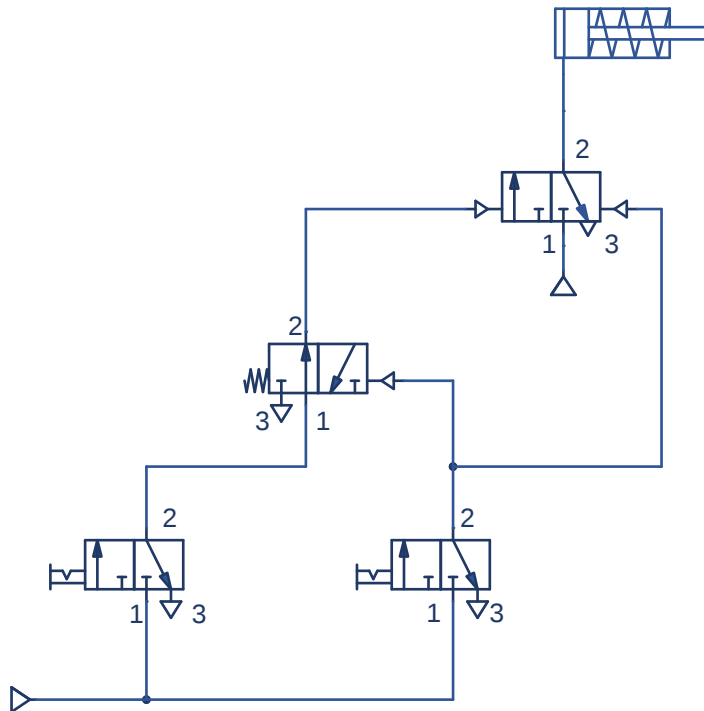
Podstawy automatyki i elektrotechniki

Układy sekwencyjne

Metody opisu

Synteza

Przerzutniki



Materiały

<http://staff.uz.zgora.pl/gpajak>

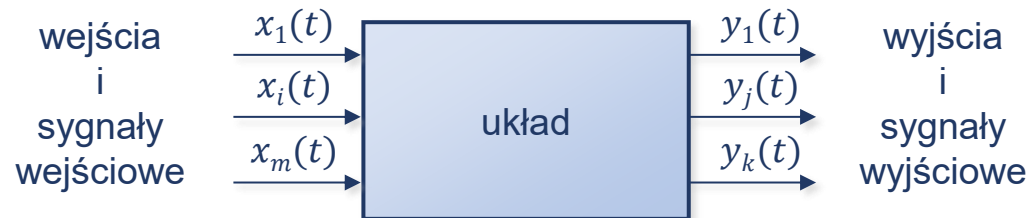
<http://staff.uz.zgora.pl/ipajak>

Pojęcia podstawowe

Sekwencyjne układy cyfrowe

Układ sekwencyjny to układ cyfrowy, w którym zależność między wartościami sygnałów wejściowych (tzw. stan wejść) i wyjściowych (tzw. stan wyjść) nie jest jednoznaczna, tzn.:

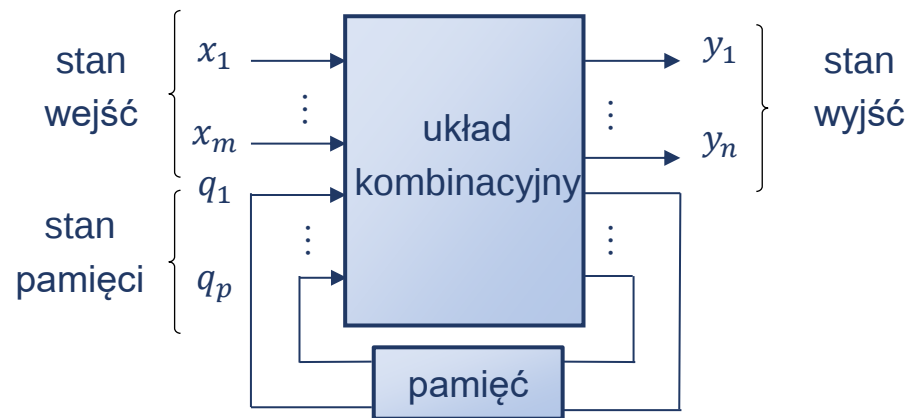
- temu samemu stanowi wejść mogą odpowiadać różne stany wyjść
- stan wyjść układu sekwencyjnego zależy nie tylko od aktualnego stanu wejść ale również od poprzednich stanów wejść tzn. od kolejności (sekwencji) zmian stanów wejść



Sekwencyjne układy cyfrowe

Układy sekwencyjne zapamiętują historię oddziaływań sygnałów wejściowych, dlatego nazywane są **układami z pamięcią**.

Pamięć układu, tzw. **blok pamięci**, tworzy minimalna liczba wielkości niezbędnych do opisanie wszystkich skutków przeszłych oddziaływań. Wielkości te nazywane są **stanem pamięci wewnętrznej** (stanem pamięci lub **stanem wewnętrznym**) układu.



Sekwencyjne układy cyfrowe

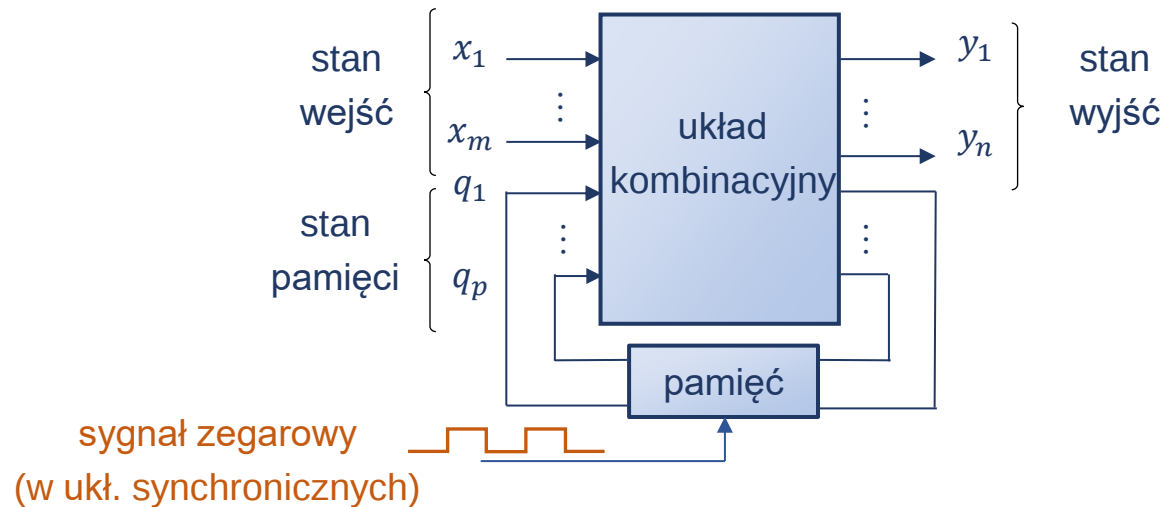
Uwzględniając sposób oddziaływania sygnałów wejściowych na układ (a właściwie na blok pamięci) układy sekwencyjne dzielone są na:

układy asynchroniczne

zmiana stanu pamięci następuje bezpośrednio (w dowolnej chwili czasu) pod wpływem zmiany stanu wejść

układy synchroniczne

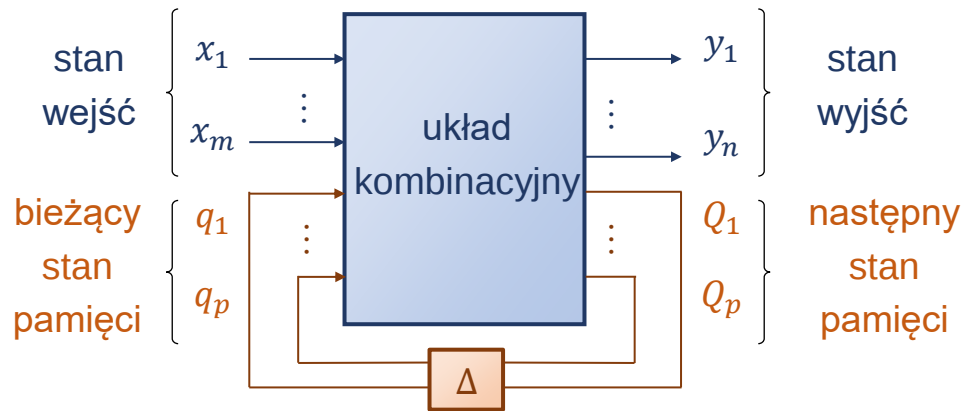
zmiana stanu pamięci następuje tylko w ściśle określonych chwilach czasu wyznaczanych przez dodatkowy sygnał wejściowy układu tzw. sygnał taktujący (zegarowy, synchronizujący)



Asynchroniczne układy sekwencyjne

Model Huffmana

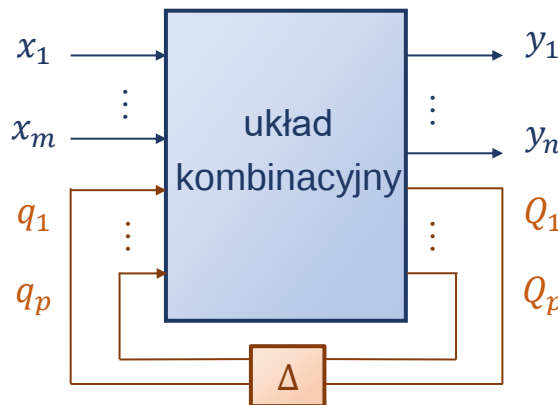
Huffman zaproponował model, w którym układ kombinacyjny został rozbudowany o pętle sprzężeń zwrotnych z dodatkowymi **elementami opóźniającymi** Δ . Takie podejście pozwoliło na realizację pamięci układu sekwencyjnego.



Asynchroniczne układy sekwencyjne

Działanie

- jeśli dla danego stanu wejść sygnały stanu pamięci $q_i = Q_i$ dla każdego $i = 1 \dots p$ to układ jest w **stabilnym stanie wewnętrznym** lub krótko w **stanie stabilnym**
- po zmianie stanu wejściowego układ kombinacyjny wygeneruje nowe wartości sygnałów Q_i a część z nich, ze względu na istnienie opóźnień Δ_i będzie różna od wartości aktualnych, tzn. $q_i \neq Q_i$, oznacza, to że układ znajdzie się w **niestabilnym stanie wewnętrznym** lub krótko w **stanie niestabilnym**
- po upływie czasu Δ_i sygnały stanu wewnętrznego bieżącego i następnego mogą mieć już takie same wartości i w konsekwencji układ będzie w stanie stabilnym, układ może również znaleźć się w kolejnym stanie niestabilnym i przez serię stanów niestabilnych może przejść do stanu stabilnego





Ograniczenia

Podstawowym wymaganiem pozwalającym na poprawne funkcjonowanie układu jest dopuszczenie zmian stanu wejściowego tylko w stanach stabilnych.

