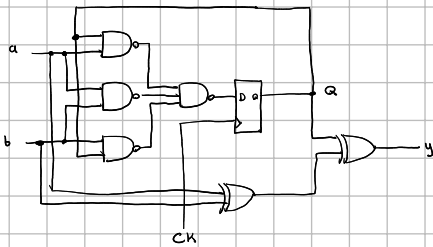


## Automaty asynchroniczne

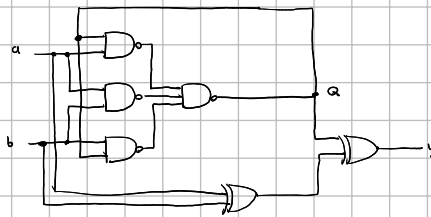
W automacie musi być sprzężenie zwrotne,  
nie musi być przesuwnika

Zaletą automatu synchronicznego jest natychmiastowa reakcja bez czekania na zegar  
ale pojawiają przy tym nowe problemy.

Synchroniczny



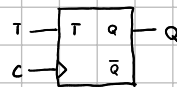
Asynchroniczny



## Przykład projektu automatu asynchronicznego

asynchroniczny przesuwnik T

aktywowany narastającym zboczem sygnału zegarowego



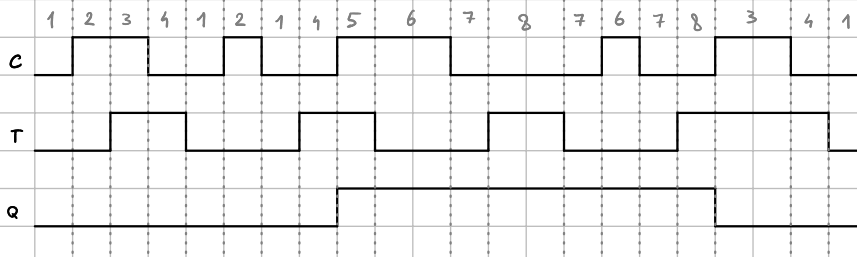
Dwa sygnały nigdy nie mogą się zmienić w tym samym momencie

- układy synchroniczne nie są czułe na szybkie zmiany sygnałów
- układy asynchroniczne reagują na szybkie zmiany sygnałów

Stan - przedział czasu, kiedy automat jest w stabilnej sytuacji  
(między pionowymi kreskami na wykresie czasowym)

## Wykres czasowy

pozwala na precyzyjne opisanie działania układu



Przejście od wykresu czasowego do tabeli prawdy  
(zawsze automat typu Moore'a)

CT	00	01	11	10	Q
1	①	4	-	2	0
2	1	-	3	②	0
3	-	4	③	2	0
4	1	④	5	-	0
5	-	8	⑤	6	1
6	7	-	5	⑥	1
7	⑦	8	-	6	1
8	7	⑧	3	-	1

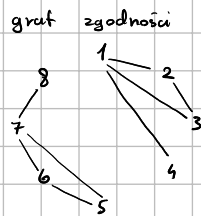
stan stabilny - kołko

zmiana 2 bitów względem stanu  
stabilnego (niecoilive) - kreska

trzeba analizować wykres czasowy dopóki  
nie wypełni się tabeli

# Minimalizacja liczby stanów (uproszczenie)

CT \ S	00	01	11	10	Q
1	① 4	-	2	0	
2	1	-	3 ②	0	
3	-	4	③ 2	0	
4	1	④ 5	-	0	
5	-	8 ⑤	6	1	
6	7	-	5 ⑥	1	
7	⑦ 8	-	6	1	
8	7	⑧ 3	-	1	



przykładowy wybór nowych stanów

A	{1,4}	A	{4}
B	{2,3}	B	{1,2,3}
C	{5,6}	C	{5,6,7}
D	{7,8}	D	{8}

## Minimalna tabela

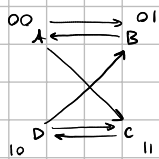
CT \ S	00	01	11	10	Q
A	Ⓐ Ⓐ	C	B	0	
B	A	A	Ⓑ Ⓑ	0	
C	D	D	Ⓒ Ⓒ	1	
D	Ⓓ Ⓓ	B	C	1	

