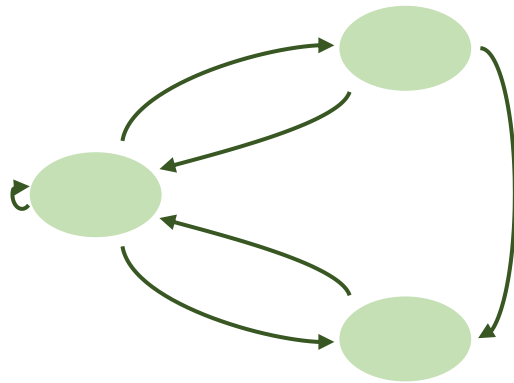


Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych

Układy sekwencyjne

Analiza i synteza



Materiały

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

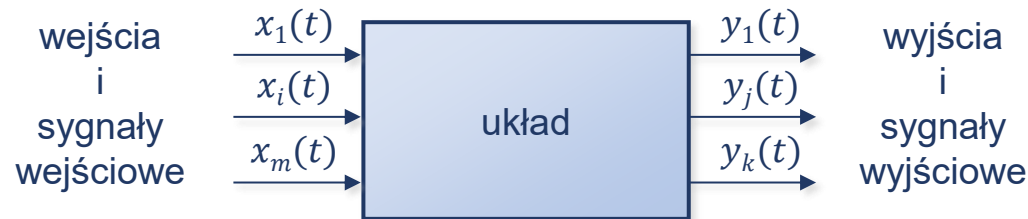


Pojęcia podstawowe

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.:

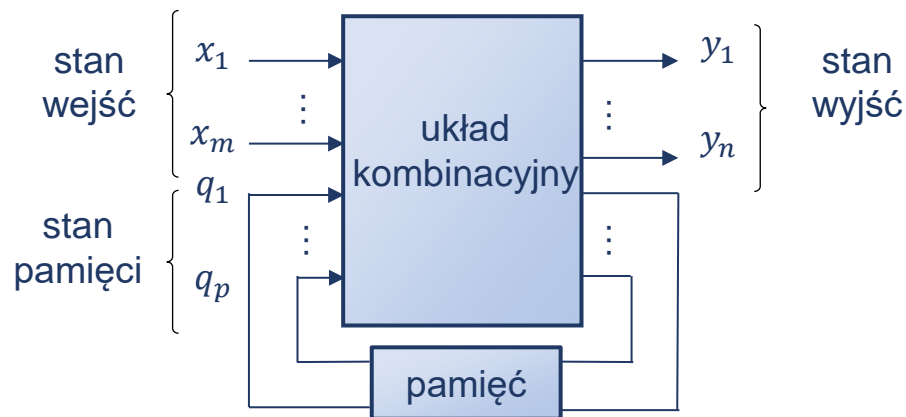
- temu samemu stanowi wejść mogą odpowiadać różne stany wyjść
- stan wyjść układu sekwencyjnego zależy nie tylko od aktualnego stanu wejść ale również od poprzednich stanów wejść tzn. od kolejności (sekwencji) zmian stanów wejść



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 opisu wszystkich skutków przeszłych oddziaływań. Wielkości te nazywane są **stanem pamięci wewnętrznej** (stanem pamięci lub stanem wewnętrznym) układu.



Sekwencyjne układy cyfrowe

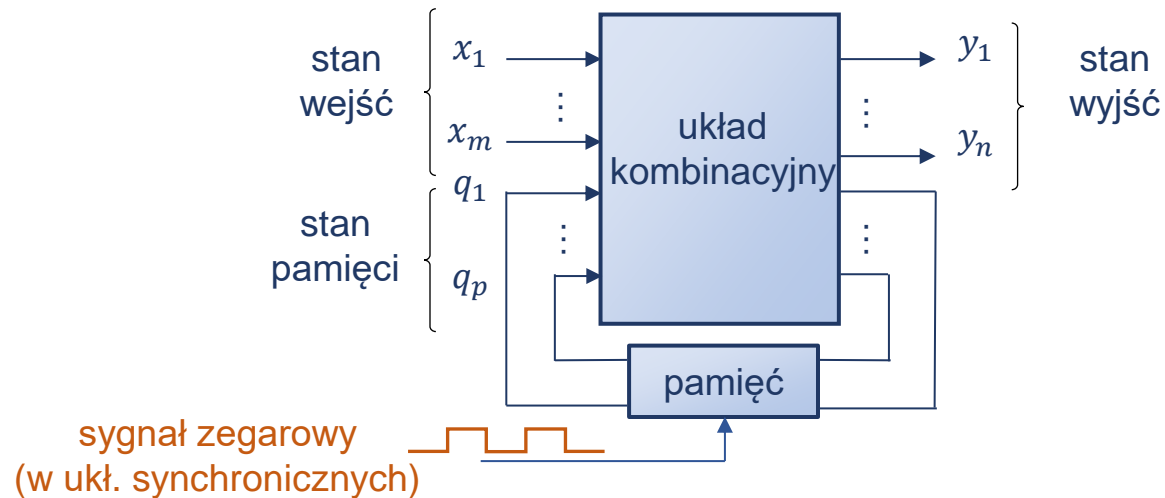
Uwzględniając sposób oddziaływania sygnałów wejściowych na układ (a właściwie na blok pamięci) układy sekwencyjne dzielone są na:

układy asynchroniczne

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

układy synchroniczne

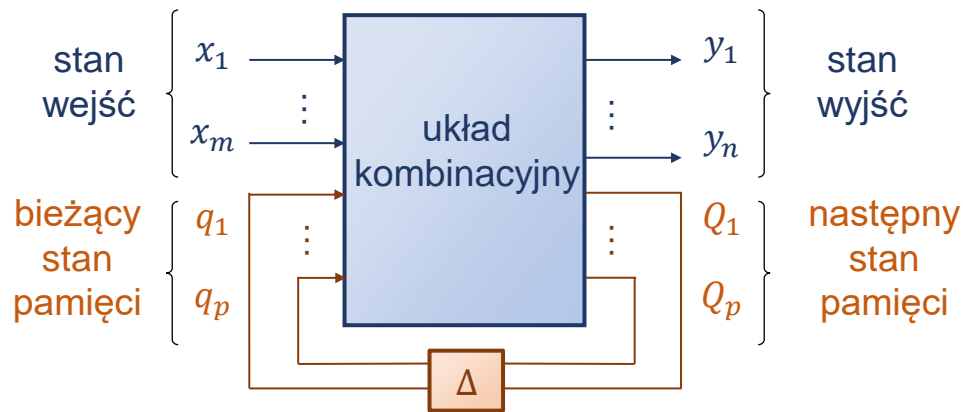
zmiana stanu pamięci następuje tylko w ściśle określonych chwilach czasu wyznaczanych przez dodatkowy sygnał wejściowy układu tzw. sygnał taktujący (zegarowy, synchronizujący)