Tryb podstawowy

Zakłada się, że po zmianie sygnału wejściowego, kolejny sygnał wejściowy może się zmienić dopiero po przejściu układu w stan stabilny, tzn. nie jest możliwa jednoczesna zmiana kilku sygnałów wejściowych.

Sekwencyjne układy cyfrowe

Opis

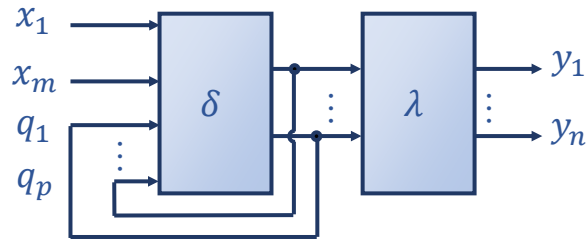
Układy definiowane są formalnie przy pomocy tzw. "piątki":

$$(\mathbb{X}, \mathbb{A}, \mathbb{Y}, \delta, \lambda)$$

- $\mathbb{X}$ to zbiór wszystkich stanów wejściowych (zawiera maksymalnie 2^m stanów, m to liczba sygnałów wejściowych),
- $\mathbb{A}$ to zbiór wszystkich stanów wewnętrznych (zawiera maksymalnie 2^p stanów, p to liczba elementów tworzących pamięć układu,
- $\mathbb{Y}$ to zbiór wszystkich stanów wyjściowych (zawiera maksymalnie 2^n stanów, n to liczba sygnałów wyjściowych),
- δ to **funkcja przejść**, która odpowiada za pamięć układu, $\delta: \mathbb{A} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{A}$,
- λ to **funkcja wyjść**, która określa stan wyjściowy układu, w układach o architekturze Moore'a $\lambda: \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{Y}$, a w architekturze Mealy'ego $\lambda: \mathbb{A} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{Y}$.

Sekwencyjne układy cyfrowe

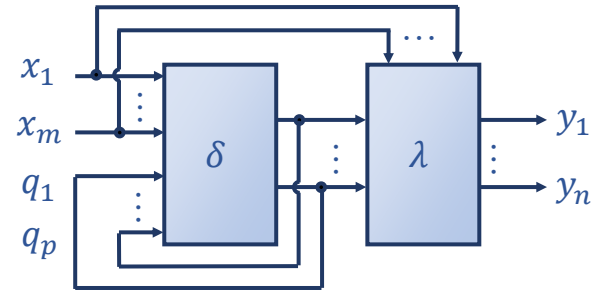
Układ Moore'a



$$\delta: \mathbb{A} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{A}$$

$$\lambda: \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{Y}$$

Układ Mealy'ego



$$\delta: \mathbb{A} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{A}$$

$$\lambda: \mathbb{A} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{Y}$$

Opis układu

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_p \end{bmatrix} = \delta \left(\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_p \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \lambda \left(\begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_p \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_p \end{bmatrix} = \delta \left(\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_p \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \lambda \left(\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_p \end{bmatrix} \right)$$

Metody opisu

Metody opisu układów sekwencyjnych

Metody opisu

- metody zewnętrzne

metody uwzględniają jedynie zależności pomiędzy sygnałami wejściowymi i wyjściowymi, nie uwzględniając informacji o stanach wewnętrznych układu, nie pozwalają na bezpośrednie zdefiniowanie funkcji przejść i wyjść układu

- metody pełne

w odróżnieniu od metod zewnętrznych uwzględniają również stany wewnętrzne układu

metody	
zewnętrzne	pełne
• opis słowny • wykres czasowy • funkcja łączy • tablica kolejności łączy	• graf przejść • tablice przejść i tablice wyjść

Opis słowny

- przedstawia funkcjonowanie układu w sposób opisowy
- z opisu powinny wynikać wszystkie stany wejściowe (a właściwie wszystkie możliwe sekwencje tych stanów)
- z opisu powinny wynikać wszystkie stany wyjściowe (lub ich sekwencje)
- z opisu nie wynika bezpośrednio ilość elementów pamięci niezbędnych do realizacji układu
- opis komplikuje się w miarę wzrostu złożoności układu

Układ 1

Układ umożliwia naprzemienne wysuwanie i wysuwanie tłoka siłownika jednostronnego działania przy pomocy ręcznego zaworu monostabilnego. Jeśli tłok jest wsunięty, otwarcie zaworu powoduje wysunięcie tłoka, jeśli tłok jest wysunięty otwarcie zaworu powoduje wsunięcie tłoka. Zamykanie zaworu nie powoduje zmian stanu siłownika.

Układ 2

Układ umożliwia wysuwanie i wsuwanie tłoka siłownika przy pomocy dwóch ręcznych zaworów bistabilnych.

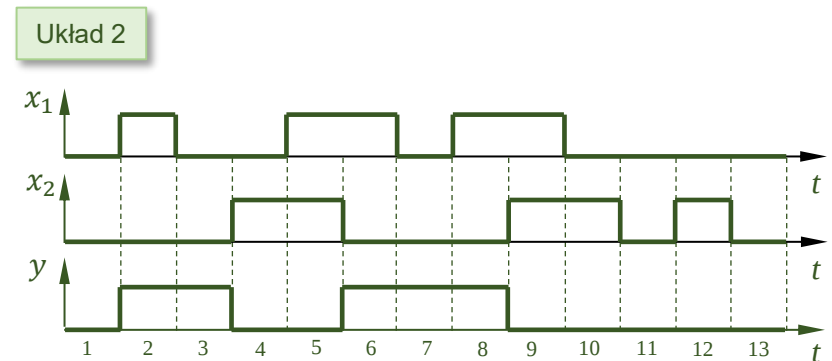
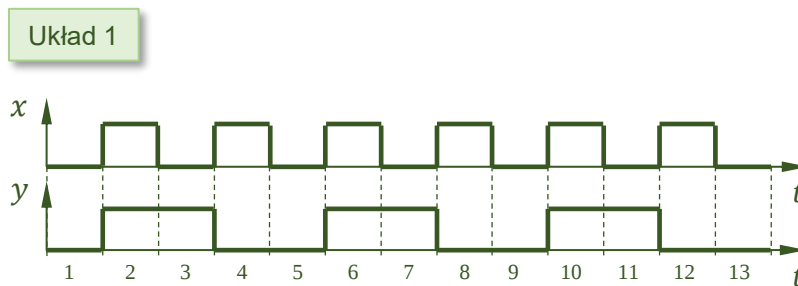
Otwarcie pierwszego zaworu powoduje wysunięcie tłoka. Zamknięcie tego zaworu nie powoduje jednak zmiany stanu siłownika.

Tłok siłownika jest wsuwany tylko przy pomocy drugiego zaworu. Drugi zawór ma wyższy priorytet i w sytuacji gdy obydwa zawory są otwarte tłok siłownika jest wsunięty.

Metody opisu układów sekwencyjnych

Wykres czasowy

- przedstawia przebieg w czasie zmian sygnałów wejściowych i odpowiadających im sygnałów wyjściowych
- opóźnienia wynikające z czasu reakcji elementów układu nie są uwzględniane
- oś czasu na ogół nie odzwierciedla czasu trwania poszczególnych faz i skalowana jest taktami (takt odpowiada czasowi pomiędzy kolejnymi zmianami sygnałów wejściowych)
- do jednoznacznego opisu działania układu niezbędne jest zaznaczenie na wykresie wszystkich możliwych sekwencji stanów wejść i wyjść

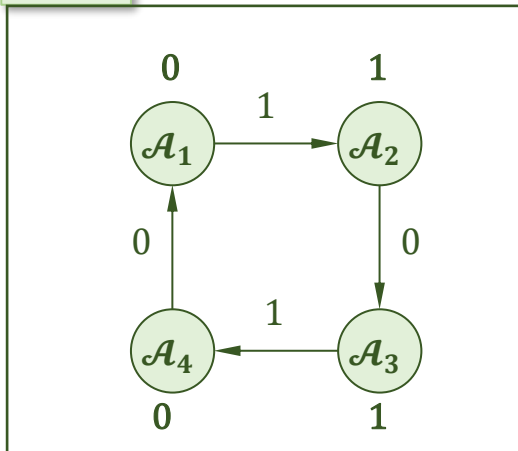


Metody opisu układów sekwencyjnych

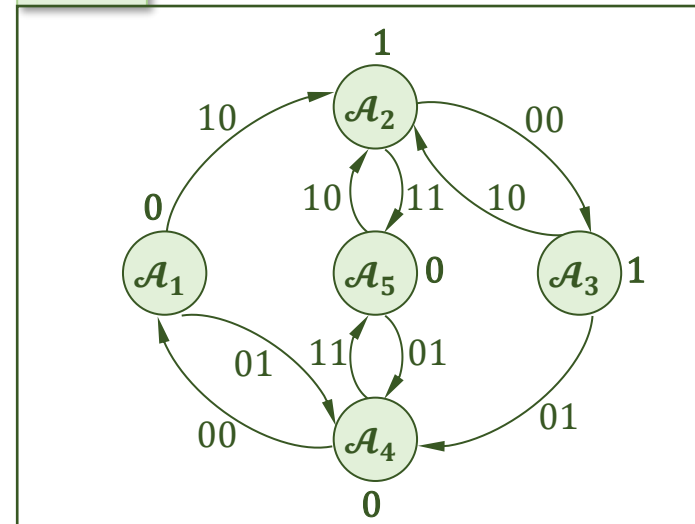
Graf przejść

- graf, którego wierzchołki odpowiadają stanom wewnętrznym układu a krawędzie oznaczają przejścia pomiędzy stanami wymuszane określonymi stanami wejściowymi
- w układach Moore'a stan wyjść zależy wyłącznie od stanu wewnętrznego więc jest przyporządkowywany odpowiedniemu wierzchołkowi grafu
- w układach Mealy'ego stan wyjść zależy od stanu wewnętrznego i od stanu wejść jest więc przyporządkowany podobnie jak stan wejść odpowiedniej krawędzi grafu