Podstawa do dalszego testowania

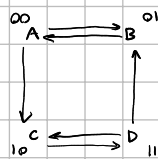
## Kodowanie stanów

Sposób kodowania ma znaczenie

Przy tym kodowaniu automat nie zadziała poprawnie



wyścig krytyczny



dobry kodowanie

kwadrat narysowany tak, żeby wzdłuż przekątnej zmienił się tylko 1 bit

## Najmniejsza funkcja wzbudzeń i realizacja

CT \ Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub>	00	01	11	10	Q
00	⓪ ⓪	10	01	0	
01	00	00	② ②	0	
11	① ①	① ①	01	10	1
10	11	11	③ ③	③ ③	1

zakodowana tabela

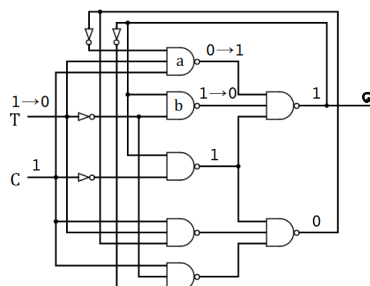
CT \ Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub>	00	01	11	10	Q <sub>1</sub>
00	0	0	1	0	
01	0	0	0	0	
11	1	1	0	1	
10	1	1	1	1	

niepoprawna realizacja

$$Q_1' = Q_1 \bar{C} + Q_1 \bar{T} + \bar{Q}_0 CT$$

$$Q_0' = Q_1 \bar{C} + Q_0 CT + \bar{Q}_1 C \bar{T}$$

$$Q = Q_1$$



Jeśli bramka a przełączy się szybciej niż b to na wyjściu Q pojawi się szpilka - hazard statyczny

Automat może przełączyć się w inny stan

## Likwidacja hazardu

Trzeba zlokalizować w mapach Karnaugh gdzie występuje hazard i dodać nowe implikanty tam, gdzie sąsiadują jednostki różnych implikantów

CT \ Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub>	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	0	0	0	0
11	1	1	0	1
10	1	1	1	1

Q<sub>1</sub><sup>'</sup>

CT \ Q <sub>1</sub> Q <sub>0</sub>	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	0	0	1	1
11	1	1	1	0
10	1	1	0	0

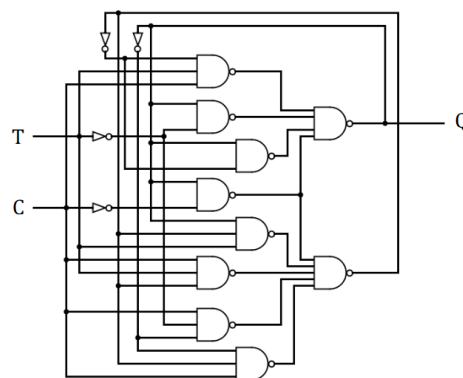
Q<sub>0</sub><sup>'</sup>

$$Q_1' = Q_1\bar{C} + Q_1\bar{T} + \bar{Q}_0CT + Q_1\bar{Q}_0$$

$$Q_0' = Q_1\bar{C} + Q_0CT + \bar{Q}_1C\bar{T} + Q_1Q_0T + \bar{Q}_1Q_0C$$

$$Q = Q_1$$

poprawna realizacja



## Zadania projektu Huffmana

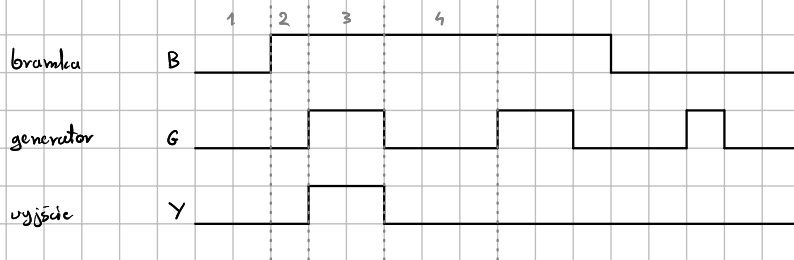
- Zmiana stanu wejść na skutek zmiany tylko jednego sygnału wejściowego
- Następna zmiana na wejściu po czasie T potrzebnym do ustabilizowania się stanu wewnętrznych automatów
- Sygnały sprzężeń zwrotnych mają zmieniać się w dowolnej kolejności
- Opóźnienia układu są związane z liniami sprzężenia zwrotnego