Asynchroniczne układy sekwencyjne

Model Huffmana

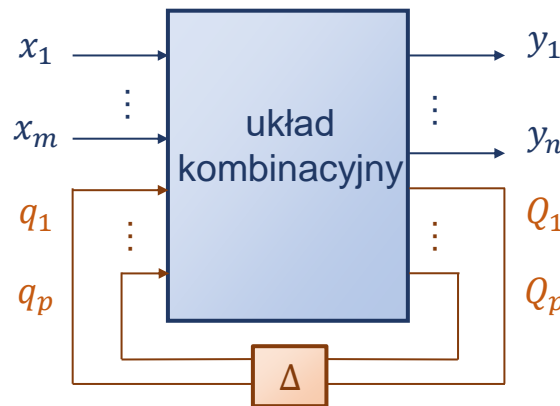
Huffman zaproponował model, w którym układ kombinacyjny został rozbudowany o pętle sprzężeń zwrotnych z dodatkowymi elementami opóźniającymi Δ . Takie podejście pozwoliło na realizację pamięci układu sekwencyjnego.



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



Asynchroniczne układy sekwencyjne



Ograniczenia

Podstawowym wymaganiam 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

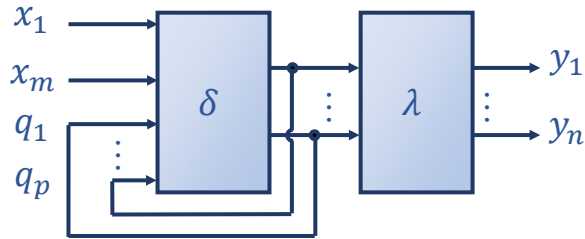
Układy definiowane są formalnie przy pomocy tzw. "piątki":

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

- \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

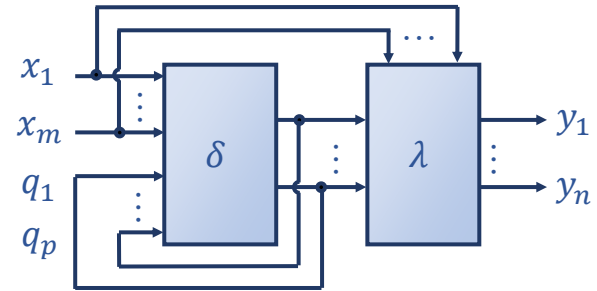
Układ Moore'a



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

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

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
<ul style="list-style-type: none">• opis słowny• wykres czasowy	<ul style="list-style-type: none">• graf przejść• tablice przejść i tablice wyjść

Metody opisu układów sekwencyjnych

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 cykliczne włączanie i wyłączenie urządzenia przy pomocy przycisku. Jeśli urządzenie nie pracuje, wciśnięcie przycisku powoduje jego włączenie, jeśli urządzenie pracuje, wciśnięcie przycisku powoduje jego wyłączenie. Zwalnianie przycisku nie powoduje zmian stanu pracy urządzenia.

Układ 2

Układ umożliwia włączanie i wyłączenie urządzenia przy pomocy dwóch przełączników.

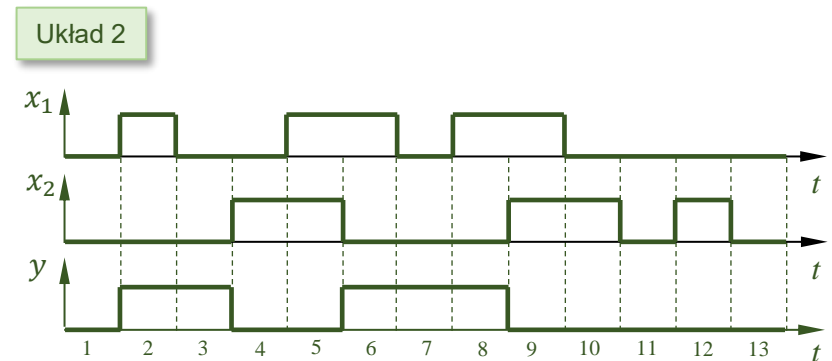
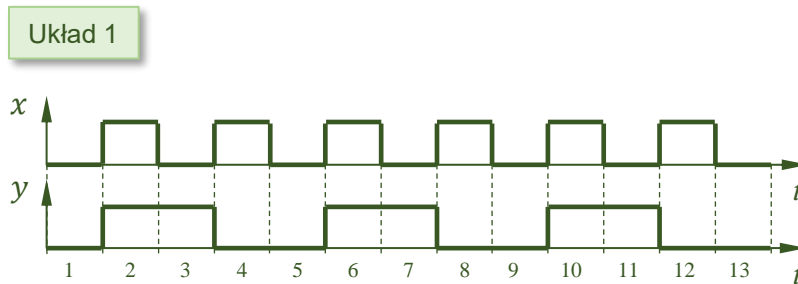
Włączenie przełącznika włączającego powoduje włączenie urządzenia. Wyłączenie tego przełącznika nie powoduje jednak zatrzymania pracy urządzenia.

Urządzenie może być wyłączone tylko przy pomocy przełącznika wyłączającego. Przełącznik wyłączający ma wyższy priorytet i w sytuacji gdy obydwa przełączniki są włączone urządzenie nie pracuje.