Układ 1



Układ 2

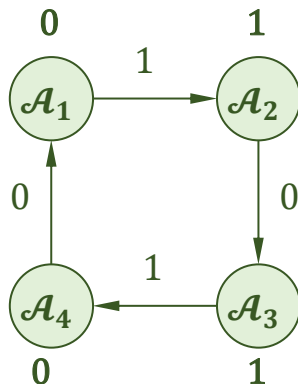


Metody opisu układów sekwencyjnych

Tablice przejść, tablice wyjść, tablice przejść–wyjść

- w formie tabelarycznej przedstawiają informacje zawarte w grafie przejść
- **tablica przejść** odpowiada funkcji przejść δ układu, wiersze opisywane są stanami wewnętrznymi, kolumny stanami wejściowymi, kratki tablicy zawierają stany wewnętrzne, do których przechodzi układ który był poprzednio w stanie określonym przez wiersz tablicy pod wpływem stanu wejściowego określonego przez kolumnę
- **tablica wyjść** odpowiada funkcji wyjść λ układu; w układach Moore'a: wiersze opisywane stanami wewnętrznymi, kolumny sygnałami wyjściowymi, kratki tablicy zawierają stany wyjściowe odpowiadające stanom wewnętrznym, tablica wyjść łączona jest z tablicą przejść w tablicę przejść – wyjść

Układ 1



x	0	1
$\mathcal{A}$		
$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_2$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_4$
$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$

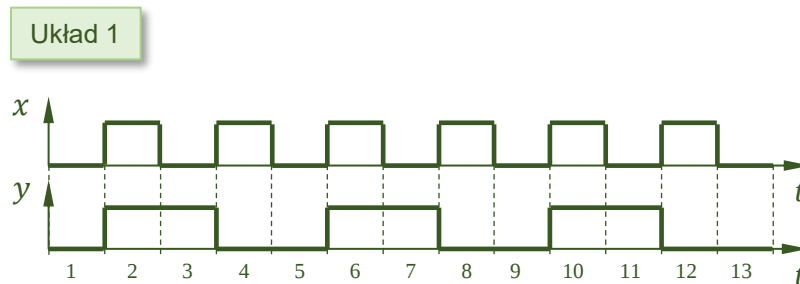
$\mathcal{A}$	y
$\mathcal{A}_1$	0
$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_3$	1
$\mathcal{A}_4$	0

x	0	1	y
$\mathcal{A}$			
$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_2$	0
$\mathcal{A}_2$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_4$	1
$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$	0

Metody opisu układów sekwencyjnych

Funkcja łącheń, tablica kolejności łącheń

- mogą być stosowane, gdy zmiany sygnałów wejściowych i wyjściowych układu następują według ściśle określonego programu
- **funkcja łącheń** to zapis sekwencji sygnałów wejściowych i wyjściowych w kolejności ich pojawiania się i zanikania, **znak +** oznacza pojawienie się określonego sygnału a **znak –** zanik sygnału
- **tablica kolejności łącheń (TKŁ)** odpowiada **funkcji łącheń**, wiersze tablicy przyporządkowane są wejściom i wyjściom układu a kolumny tablicy taktom pracy, **każdy takt pracy musi odpowiadać zmianie stanu jednego sygnału**; tablica jest uzupełniana wierszem **NSU** opisującym tzw. **numeryczny stan układu** (nazywany też **stopniem łączenia**)



$$F = x+, y+, x-, x+, y-$$

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	−	+		−	+		−
y	2 ¹	−		+			−	−
NSU		0	1	3	2	3	1	0

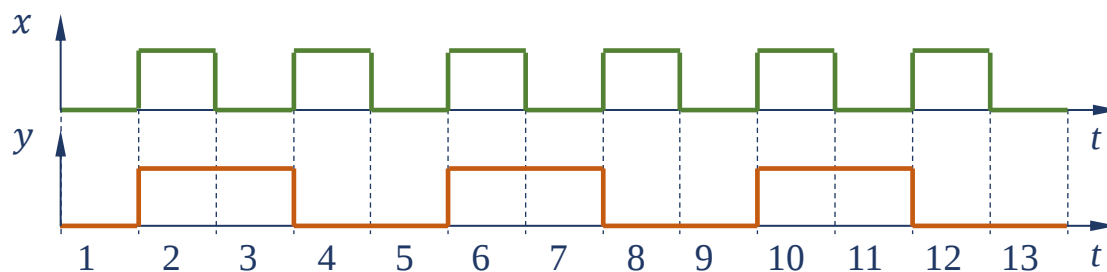
cykl pracy układu

Układ 1

Opis słowny

Układ umożliwia naprzemienne wysuwanie i wsuwanie tłoka siłownika jednostronnego działania przy pomocy ręcznego zaworu monostabilnego. Jeśli tłok jest wsunięty, otwarcie zaworu powoduje wysunięcie tłoka, jeśli tłok jest wysunięty otwarcie zaworu powoduje wsunięcie tłoka. Zamykanie zaworu nie powoduje zmian stanu siłownika.

Wykres czasowy



x — **zawór**
 y — **siłownik**

układ jest sekwencyjny:

- w taktach nieparzystych $x = 0$ a $y = 0$ lub $y = 1$
- w taktach parzystych $x = 1$ a $y = 0$ lub $y = 1$

Układ 1

Opis słowny

... Jeśli tłok jest wsunięty, otwarcie zaworu powoduje wysunięcie tłoka, jeśli tłok jest wysunięty otwarcie zaworu powoduje wsunięcie tłoka. Zamykanie zaworu nie powoduje zmian stanu siłownika.

Funkcja łączy

$$F = x+, y+, x-, x+, y-$$

x — **zawór**

y — **siłownik**

Tablica kolejności łączy

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	—	+		—	+		—
y	2 ¹	—		+			—	—

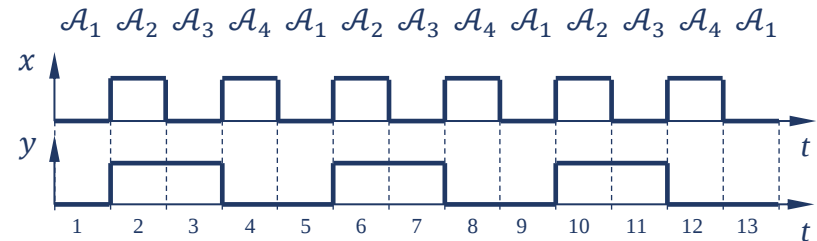
cykl pracy układu

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	—	+		—	+		—
y	2 ¹	—		+			—	—
NSU		0	1	3	2	3	1	0

kod NSU to kod binarny taktu uwzględniający wagi sygnałów (w tabeli sygnał x ma wagę $2^0 = 1$, a y wagę $2^1 = 2$), dla ułatwienia wyznaczania kodu, kolorami i wypełnione zostały miejsca, w których sygnały mają wartości **+** (1) i **—** (0)

Układ 1

Graf przejść



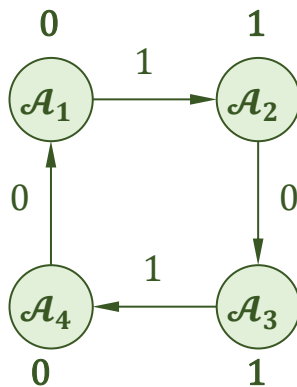
Z analizy wykresu czasowego wynika, że układ może znajdować się w 4 stanach:

$\mathcal{A}_1$ – zawór zamknięty i tłok wsunięty ($x = 0$ i $y = 0$)

$\mathcal{A}_2$ – zawór otwarty i tłok wysunięty ($x = 1$ i $y = 1$)

$\mathcal{A}_3$ – zawór zamknięty i tłok wysunięty ($x = 0$ i $y = 1$)

$\mathcal{A}_4$ – zawór otwarty i tłok wsunięty ($x = 1$ i $y = 0$)



- wierzchołki odpowiadają stanom wewnętrznym układu
- krawędzie odpowiadają sygnałom wejściowym, które wymuszają zmiany stanów
- w układach Moore'a sygnały wyjściowe są przyporządkowywane wierzchołkom grafu

Układ 1

Tablica przejść, tablica wyjść, tablica przejść–wyjść

$\mathcal{A} \backslash x$	0	1
$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_2$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_4$
$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$

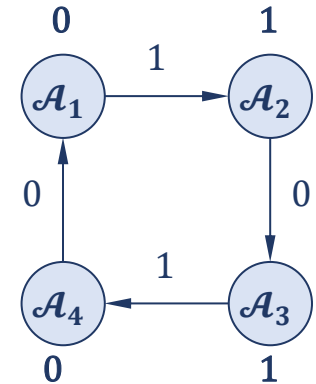
tablica przejść

$\mathcal{A}$	y
$\mathcal{A}_1$	0
$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_3$	1
$\mathcal{A}_4$	0

tablica wyjść

$\mathcal{A} \backslash x$	0	1	y
$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_2$	0
$\mathcal{A}_2$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_4$	1
$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$	0

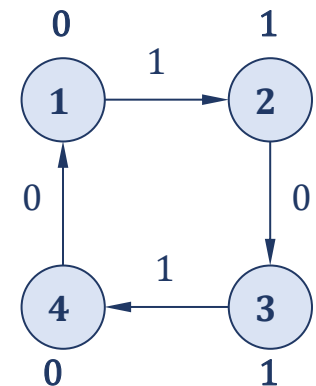
tablica przejść – wyjść



$\mathcal{A} \backslash x$	0	1
1	①	2
2	3	②
3	③	4
4	1	④

$\mathcal{A}$	y
1	0
2	1
3	1
4	0

$\mathcal{A} \backslash x$	0	1	y
1	①	2	0
2	3	②	1
3	③	4	1
4	1	④	0



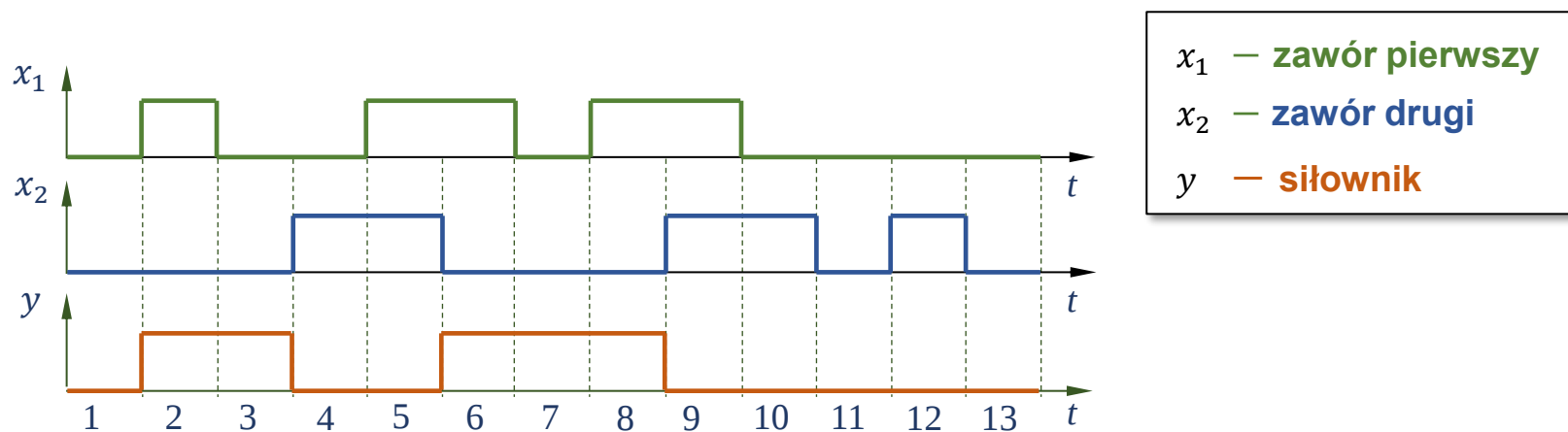
w dolnym rzędzie stany zostały opisane numerami porządkowymi a stany stabilne otoczone kółkiem