## Algorytm projektowania układów asynchronicznych

1. Sporządzić wykres czasowy lub graf automatu na podstawie opisu słownego
2. Oznaczyć stany na wykresie czasowym lub grafie
3. Utworzyć pierwotną tabelę przejść i wyjść na podstawie wykresu lub grafu
4. Zminimalizować tabelę przejść i wyjść (liczbę stanów)
5. Zakodować stany tak, żeby wyeliminować wyjściowe krytyczne
6. Wybrać typ realizacji i wyznaczyć funkcję sprzężenia zwrotnego lub funkcje wzbudzeń przerzutników
7. Wyeliminować hazard
8. Wyznaczyć testy uruchomieniowe

## Stany na wykresie czasowym

układ przepuszcza pierwszy impuls generatora po otwarciu bramki



Stany 2 i 4 mają identyczny układ wejść i wyjść  
ale nie są inną informacją - nie są jednolite

Może być więcej niż  $2^n$  stanów, bo te same układy  
mogą różnić się znaczeniem

## Tabela pierwotna

- Tabela automatu Moore'a

- 1 stan stabilny w każdym wierszu  
jeśli jest więcej to była niejednoznaczna minimalizacja

- W wierszu są zdefiniowane tylko te przejścia,  
które różnią się 1 bitem ze stanem stabilnym

- W kolumnie, gdzie są zdefiniowane jakieś przejścia  
musi być co najmniej 1 stan stabilny

- W kolumnie mogą być tylko przejścia do stanów,  
które są stabilne w tej kolumnie

ab	00	01	11	10	Y
1	①	4	-	3	0-
2	-	9	②	3	01
3	1	-	2	③	01
4	1	④	7	-	00
5	1	⑤	8	-	0-
6	⑥	5	-	3	10
7	-	4	⑦	3	01
8	-	5	⑧	3	-1
9	6	⑨	2	-	11

W ten sposób można łatwo rozpoznać niepoprawną tabelę

## Minimalizacja liczby stanów

1. Połączenie stanów pseudorównoważnych - warunkowe

2. Połączenie stanów pseudozgodnych - bezwarunkowe

Tabela trójkątna nie musi dać dobrego wyniku

Stany pseudorównoważne

stany zgodne, które mają stan stabilny w tej samej kolumnie

ab	00	01	11	10	Y
1	①	4	-	3	0-
2	-	10	②	3	01
3	1	-	2	③	01
4	1	④	7	-	00
5	1	⑤	9	-	0-
6	⑥	5	-	8	10
7	-	4	⑦	8	01
8	1	-	2	⑧	-1
9	-	5	⑨	3	-1
10	6	⑩	2	-	11

Pseudorównoważne

✓ 4,5 jeśli 7,9

✗ 2,7 jeśli 4,10 i 3,8

✗ 2,9 jeśli 5,10

✓ 7,9 jeśli 4,5 i 3,8

✓ 3,8

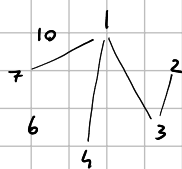
różne wyjścia - nie są zgodne

ab	00	01	11	10	Y
1	①	4	-	3	0-
2	-	10	②	3	01
(3,8)	3	1	-	2	③
(4,5)	4	1	④	7	-
6	⑥	4	-	3	10
(7,9)	7	-	4	⑦	3
10	6	⑩	2	-	11