Metody opisu układów sekwencyjnych

Wykres czasowy

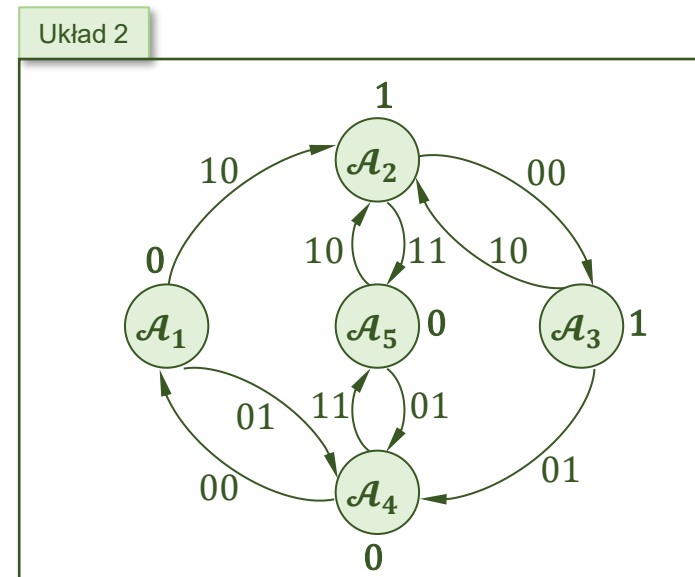
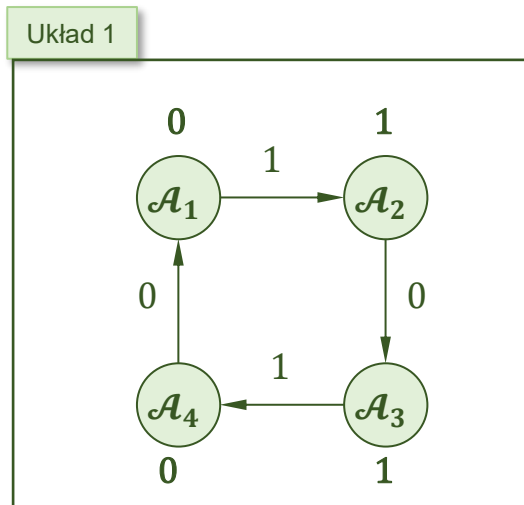
- przedstawia przebieg w czasie zmian sygnałów wejściowych i odpowiadających im sygnałów wyjściowych
- opóźnienia wynikające z czasu reakcji elementów układu nie są uwzględniane
- oś czasu na ogół nie odzwierciedla czasu trwania poszczególnych faz i skalowana jest taktami (takt odpowiada czasowi pomiędzy 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 wymuszone 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 przyporządkowywany podobnie jak stan wejść odpowiedniej krawędzi grafu

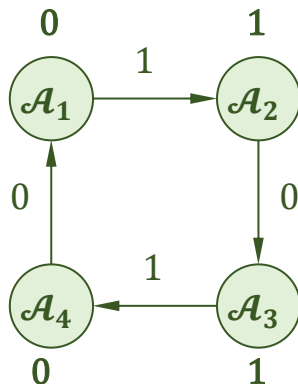


Metody opisu układów sekwencyjnych

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

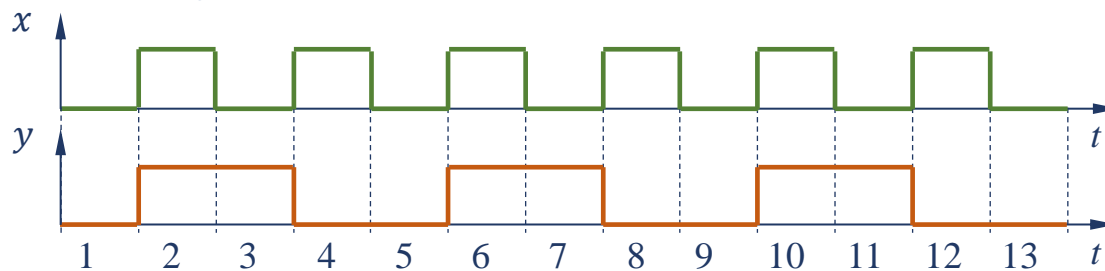
Układ 1

Opis słowny

Układ umożliwia cykliczne włączanie i wyłączenie urządzenia przy pomocy przycisku (przycisk jest łącznikiem monostabilnym pozostającym w stanie włączony tylko gdy jest wciskany przez operatora, po zwolnieniu przechodzi w stan wyłączony).

Jeśli urządzenie nie pracuje, wciśnięcie przycisku powoduje jego włączenie, jeśli urządzenie pracuje, wciśnięcie przycisku powoduje jego wyłączenie. Zwalnianie przycisku nie powoduje zmian stanu pracy urządzenia.

Wykres czasowy



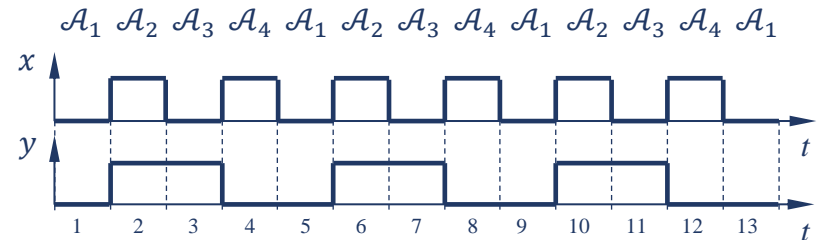
x — przycisk
 y — urządzenie

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

Graf przejść



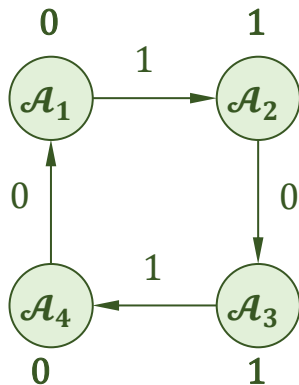
Z analizy wykresu czasowego wynika, że układ może znajdować się w 4 stanach:

\mathcal{A}_1 – przycisk zwolniony i urządzenie nie pracuje ($x = 0$ i $y = 0$)

\mathcal{A}_2 – przycisk wciśnięty i urządzenie pracuje ($x = 1$ i $y = 1$)

\mathcal{A}_3 – przycisk zwolniony i urządzenie pracuje ($x = 0$ i $y = 1$)

\mathcal{A}_4 – przycisk wciśnięty i urządzenie nie pracuje ($x = 1$ 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