Układ 2

Opis słowny

Układ umożliwia wysuwanie i wsuwanie tłoka siłownika przy pomocy dwóch ręcznych zaworów bistabilnych. Otwarcie pierwszego zaworu powoduje wysunięcie tłoka. Zamknięcie tego zaworu nie powoduje zmiany stanu siłownika. Tłok siłownika jest wsuwany tylko przy pomocy drugiego zaworu. Drugi zawór ma wyższy priorytet i w sytuacji gdy obydwa zawory są otwarte tłok siłownika jest wsunięty.

Wykres czasowy



układ jest sekwencyjny: w taktach 1, 3, 7, 11, 13 $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ a $y = 0$ lub $y = 1$

Układ 2

Graf przejść

Z analizy wykresu czasowego wynika, że układ może znajdować się w 5 stanach:

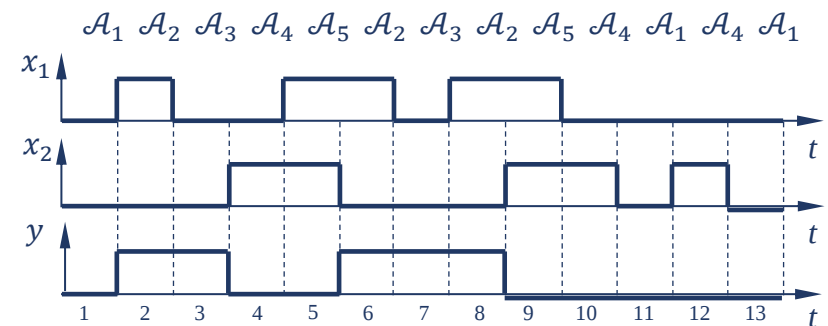
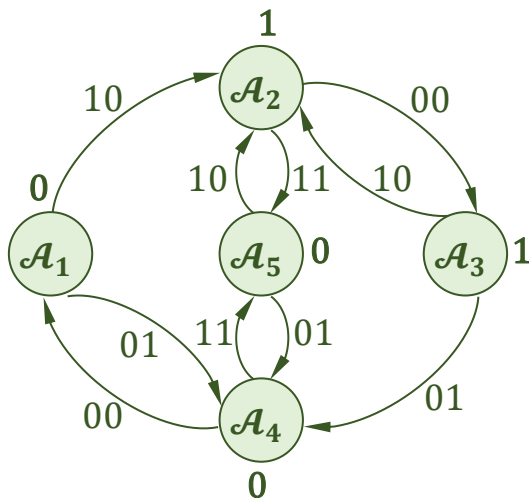
$\mathcal{A}_1$ – obydwa zawory zamknięte, tłok wsunięty ($x_1 = 0, x_2 = 0, y = 0$)

$\mathcal{A}_2$ – otwarty tylko zawór pierwszy, tłok wysunięty ($x_1 = 1, x_2 = 0, y = 1$)

$\mathcal{A}_3$ – obydwa zawory zamknięte, tłok wysunięty ($x_1 = 0, x_2 = 0, y = 1$)

$\mathcal{A}_4$ – otwarty tylko zawór drugi, tłok wsunięty ($x_1 = 0, x_2 = 1, y = 0$)

$\mathcal{A}_5$ – obydwa zawory otwarte, tłok wsunięty ($x_1 = 1, x_2 = 1, y = 0$)



Układ 2

Tablica przejść–wyjść

$\begin{array}{c} x_1x_2 \\ \mathcal{A} \end{array}$	00	01	11	10
$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$	–	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_2$	$\mathcal{A}_3$	–	$\mathcal{A}_5$	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_4$	–	$\mathcal{A}_2$
$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_5$	–
$\mathcal{A}_5$	–	$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_5$	$\mathcal{A}_2$

$\mathcal{A}$	y
$\mathcal{A}_1$	0
$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_3$	1
$\mathcal{A}_4$	0
$\mathcal{A}_5$	0

$\begin{array}{c} x_1x_2 \\ \mathcal{A} \end{array}$	00	01	11	10	y
$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$	–	$\mathcal{A}_2$	0
$\mathcal{A}_2$	$\mathcal{A}_3$	–	$\mathcal{A}_5$	$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_3$	$\mathcal{A}_4$	–	$\mathcal{A}_2$	1
$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_5$	–	0
$\mathcal{A}_5$	–	$\mathcal{A}_4$	$\mathcal{A}_5$	$\mathcal{A}_2$	0

tablica przejść

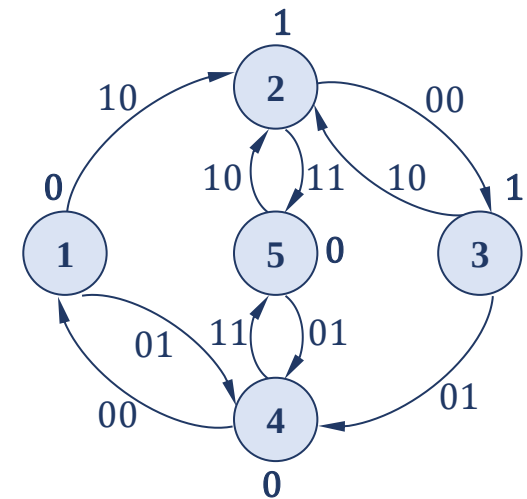
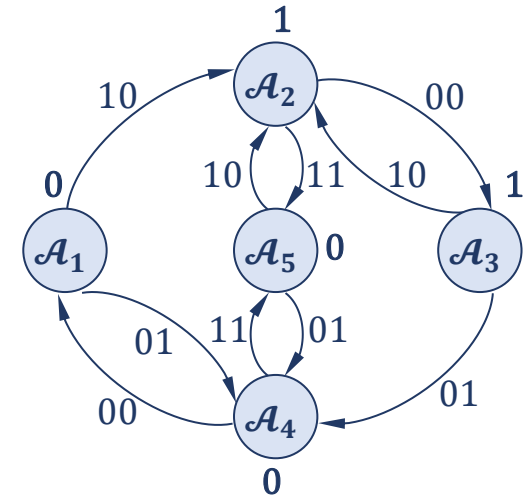
tablica wyjść

tablica przejść – wyjść

$\begin{array}{c} x_1x_2 \\ \mathcal{A} \end{array}$	00	01	11	10
1	①	4	–	2
2	3	–	5	②
3	③	4	–	2
4	1	④	5	–
5	–	4	⑤	2

$\mathcal{A}$	y
1	0
2	1
3	1
4	0
5	0

$\begin{array}{c} x_1x_2 \\ \mathcal{A} \end{array}$	00	01	11	10	y
1	①	4	–	2	0
2	3	–	5	②	1
3	③	4	–	2	1
4	1	④	5	–	0
5	–	4	⑤	2	0



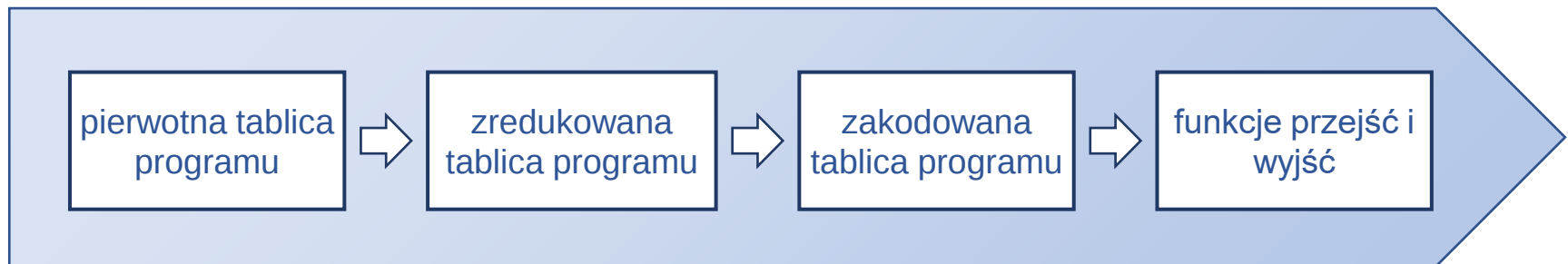
Synteza układów sekwencyjnych

Synteza układów sekwencyjnych

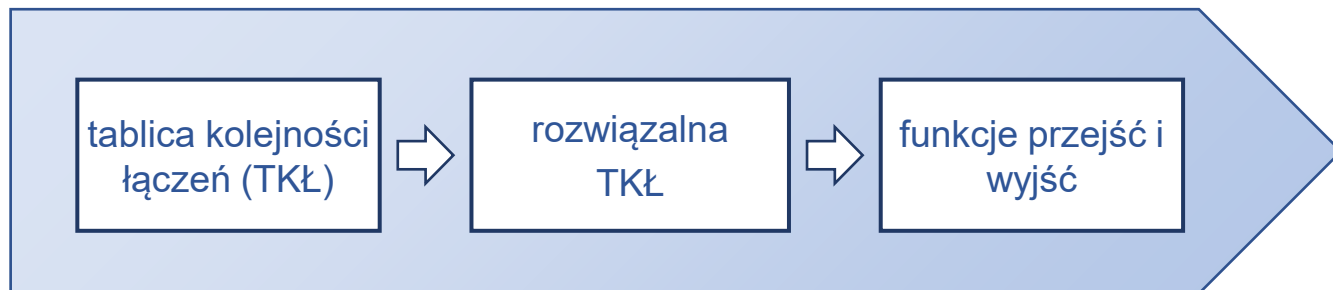
Synteza to proces odwrotny do analizy, prowadzi od założeń definiujących sposób działania układu do jego projektu.



Metoda Huffmana



Metoda Siwińskiego



Konstrukcja pierwotnej tablicy programu

Pierwotna tablica programu to tablica przejść–wyjść układu, która w każdym wierszu ma jeden stabilny stan wewnętrzny (por. tablice Układu 1 i 2).

Ustalenie wymiarów tablicy

- **liczba kolumn**

wynika z liczby stanów wejściowych i wyjściowych opisanych w sformułowaniu zadania

- **liczba wierszy**

wynika z liczby elementów pamięci, liczba ta może być ustalana np. na podstawie unikalnych kombinacji stanów wejściowych i wyjściowych i uzupełniana w przypadku problemów z tworzeniem tablicy

Redukcja stanów wewnętrznych

Łączenie wierszy **pierwotnej tablicy programu** pozwala na zmniejszenie liczby elementów pamięci niezbędnych do realizacji programu, w rezultacie powstaje tzw. **zredukowana tablica programu**.

Łączeniu podlegają wiersze:

- zawierające w opowiadających sobie kolumnach **stany niesprzeczne**,
stany są niesprzeczne jeżeli jeden z nich jest opisany liczbą a drugi kreską,
- zawierające **równoważne stany stabilne**,
stany stabilne są równoważne jeżeli znajdują się w tej samej kolumnie (są reakcją na te same stany wejściowe), mają jednakowe lub niesprzeczne stany wyjściowe oraz wszystkie możliwe przejścia z tych stanów prowadzą do takich samych stanów lub stanów równoważnych.

1	2	-	3	0
---	---	---	---	---

1	-	-	③	0
---	---	---	---	---

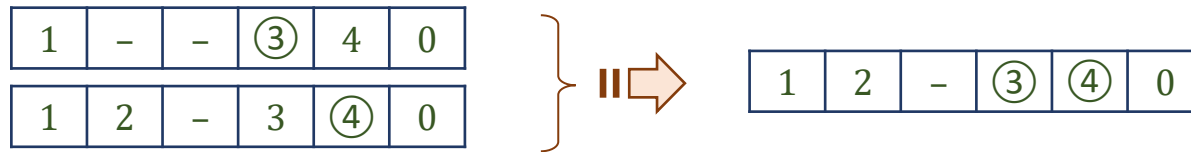
←
← stany niesprzeczne

Synteza metodą Huffmana

Redukcja stanów wewnętrznych

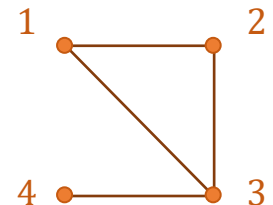
W wynikowym, połączonym wierszu wpisuje się:

- **liczbę**, którą zawierają obydwie łączone komórki lub liczbę z jednej z komórek w przypadku gdy druga zawiera kreskę,
- **kreskę**, jeżeli obydwie łączone komórki zawierają kreskę,
- **kółko**, jeżeli obydwie łączone komórki zawierają tą samą liczbę i dodatkowo w jednej z nich liczba ta oznacza stabilny stan wewnętrzny.



Wykres redukcyjny to graf, który ułatwia tworzenie zredukowanej tablicy programu, tworzą go:

- wierzchołki odpowiadające numerom wierszy tablicy (stanom wewnętrznym układu),
- krawędzie odpowiadające wierszom, które mogą zostać połączone.



Synteza metodą Huffmana

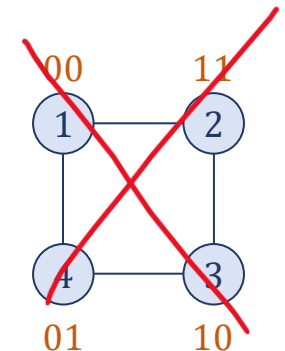
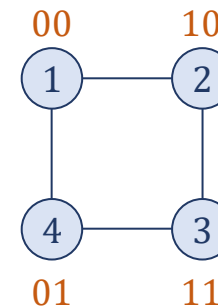
Kodowanie stanów wewnętrznych

- wierszom zredukowanej tablicy programu należy przypisać kody w postaci ciągów zerojedynekowych,
- jeżeli liczba wierszy zredukowanej tablicy programu mieści się w zakresie $[2^{p-1}, 2^p]$ to do kodowania należy wykorzystać ciągi o długości p (lub dłuższe),
- kody należy przypisać w taki sposób aby niezbędne przejścia pomiędzy wierszami tablicy można było zrealizować przy zmianie stanu tylko jednego elementu pamięci.

Wykres przejść to graf, który ułatwia proces kodowania, tworzą go:

- wierzchołki odpowiadające numerom wierszy tablicy zredukowanej,
- krawędzie odpowiadające przejściom pomiędzy wierszami (w wierszach występuje ten sam numer stanu wewnętrznego: raz w postaci stanu stabilnego drugi raz w postaci stanu niestabilnego).

Wierzchołkom przypisywane są ciągi zerojedynekowe tak aby wierzchołki połączone były opisane ciągami różniącymi się tylko na jednej pozycji.



Synteza metodą Huffmana – Układ 2

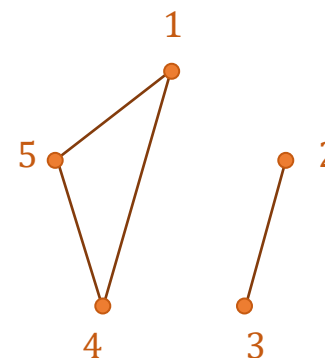
Pierwotna tablica programu

$\begin{matrix} x_1 x_2 \\ \mathcal{A} \end{matrix}$	00	01	11	10	y
1	①	4	–	2	0
2	3	–	5	②	1
3	③	4	–	2	1
4	1	④	5	–	0
5	–	4	⑤	2	0

- 1 – obydwa zawory zamknięte, tłok wsunięty
- 2 – otwarty tylko zawór pierwszy, tłok wysunięty
- 3 – obydwa zawory zamknięte, tłok wysunięty
- 4 – otwarty tylko zawór drugi, tłok wsunięty
- 5 – obydwa zawory otwarte, tłok wsunięty

Zredukowana tablica programu

$\begin{matrix} x_1 x_2 \\ \mathcal{A} \end{matrix}$	00	01	11	10	y
1,4,5	①	④	⑤	2	0
2,3	③	4	5	②	1

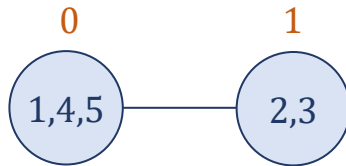


Wykres redukcyjny

Synteza metodą Huffmana – Układ 2

Zakodowana tablica programu

x_1x_2 $\mathcal{A}$	00	01	11	10	y
1,4,5	①	④	⑤	2	0
2,3	③	4	5	②	1



Wykres przejść

x_1x_2 q	00	01	11	10	y
0	①	①	①	1	0
1	①	0	0	①	1

Funkcje przejść i wyjść

x_1x_2 q	00	01	11	10	y
0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	1	1

Q

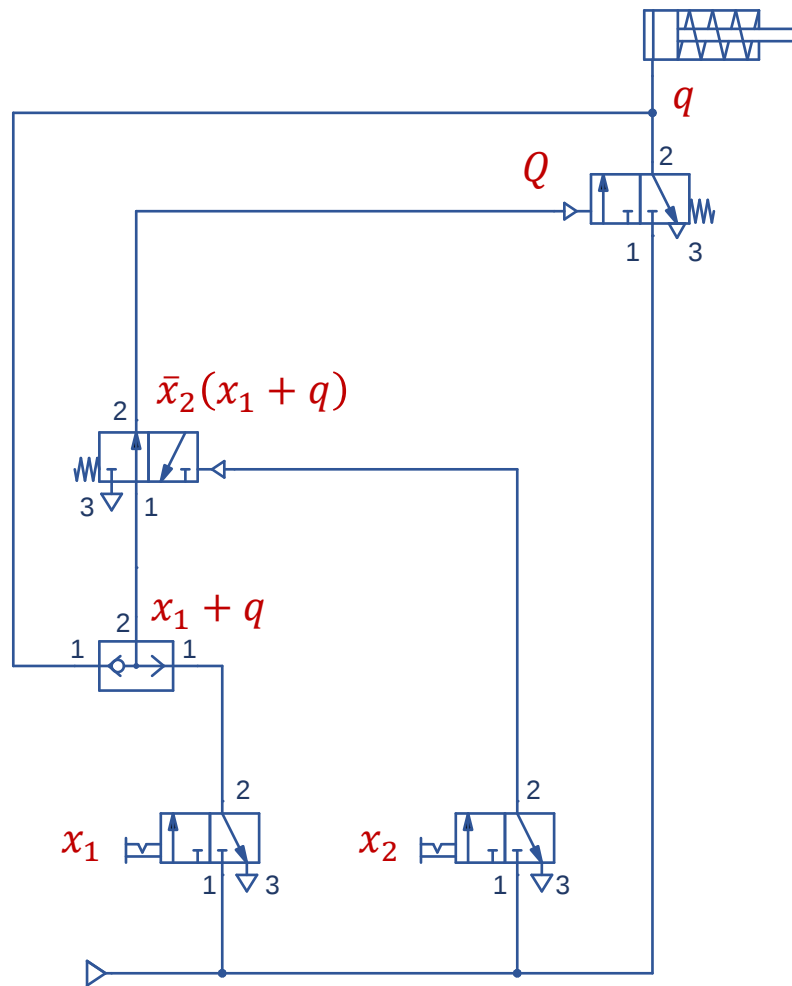
funkcja przejść

$$Q = \bar{x}_2(x_1 + q)$$

funkcja wyjść

$$y = q$$

Synteza metodą Huffmana – Układ 2



funkcja przejść

$$Q = \bar{x}_2(x_1 + q)$$

funkcja wyjść

$$y = q$$

Synteza metodą Siwińskiego

Warunki działania

- zbiór taktów opisujących warunki działania (sygnał 1)
- zbiór jest powiększany o takt poprzedzający cykl włączenia (zawiera przyczynę włączenia)
- zbiór jest pomniejszany o ostatni takt cyklu włączenia (zawiera przyczynę wyłączenia)