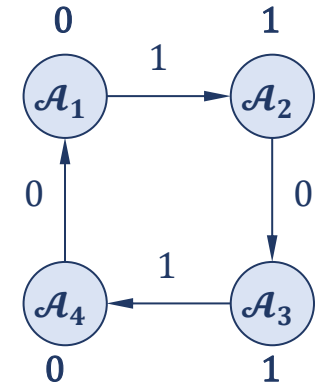
tablica przejść

\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

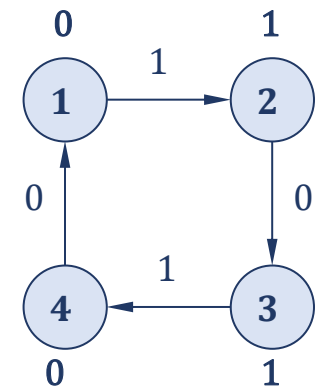
tablica przejść – wyjść



$\mathcal{A} \backslash x$	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

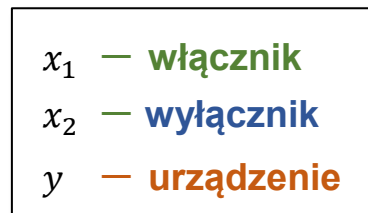
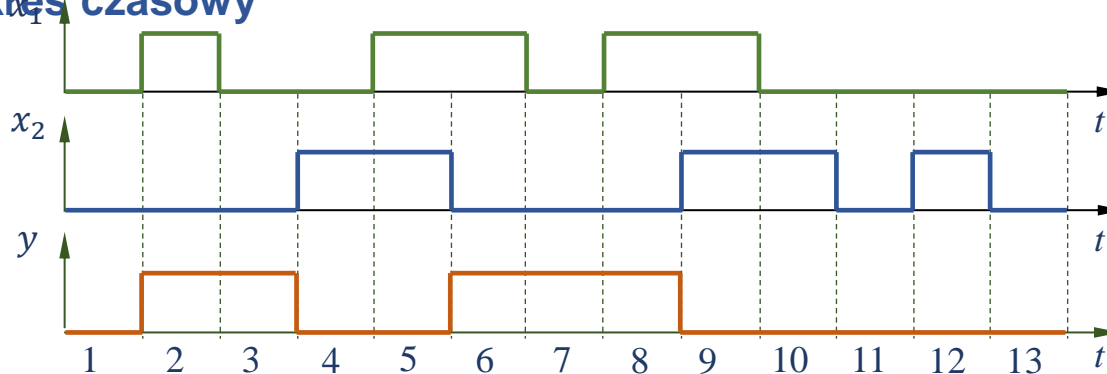
Układ 2

Opis słowny

Układ umożliwia włączanie i wyłączanie urządzenia przy pomocy dwóch przełączników (przełączniki po naciśnięciu zmieniają trwale swój stan: przełączają się ze stanu wyłączony we włączony i ze stanu włączony w wyłączony).

Włączenie przełącznika włączającego powoduje włączenie urządzenia. Wyłączenie tego przełącznika nie powoduje jednak zatrzymania pracy urządzenia. Urządzenie może być wyłączone tylko przy pomocy przełącznika wyłączającego. Przełącznik wyłączający ma wyższy priorytet i w sytuacji gdy obydwa przełączniki są włączone urządzenie nie pracuje. Dodatkowo zakłada się, że układ pracuje w trybie podstawowym.

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:

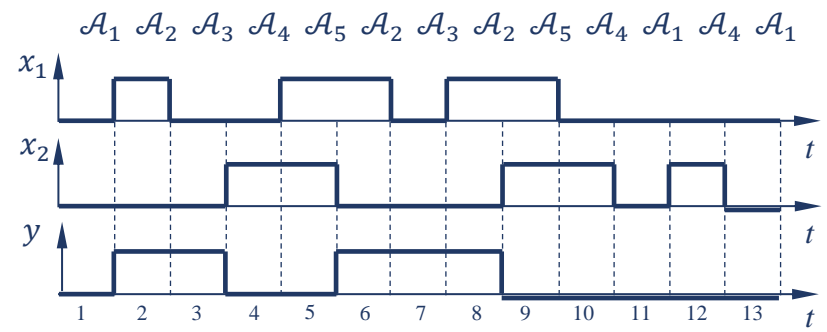
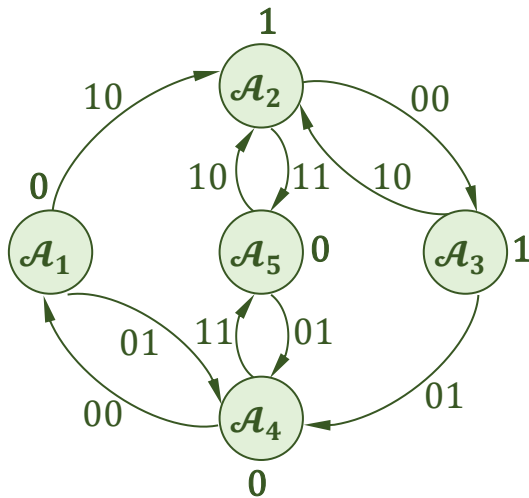
\mathcal{A}_1 – przełączniki wyłączone, urządzenie nie pracuje ($x_1 = 0, x_2 = 0, y = 0$),

\mathcal{A}_2 – włączony włącznik, urządzenie pracuje ($x_1 = 1, x_2 = 0, y = 1$),

\mathcal{A}_3 – przełączniki wyłączone, urządzenie pracuje ($x_1 = 0, x_2 = 0, y = 1$),

\mathcal{A}_4 – włączony wyłącznik, urządzenie nie pracuje ($x_1 = 0, x_2 = 1, y = 0$),

\mathcal{A}_5 – przełączniki włączone, urządzenie nie pracuje ($x_1 = 1, x_2 = 1, y = 0$).



Układ 2

Tablica przejść-wyjść

x_1x_2 \mathcal{A}	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

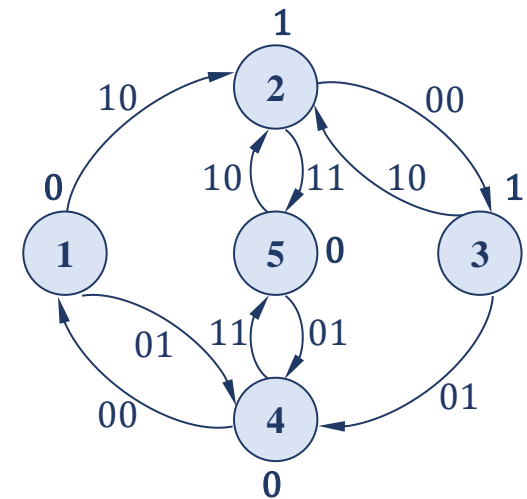
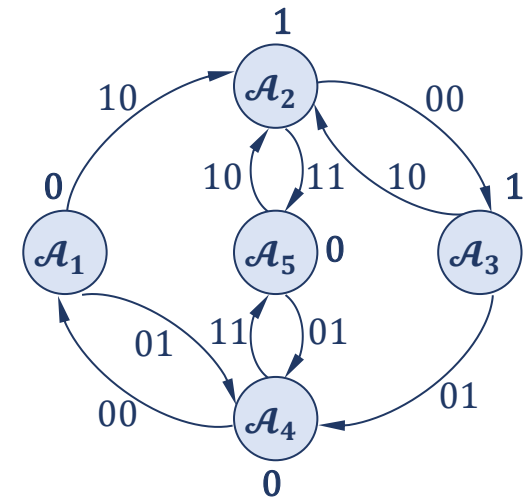
tablica przejść