Warunki niedziałania

- zbiór taktów opisujących warunki niedziałania (sygnał 0)
- zbiór jest powiększany o takt poprzedzający cykl wyłączenia (zawiera przyczynę wyłączenia)
- zbiór jest pomniejszany o ostatni takt cyklu wyłączenia (zawiera przyczynę włączenia)

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	–	+		–	+		–
y	2 ¹	–		+			–	–
NSU		0	1	3	2	3	1	0

Warunki działania

takty: 1, 2, 3

Warunki niedziałania

takty: 0, 4, 5

Synteza metodą Siwińskiego

Rozwiązalna tablica kolejności łączy

- tablica kolejności łączy jest **rozwiązalna** jeśli nie zawiera **stanów sprzecznych logicznie**
- **stany sprzeczne logicznie** to stany układu o takich samych wartościach NSU występujące zarówno w taktach działania jak i niedziałania sygnału wyjściowego lub pomocniczego
- z rozwiązalnej tablicy kolejności łączy wynikają **1** i **0** sygnałów wyjściowych i pomocniczych (dla stanów nieujętych w cyklu pracy przyjmuje się wartość nieokreśloną "-") co pozwala na zapis funkcji przejść i wyjść układu, stosowana jest także tzw. **metoda uproszczona**, która pozwalana na bezpośredni odczyt funkcji układu w formach minimalnych

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	-	+		-	+		-
y	2 ¹	-		+			-	-
NSU		0	1	3	2	3	1	0



stany sprzeczne logicznie

Synteza metodą Siwińskiego

Usuwanie sprzeczności

- układ musi być uzupełniany o dodatkowe sygnały pomocnicze (elementy pamięciowe) co prowadzi do rozszerzenia liczby wierszy TKŁ
- odpowiednia zmiana stanów sygnałów pomocniczych pozwala na uzyskanie niesprzecznych stanów układu (każdy nowy sygnał wprowadza nową wagę)
- zmiany stanów sygnałów pomocniczych wymagają uzupełnienia tablicy o dodatkowe kolumny, w prostych problemach sprzeczności usuwa zmiana stanu sygnału pomocniczego przed pierwszym powtórzeniem stanu sprzecznego a powrót do wartości początkowej po zakończeniu cyklu pracy układu

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2^0	–	+		–	+		–
y	2^1	–		+			–	–
NSU		0	1	3	2	3	1	0

stany sprzeczne logicznie

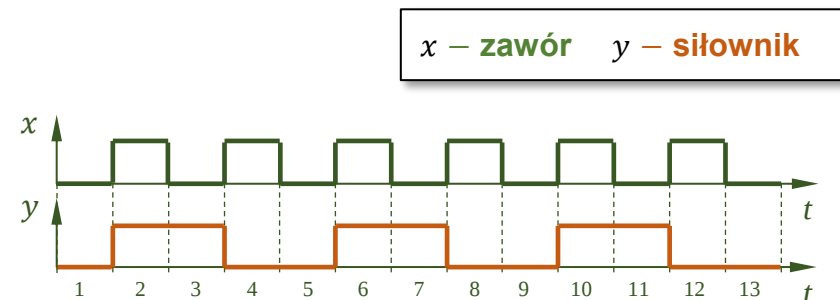
Takty		0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2^0	–	+		–		+		–	–
y	2^1	–		+				–		–
p	2^2	–				+				–
NSU										

zmiana stanu
sygnału pomocniczego

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

Tablica kolejności łączy

Takty	0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	–	+		–	+	–
y	2 ¹	–		+			–
NSU							



Wyznaczanie NSU

Takty	0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	–	+		–	+	
y	2 ¹	–		+			–
NSU	0	1	3	2	3	1	0

- sygnał ma wartość + (1)
- sygnał ma wartość – (0)

Takt	NSU
0	$0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 = 0$
1	$1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 = 1$
2	$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 = 3$

Takt	NSU
3	$0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 = 2$
4	$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 = 3$
5	$1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 = 1$

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

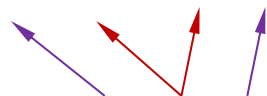
Sprawdzanie rozwiązalności

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2^0	–	+		–	+		–
y	2^1	–		+			–	–
NSU		0	1	3	2	3	1	0

Takty		0	1	2	3	4	5	0
x	2^0	–	+		–	+		–
y	2^1	–		+			–	–
NSU		0	1	3	2	3	1	0

- warunki działania (sygnał +)
- warunki niedziałania (sygnał +)

warunki zaznaczone z taktem poprzedzającym i bez ostatniego taktu



stany sprzeczne logicznie

Tablica nie spełnia warunków rozwiązalności:

NSU=1 oraz NSU=3 występują zarówno w taktach działania jak i niedziałania

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

Konstrukcja rozwiązalnej tablicy kolejności łączy

Takty	0	1	2	3	4	5	0
x	2 ⁰	–	+		–	+	–
y	2 ¹	–		+		–	–
NSU	0	1	3	2	3	1	0

tablica uzupełniona o:

- dodatkowy wiersz wprowadzający sygnał pomocniczy q
- dodatkowe kolumny ze zmianą stanu sygnału pomocniczego (zmiana na "+" dodana przed pierwszym powtórzeniem stanu sprzecznego a powrót do "–" po zakończeniu cyklu pracy układu)

Takty	0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+	–		+	–	–	–
y	2 ¹	–	+			–		–	–
q	2 ²	–			+			–	–
NSU									

zmiana stanu
sygnału pomocniczego

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

Wyznaczanie NSU

Takty		0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+		–		+		–	–
y	2 ¹	–		+				–		–
q	2 ²	–				+				–
NSU										

Takty		0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+		–		+		–	–
y	2 ¹	–		+				–		–
q	2 ²	–				+				–
NSU		0	1	3	2	6	7	5	4	0

sygnał ma wartość + (1)
 sygnał ma wartość – (0)

Takt	NSU
0	$0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 = 0$
1	$1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 = 1$
2	$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 = 3$
3	$0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 = 2$

Takt	NSU
3'	$0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = 6$
4	$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = 7$
5	$1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = 5$
0'	$0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = 4$

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

Sprawdzanie rozwiązalności

Takty		0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+		–		+		–	–
y	2 ¹	–		+				–		–
q	2 ²	–				+				–
NSU		0	1	3	2	6	7	5	4	0

Takty		0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+		–		+		–	–
y	2 ¹	–		+				–		–
q	2 ²	–				+				–
NSU		0	1	3	2	6	7	5	4	0

warunki działania (sygnał +)

warunki niedziałania (sygnał –)

warunki zaznaczone z taktem poprzedzającym i bez ostatniego taktu

Tablica spełnia warunki rozwiązalności

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

Takty	0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	0	1	1	0	0	1	1	0	0
y	0	0	1	1	1	1	0	0	0
q	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Y	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Q	0	0	0	1	1	1	1	0	0



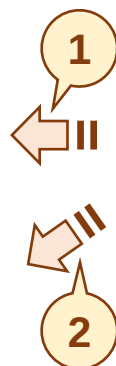
$yq \backslash x$	0	1
00	0	1
01	0	0
11	1	0
10	1	1

Y



$yq \backslash x$	0	1
00	0	0
01	0	1
11	1	1
10	1	0

Q



Takty	0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+	–	–	+	–	–	–
y	2 ¹	–	+	–	–	–	–	–	–
q	2 ²	–	–	–	+	–	–	–	–
NSU	0	1	3	2	6	7	5	4	0

- 1 – sygnał +
0 – sygnał –
- 2 1 warunki działania
0 warunki niedziałania

Funkcje przejść i wyjść

funkcje przejść

$$Y = \bar{x}y + x\bar{q}$$

$$Q = \bar{x}y + xq$$

funkcja wyjść

$$y = Y$$

Synteza metodą Siwińskiego – Układ 1

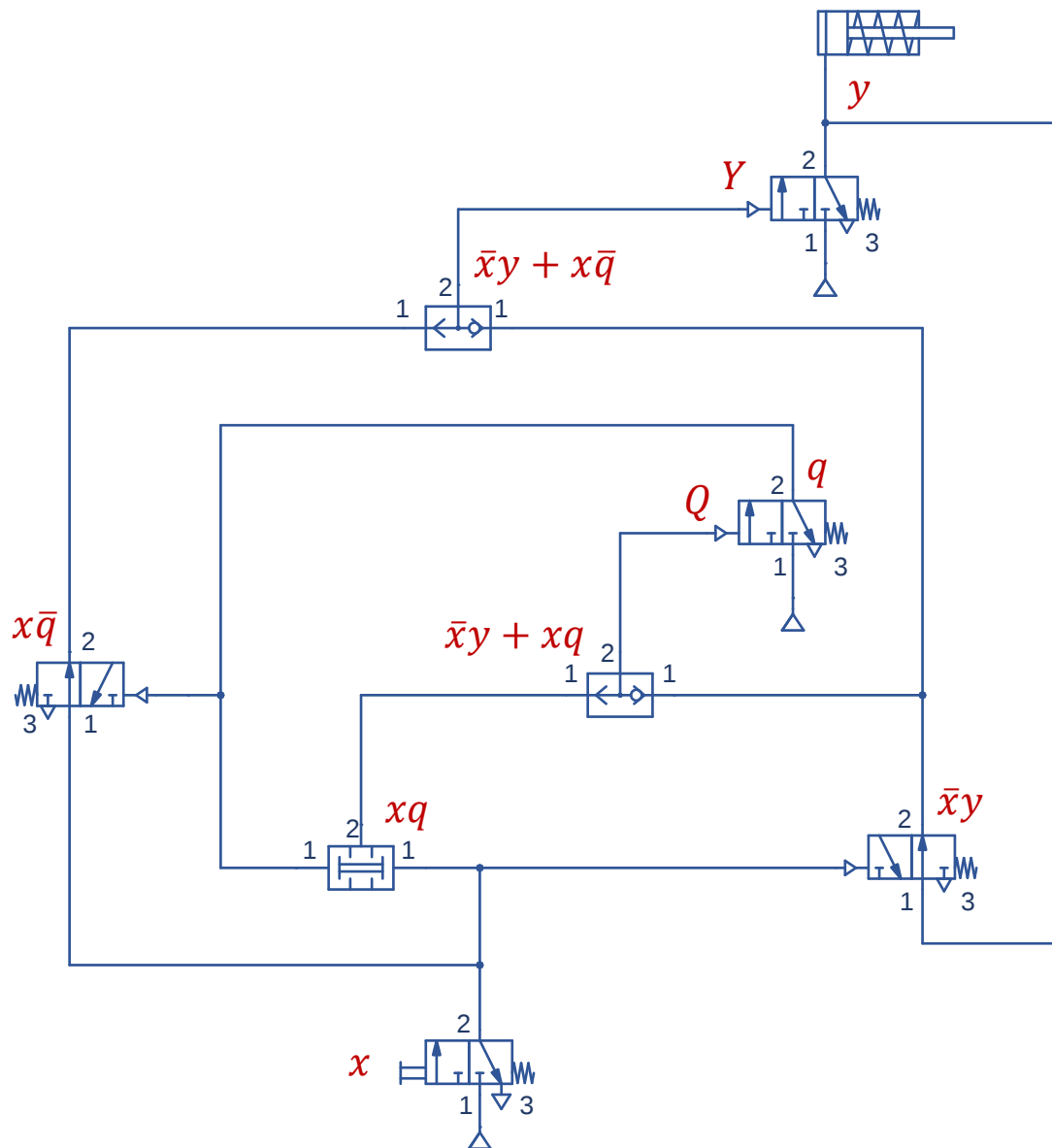
funkcje przejść

$$Y = \bar{x}y + x\bar{q}$$

$$Q = \bar{x}y + xq$$

funkcja wyjść

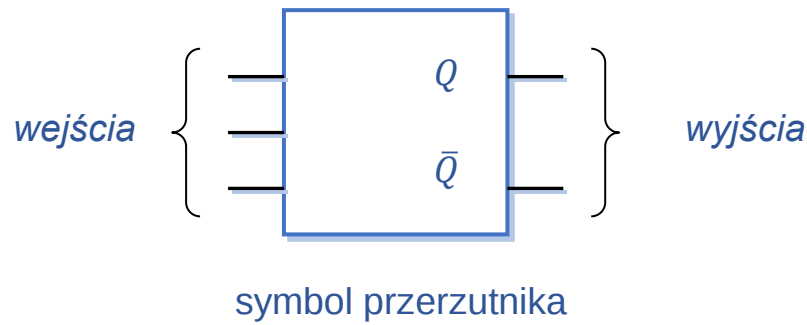
$$y = Y$$



Przerzutniki

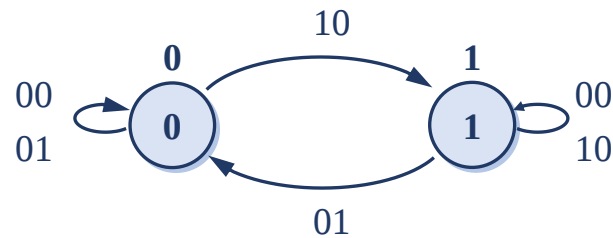
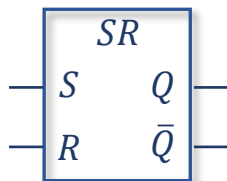
Przerzutniki

- elementarne układy sekwencyjne zdolne do zapamiętania jednego bitu informacji; zapamiętany bit (1 lub 0) odpowiada dwóm stanom wewnętrznym przerzutnika 1 i 0
- stany wewnętrzne **przerzutników bistabilnych** są stanami **stabilnymi**, a zmiana stanu wewnętrznego (a więc również stanu wyjść), następuje wyłącznie w wyniku zmiany stanu wejść (**przerzutniki monostabilne** mają **stabilny tylko jeden stan wewnętrzny**)
- **przerzutniki asynchroniczne** zmieniają stan bezpośrednio, w dowolnej chwili czasu, pod wpływem zmiany stanu wejść, **przerzutniki synchroniczne** mogą zmieniać stan tylko w chwilach wyznaczanych przez sygnał taktujący
- przerzutniki posiadają wejścia informacyjne (w zależności od typu przerzutnika pełnią różne funkcje) oraz dwa wzajemnie się uzupełniające (komplementarne) wyjścia: Q i $\bar{Q}$



Asynchroniczny przerzutnik SR

- najprostszy z przerzutników
- ma dwa wejścia: **wejście ustawiające** oznaczane symbolem S (ang. set) i **wejście zerujące** oznaczane symbolem R (ang. reset)
- podanie **1** na wejście ustawiające S i **0** na wejście zerujące R ustawia przerzutnik (**1** na wyjściu Q i **0** na $\bar{Q}$)
- podanie **0** na wejście ustawiające S i **1** na wejście zerujące R zeruje przerzutnik (**0** na wyjściu Q i **1** na $\bar{Q}$)
- podanie **0** na obydwa wejścia nie zmienia stanu przerzutnika
- podanie **1** na obydwa wejścia przerzutnika jest zabronione



SR	00	01	11	10
q				
0	0	0	*	1
1	1	0	*	1

Q

Przerzutniki SR w układach sekwencyjnych

- przerzutniki SR są wykorzystane do realizacji bloku pamięci
- wykorzystanie przerzutników upraszcza projektowanie
- użycie przerzutników wymaga ustalenia **funkcji wzbudzeń** definiujących wartości na wejściach ustawiającym i zerującym
- **funkcje wzbudzeń** mogą być wyznaczane różnymi metodami; np. **metodą analizy stanów niestabilnych tablicy przejść** (w przypadku syntezy układu metodą Huffmana) czy **metodą analizy rozwiązalnej tablicy kolejności łączy** (w przypadku syntezy układu metodą Siwińskiego)

x_1x_2	00	01	11	10
q				
0	⓪	⓪	⓪	1
1	①	0	0	①

stany niestabilne

Takty	0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2^0	–	+	–	–	+	–	–	–
y	2^1	–	+	–	–	–	–	–	–
q	2^2	–	–	–	+	–	–	–	–
NSU	0	1	3	2	6	7	5	4	0

warunki działania

warunki niedziałania

Metoda analizy stanów niestabilnych tablicy przejść

Wyznaczanie funkcji wzbudzeń przerzutników

Wejście	Składniki obowiązkowe	Składniki obojętne
ustawiające	niestabilne stany 1	stabilne stany 1, stany nieokreślone
zerujące	niestabilne stany 0	stabilne stany 0, stany nieokreślone

- zerowanie przerzutnika następuje w wyniku podania sygnału 1 na wejście zerujące podczas wyznaczania funkcji dla wejścia zerującego 0 muszą być traktowane jak 1
- wykorzystanie składników obojętnych pozwala na zapis funkcji w postaciach minimalnych

x_1x_2	00	01	11	10
q				
0	0	0	0	1
1	1	0	0	1



x_1x_2	00	01	11	10
q				
0	0	0	0	1
1	1	0	0	1

x_1x_2	00	01	11	10
q				
0	0	0	0	1
1	1	0	0	1

stany niestabilne

$$S = x_1 \bar{x}_2$$

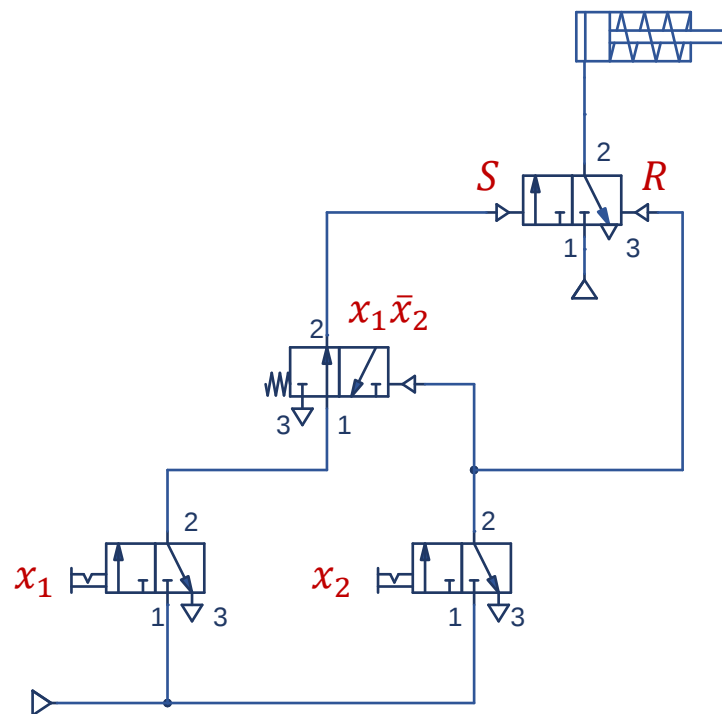
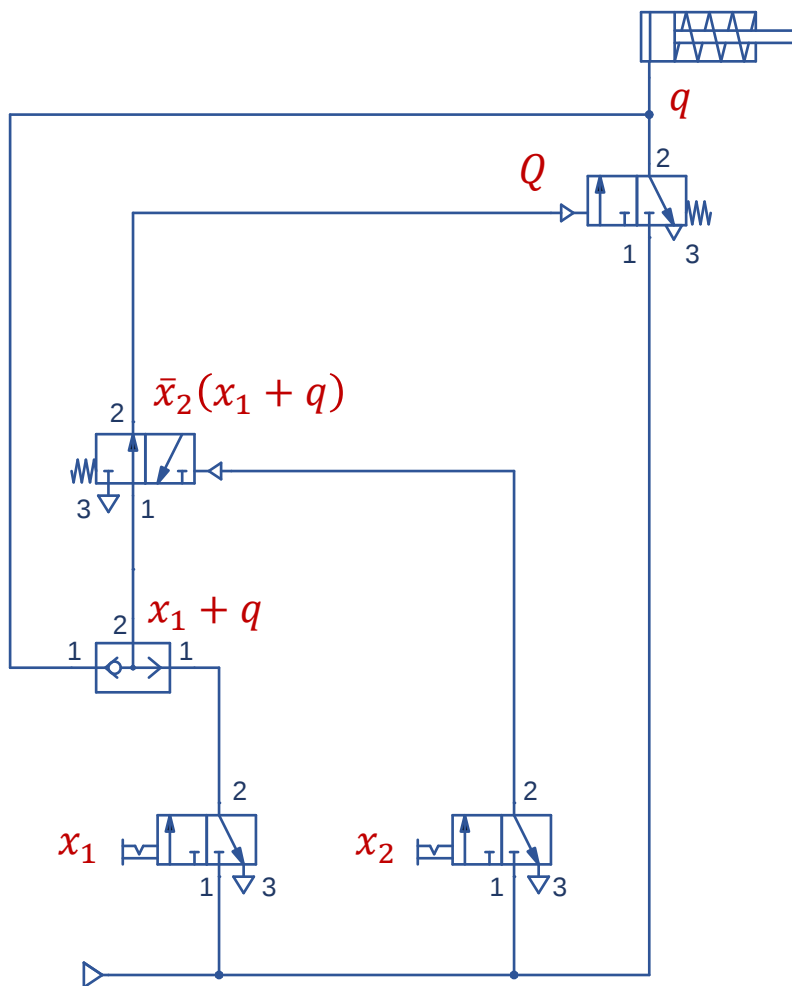
$$R = x_2$$