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

tablica wyjść

x_1x_2 \mathcal{A}	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 – wyjść



x_1x_2 \mathcal{A}	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

x_1x_2 \mathcal{A}	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



Analiza układów sekwencyjnych

Analiza układów sekwencyjnych

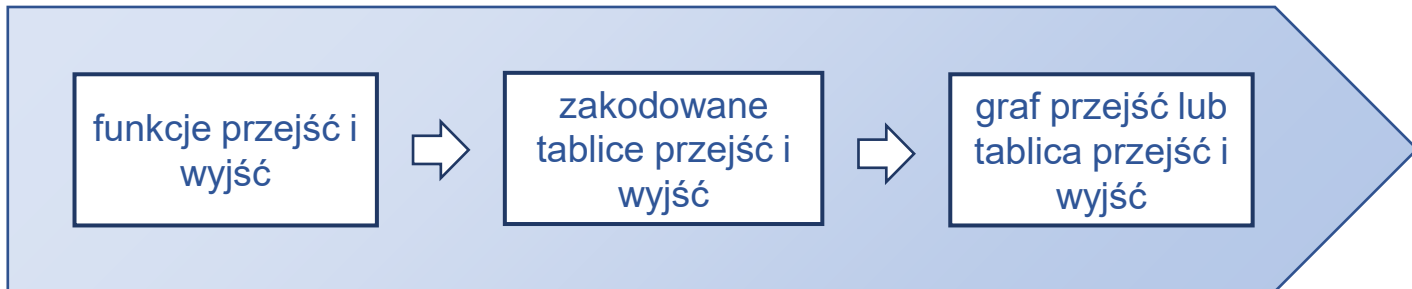
Analiza

Głównym celem analizy jest zrozumienie zasad działania układu, w przypadku gdy znana jest jego struktura; celem analizy może być również chęć wykrycia źródeł niewłaściwego zachowania układu (hazard, wyścig, niestabilność).

schemat
logiczny

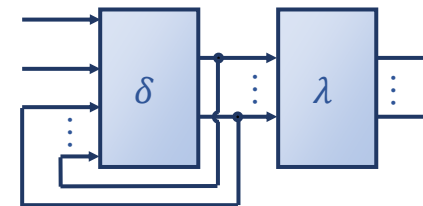
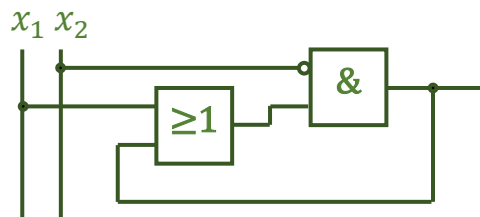
analiza

zasada
działania

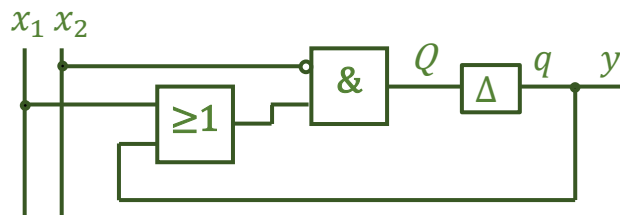


Analiza – układ A1

Funkcje przejść i wyjść



- układ ma wyłącznie blok pamięci (opisywany funkcją przejść δ),
- działanie bloku wyjściowego (opisywanego funkcją wyjść λ) należy więc opisać funkcją tożsamościową (brak dodatkowego przetwarzania sygnału),
- przed zapisem funkcji wygodnie jest wprowadzić element opóźniający wprowadzający stany bieżący q i następny Q .



funkcja przejść

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

funkcja wyjść

$$y = q$$

Analiza – układ A1

Zakodowana tablica przejść–wyjść

$q \backslash x_1x_2$	00	01	11	10	y
0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	1	1

Q

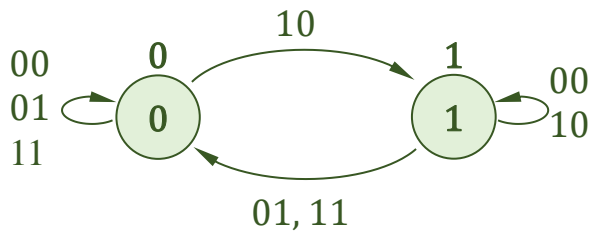
funkcja przejść

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

funkcja wyjść

$$y = q$$

Graf przejść

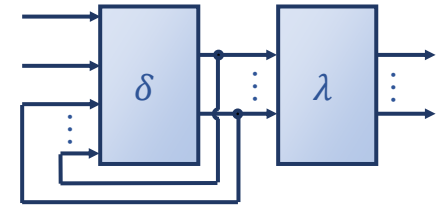
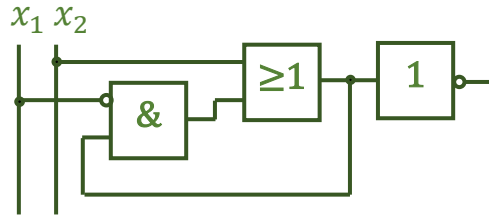


$q \backslash x_1x_2$	00	01	11	10	y
0	⊙	⊙	⊙	1	0
1	⊙	0	0	⊙	1

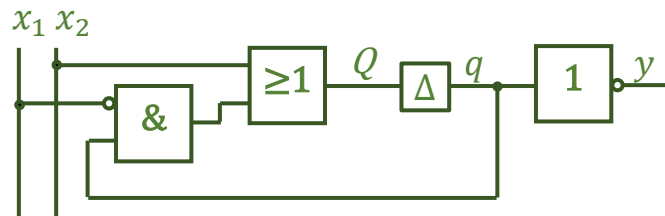
Q

Analiza – układ A2

Funkcje przejść i wyjść



- układ ma blok pamięci i blok wyjściowy,
- blok wyjściowy to inwerter, realizuje funkcję negacji,
- po wprowadzeniu elementu opóźniającego i stanów bieżącego q i następnego Q można zapisać funkcje δ i λ .