Wykorzystanie przerzutników – Układ 2

funkcje wzbudzeń

$$S = x_1 \bar{x}_2$$

$$R = x_2$$



Metoda analizy rozwiązalnej tablicy kolejności łączy

Wyznaczanie funkcji wzbudzeń przerzutników

Wejście	Składniki obowiązkowe	Składniki obojętne
ustawiające	pierwszy takt z warunków działania	pozostałe takty warunków działania, stany nieujęte w cyklu układu
zerujące	pierwszy takt z warunków niedziałania	pozostałe takty warunków niedziałania, stany nieujęte w cyklu układu

- zerowanie przerzutnika następuje w wyniku podania sygnału 1 na wejście zerujące podczas wyznaczania funkcji dla wejścia zerującego 0 muszą być traktowane jak 1
- wykorzystanie składników obojętnych pozwala na zapis funkcji w postaciach minimalnych

Takty	0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	2 ⁰	–	+		–		+	–	–
y	2 ¹	–		+				–	–
q	2 ²	–				+			–
NSU	0	1	3	2	6	7	5	4	0

- warunki działania
- pierwszy takt warunków działania
- warunki niedziałania
- pierwszy takt warunków niedziałania

Wykorzystanie przerzutników – Układ 1

Takty	0	1	2	3	3'	4	5	0'	0
x	0	1	1	0	0	1	1	0	0
y	0	0	1	1	1	1	0	0	0
q	0	0	0	0	1	1	1	1	0

x yq	0	1
00	0	1
01	0	0
11	1	0
10	1	1

Y

x yq	0	1
00	0	1
01	0	0
11	1	0
10	1	1

Y

funkcje wzbudzeń

$$S_Y = x\bar{q}$$

$$R_Y = xq$$

$yq \quad x$	0	1
00	0	0
01	0	1
11	1	1
10	1	0

Q

x	0	1
yq		
00	0	0
01	0	1
11	1	1
10	1	0

Q

funkcje wzbudzeń

$$S_Q = \bar{x}y$$

$$R_Q = \bar{x}\bar{y}$$

Wykorzystanie przerzutników – Układ 1

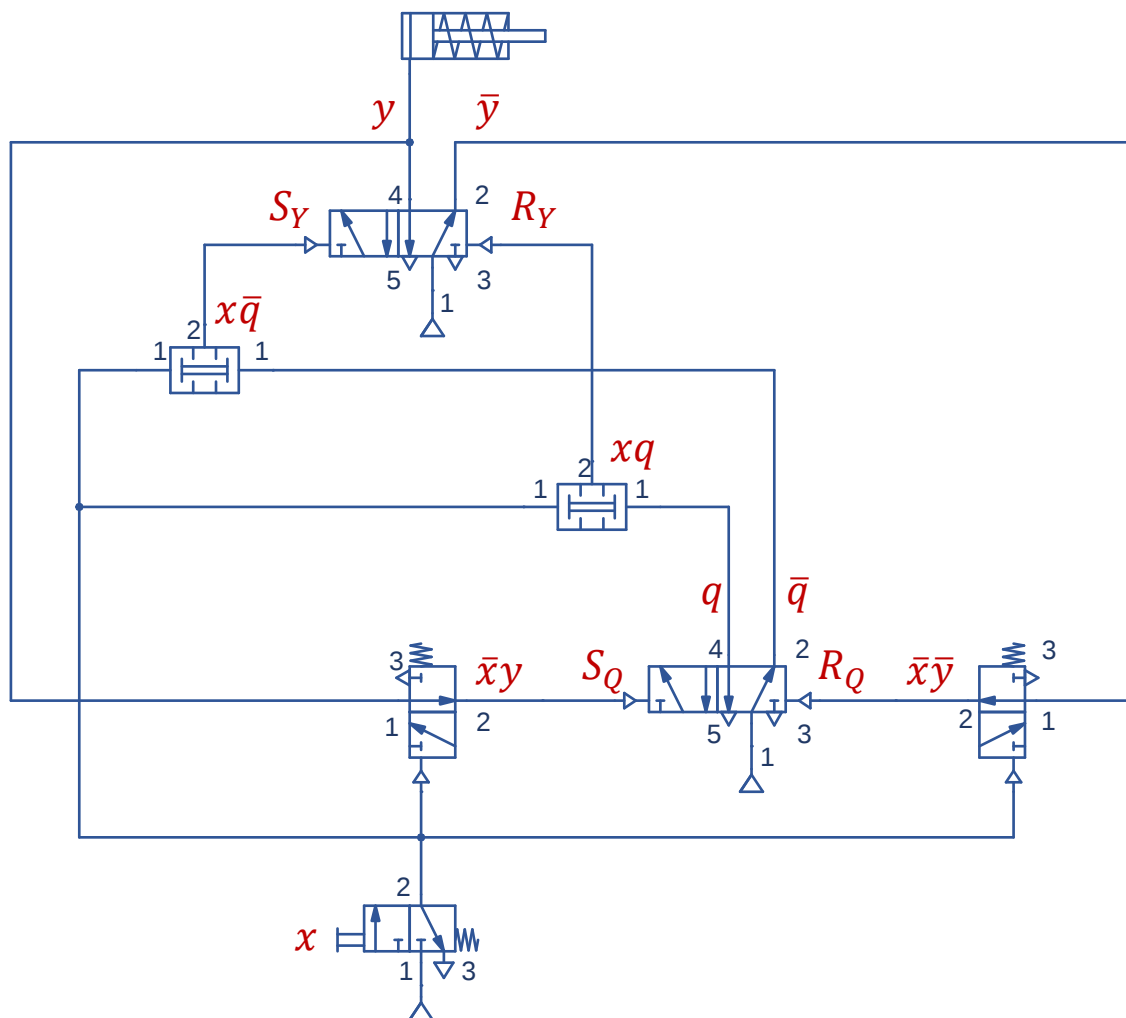
funkcje wzbudzeń

$$S_Q = \bar{x}y$$

$$R_Q = \bar{x}\bar{y}$$

$$S_Y = x\bar{q}$$

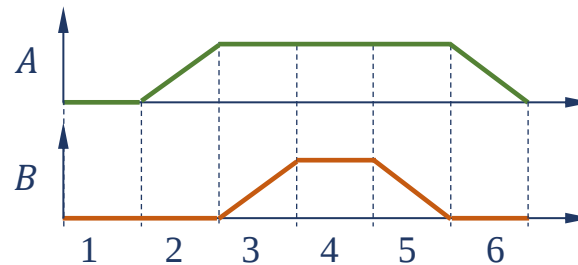
$$R_Y = xq$$



Układy pneumatyczne

Cyklogram

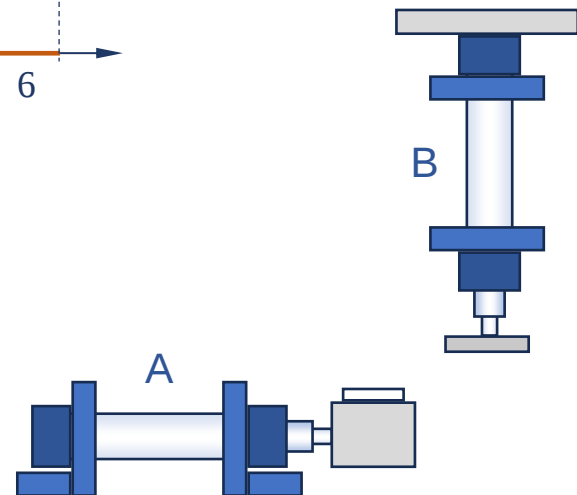
- metoda opisu podobna do wykresu czasowego
- działanie **elementów sterujących** (zawory) i **elementów wykonawczych** (siłowniki) przedstawiane jest w funkcji czasu
- **odcinkami pochyłe** odpowiadają **zmianom położenia** wskazując na czas, który jest potrzebny na zmianę (wysuwanie/wysuwanie siłownika)
- **odcinkami poziome** odpowiadają zatrzymaniu w ustalonym położeniu



Układ 3

Na stanowisku montażowym pracują 2 siłowniki zgodnie z następującym programem:

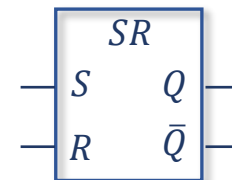
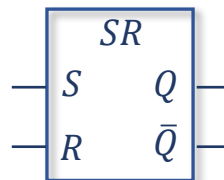
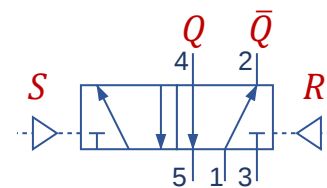
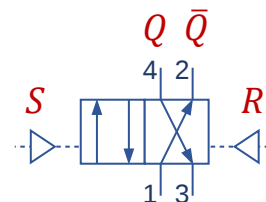
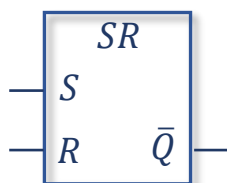
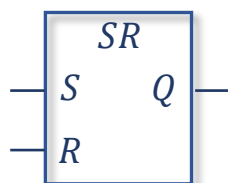
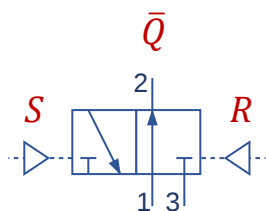
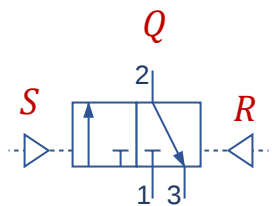
- siłownik A przesuwa detal pod siłownik B
- siłownik B wytłacza na detalu numer części
- siłownik B wraca do położenia początkowego
- siłownik A wraca do położenia początkowego



Układy pneumatyczne

Bistabilne zawory rozdzielające (sterowane pneumatycznie lub elektrycznie)

- mogą spełniać w układach pneumatycznych funkcję przerzutników



Układy pneumatyczne

Uproszczenia

Jeśli stan siłownika monitorują wyłączniki krańcowe a_0 i a_1 to przy założeniu, że czas przejścia z położenia początkowego do końcowego jest krótki można podczas syntezy rozważać tylko jeden sygnał a zamiast sygnałów a_0 i a_1 .