funkcja przejść

$$Q = \bar{x}_1 q + x_2$$

funkcja wyjść

$$y = \bar{q}$$

Analiza – układ A2

Zakodowana tablica przejść – wyjść

$q \backslash x_1x_2$	00	01	11	10	y
0	0	1	1	0	1
1	1	1	1	0	0

Q

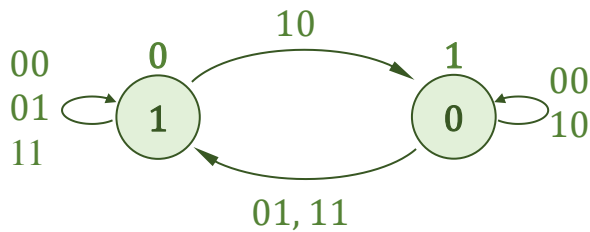
funkcja przejść

$$Q = \bar{x}_1q + x_2$$

funkcja wyjść

$$y = \bar{q}$$

Graf przejść

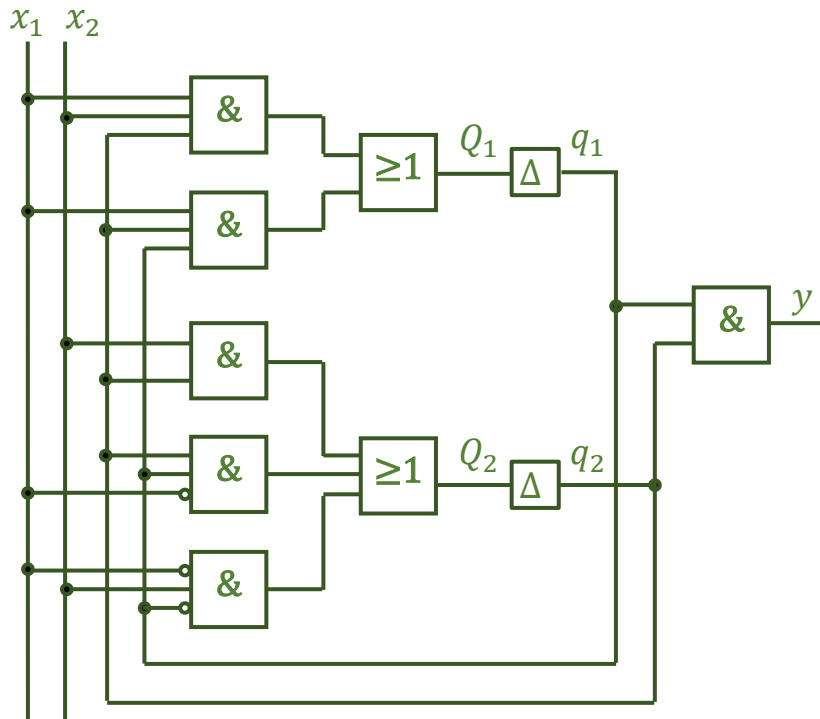


$q \backslash x_1x_2$	00	01	11	10	y
0	⊙	1	1	⊙	1
1	⊙	⊙	⊙	0	0

Q

Analiza – układ A3

Funkcje przejść i wyjść



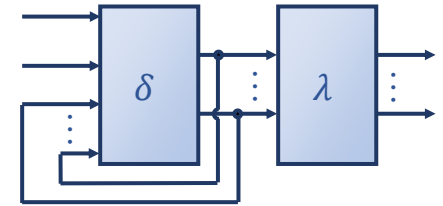
funkcja przejść

$$Q_1 = x_1 x_2 q_2 + x_1 q_1 q_2$$

$$Q_2 = x_2 q_2 + \bar{x}_1 q_1 q_2 + \bar{x}_1 x_2 \bar{q}_1$$

funkcja wyjść

$$y = q_1 q_2$$



Analiza – układ A3

Zakodowana tablica przejść – wyjść

x_1x_2 q_1q_2	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	0
11	0	0	1	1
10	0	0	0	0

Q_1

x_1x_2 q_1q_2	00	01	11	10
00	0	1	0	0
01	0	1	1	0
11	1	1	1	0
10	0	0	0	0

Q_2

q_1q_2	y
00	0
01	0
11	1
10	0



x_1x_2 q_1q_2	00	01	11	10	y
00	00	01	00	00	0
01	00	01	11	00	0
11	01	01	11	10	1
10	00	00	00	00	0

funkcja przejść

$$Q_1 = x_1x_2q_2 + x_1q_1q_2$$

$$Q_2 = x_2q_2 + \bar{x}_1q_1q_2 + \bar{x}_1x_2\bar{q}_1$$

funkcja wyjść

$$y = q_1q_2$$

Analiza – układ A3

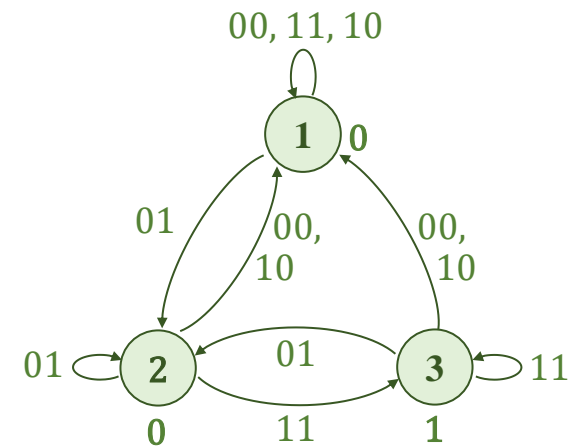
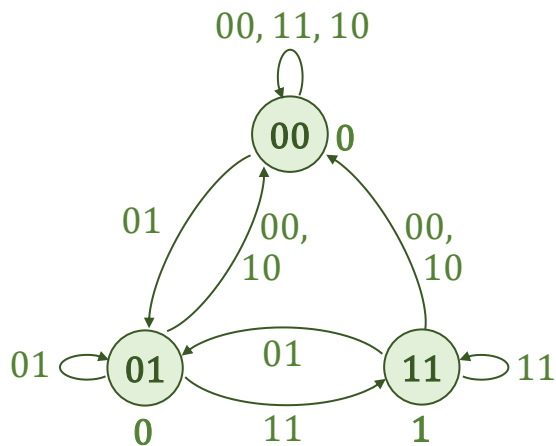
Tablica przejść – wyjść, graf przejść

x_1x_2 q_1q_2	00	01	11	10	y
00	00	01	00	00	0
01	00	01	11	00	0
11	01	01	11	10	1
10	00	00	00	00	0

kody

00 – 1
01 – 2
11 – 3
10 – 4

x_1x_2 q_1q_2	00	01	11	10	y
1	①	2	①	①	0
2	1	②	3	1	0
3	2	2	③	4	1
4	1	1	1	1	0



wyjście układu:

- jest ustawiane jeżeli na wejściu wystąpi sekwencja: 01, 11,
- jest zerowane w pozostałych przypadkach.



Synteza układów sekwencyjnych

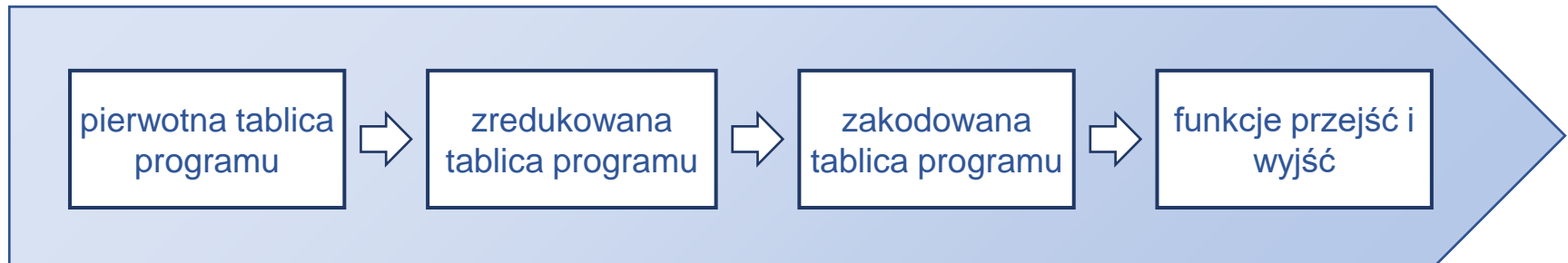
Synteza układów sekwencyjnych

Synteza

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



Metoda Huffmana



Synteza metodą Huffmana

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

Synteza metodą Huffmana

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
---	---	---	---	---

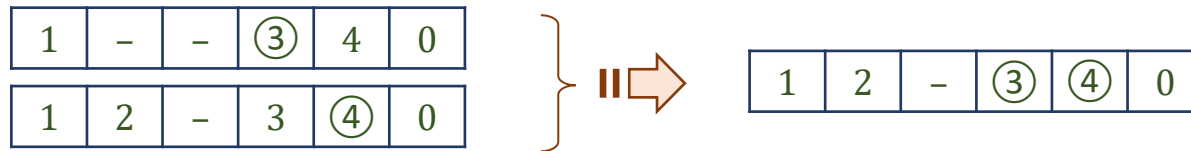
←
← stany niesprzeczne

Synteza metodą Huffmana

Redukcja stanów wewnętrznych

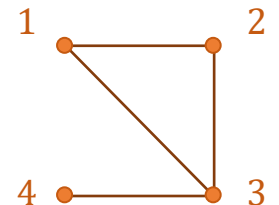
W wynikowym, połączonym wierszu wpisuje się:

- 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 tę 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

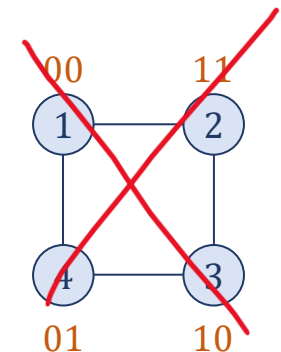
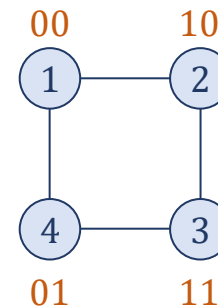
Kodowanie stanów wewnętrznych

- 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

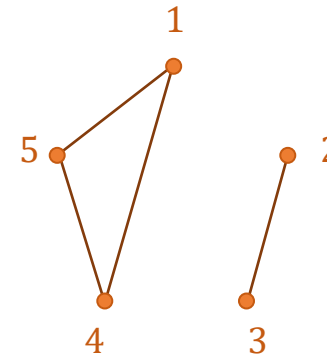
Pierwotna tablica programu

x_1x_2 \mathcal{A}	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 – przełączniki wyłączone, urządzenie nie pracuje,
- 2 – włączony włącznik, urządzenie pracuje,
- 3 – przełączniki wyłączone, urządzenie pracuje,
- 4 – włączony wyłącznik, urządzenie nie pracuje,
- 5 – przełączniki włączone, urządzenie nie pracuje.

Zredukowana 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

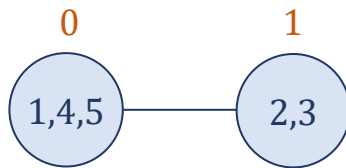


Wykres redukcyjny

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	①	①	0	1	0
1	1	①	0	①	1

Q

funkcja przejść

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

funkcja wyjść

$$y = q$$



Programowanie PLC

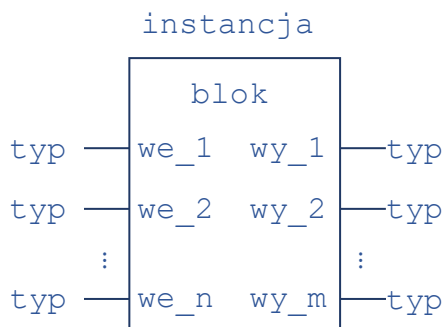
wybrane zagadnienia

PLC – standardowe bloki funkcjonalne

Blok funkcjonalny to jednostka organizacyjna oprogramowania, która na podstawie argumentów wejściowych wyznacza wartość argumentu wyjściowego (argumenty wejściowe nie wyznaczają jednoznacznie wartości argumentu wyjściowego ponieważ jego wartość zależy również od stanu „pamięci” konkretnej instancji danego bloku).

Norma definiuje standardowe bloków funkcjonalnych, bloki te można podzielić na:

- elementy bistabilne,
- detektory zbocza,
- liczniki,
- timery.



Symbol graficzny bloku funkcjonalnego

```
VAR
  instancja: blok;
END_VAR
```

deklaracja instancji bloku
(wystąpienia, egzemplarza)

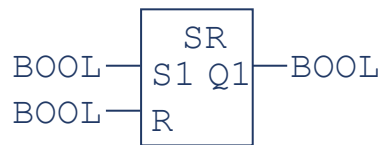
instancja – nazwa nadana przez użytkownika
blok – nazwa bloku funkcjonalnego
we_1, ..., we_n – argumenty wejściowe bloku
wy_1, ..., wy_m – argumenty wyjściowe bloku

PLC – elementy bistabilne

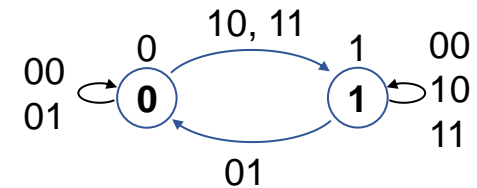
Elementy bistabilne (dwustanowe) – układy o dwóch stabilnych stanach zmieniających pod wpływem stanu jednego lub kilku wejść. Norma definiuje dwa elementy bistabilne:

- przerzutnik z dominującym wejściem ustawiającym **SR** (ang. Set Reset) i
- przerzutnik z dominującym wejściem zerującym **RS** (ang. Reset Set).

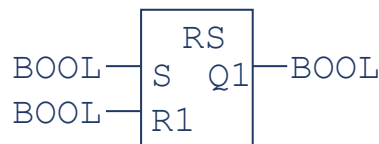
Przerzutnik SR



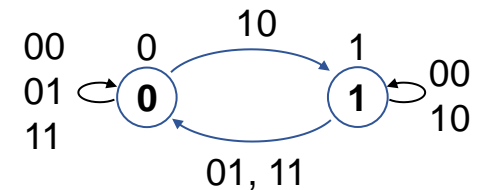
S1 – dominujące wejście ustawiające
R – wejście zerujące
Q1 – wyjście



Przerzutnik RS










S – wejście ustawiające
R1 – dominujące wejście zerujące
Q1 – wyjście



PLC – język schematów drabinkowych LD



Język schematów drabinkowych LD jest odpowiednikiem schematów obwodowych, (drabinkowych) układów realizowanych w technologii stykowo – przekaźnikowej.

Elementy języka	OPIS
	szyny prądowe lewa i prawa ograniczają obwód języka LD, lewa szyna musi być narysowana, prawa może być pomijana
	szyny są „pod napięciem” – prąd przepływa w obwodzie od szyny lewej do prawej, stan lewej szyny jest interpretowany jako ON co odpowiada wartości zmiennej boolowskiej 1 (TRUE), stan prawej szyny nie jest definiowany
	połączenie poziome przesyła stan elementu znajdującego się po lewej stronie połączenia na jego prawą stronę
	połączenie pionowe rysowane jest w postaci linii pionowej z dołączonym jednym lub kilkoma połączeniami poziomymi realizuje logiczną alternatywę (OR) sygnałów poziomych znajdujących się po lewej stronie połączenia i ustawia jej wartość w połączeniach poziomych po prawej stronie
	styk zwierny (normalnie otwarty) i rozwierny (normalnie zamknięty), stan styku zwiernego jest określany jako 1 gdy skojarzona z nim zmienna ma wartość 1 (w przeciwnym przypadku stan jest równy 0), stan styku rozwiernego określany jest odwrotnie
	styki realizują logiczną koniunkcję (AND) sygnału z połączenia poziomego po lewej stronie ze stanem samego styku, wynik ustawiają w połączeniu poziomym po prawej stronie
	cewka, skojarzona z cewką zmienna dostaje wartość odpowiadającą stanowi połączenia po jej lewej stronie

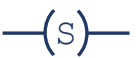
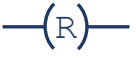
PLC – język schematów drabinkowych LD

Styki impulsowe


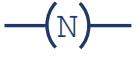
połączenie poziome po prawej stronie styku ma wartość 1 tylko w jednym cyklu programowym sterownika gdy połączenie po lewej stronie styku i sam styk mają wartość 1

	styk impulsowy wrażliwy na zbocze narastające, stan styku jest określany jako 1 gdy skojarzona z nim zmienna zmienia wartość z 0 na 1 (w przeciwnym razie stan jest równy 0)
	styk impulsowy wrażliwy na zbocze opadające, stan styku jest określany jako 1 gdy skojarzona z nim zmienna zmienia wartość z 1 na 0 (w przeciwnym razie stan jest równy 0)

Cewki zatrzaskiwane

	cewka ustawiająca, skojarzona z cewką zmienna dostaje wartość 1 jeżeli połączenie z jej lewej strony jest w stanie 1, zmienna jest zerowana po uaktywnieniu cewki kasującej
	cewka kasująca, skojarzona z cewką zmienna dostaje wartość 0 jeżeli połączenie z jej lewej strony jest w stanie 1, zmienna jest ustawiana po uaktywnieniu cewki ustawiającej

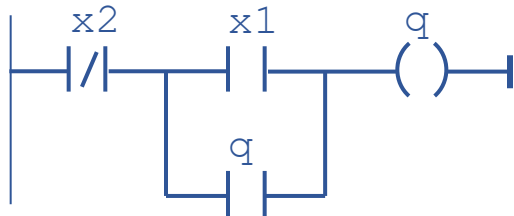
Cewki impulsowe

	cewka wrażliwa na zbocze narastające, skojarzona z cewką zmienna dostaje wartość 1 na czas jednego cyklu jeżeli na połączeniu z jej lewej strony pojawiło się zbocze narastające
	cewka wrażliwa na zbocze opadające, skojarzona z cewką zmienna dostaje wartość 1 na czas jednego cyklu jeżeli na połączeniu z jej lewej strony pojawiło się zbocze opadające

Kolejne szczeble drabiny języka LD przetwarzane są od góry do dołu, a pojedynczy obwód od strony

Układ 2 – LD

```
VAR
  x1 AT %IX1.1: BOOL;
  x2 AT %IX1.2: BOOL;
  q  AT %QX2.1: BOOL;
END_VAR
```



funkcja przejść

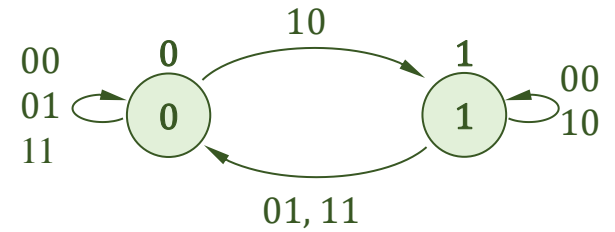
$$Q = \bar{x}_2(x_1 + q)$$

funkcja wyjść

$$y = q$$

Układ 2 – przerzutniki

Warunki pracy	
włączenie	$x_1 \cdot \bar{x}_2$
wyłączenie	x_2



VAR

```

x1 AT %IX1.1: BOOL;
x2 AT %IX1.2: BOOL;
y AT %QX2.1: BOOL;
p: RS;
  
```

END_VAR