## Stany pseudozgodne

(po połączeniu stanów pseudorównoważnych)

ab \ S	00	01	11	10	Y
1	①	4	-	3	0-
2	-	10	②	3	01
3	1	-	2	③	01
4	1	④	7	-	00
6	⑥	4	-	3	10
7	-	4	⑦	3	01
10	6	⑩	2	-	11



graf skręcania

ab \ S	00	01	11	10	Y
(1,4) A	Ⓐ	Ⓐ	D	B	00
(2,3) B	A	E	Ⓟ	Ⓟ	01
(6) C	Ⓒ	A	-	B	10
(7) D	-	A	Ⓣ	B	01
(10) E	C	Ⓔ	B	-	11

zminimalizowana tabela przejść i wyjść automatu

## Kodowanie stanów

Kodowanie musi być takie, żeby każda zmiana stanu powodowała zmianę tylko jednego sprzeczniwa zwrótnego

Kiedy zmienia się więcej niż 1 bit "na raz" to występuje wyścig - nie wiadomo który zmieni się pierwszy

00 → 01 → 11 albo 00 → 10 → 11  
 stan pośredni                      stan pośredni

Wyścig krytyczny - jeden ze stanów pośrednich jest stabilny musi zostać usunięty z układu

Wyścig niekrytyczny - żaden ze stanów pośrednich nie jest stabilny nie trzeba ich usuwać  
 w kolumnie tabeli jest tylko 1 stan stabilny

## Usuwanie wyścigu

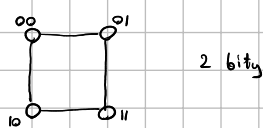
Zapewnienie, że każde przejście w tabeli zmienia tylko 1 bit stanu automatu

- Inne rozmieszczenie stanów (zmiana kodowania)
- Przejścia cykliczne (przez istniejący stan)
- Dodanie nowych stanów

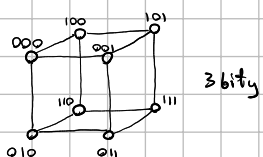
## Hipersześcian

Wizualizacja pomaga sprawdzić czy kodowanie jest poprawne.

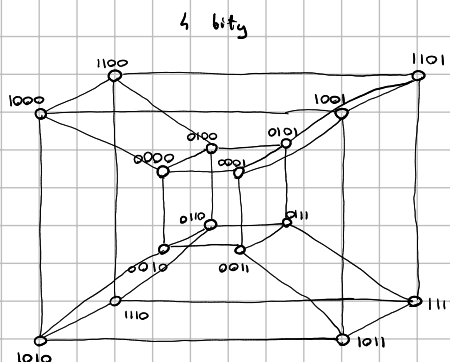
Poprawne kodowanie - wszystkie przejścia są wzdłuż krawędzi (wierzchołki jednej krawędzi różnią się jednym bitem)



2 bity

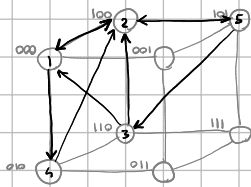


3 bity



4 bity

## Przykładowy wybór kodowania

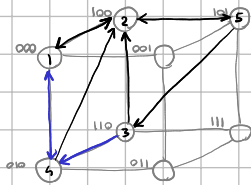


ab					
	00	01	11	10	Y
1	①	①	4	2	00
2	1	5	②	②	01
3	③	1	-	2	10
4	-	1	④	2	01
5	3	⑤	2	-	11

### Wyjścia

$3 \rightarrow 1$  krytyczny  
 $4 \rightarrow 2$  niekrytyczny (1 stan stabilny w 4 kolumnie)  
 $5 \rightarrow 3$  krytyczny

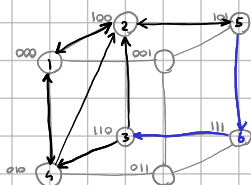
## Przejście cykliczne



ab					
	00	01	11	10	Y
1	①	①	4	2	00
2	1	5	②	②	01
3	③	4	-	2	10
4	-	1	④	2	01
5	3	⑤	2	-	11

Przejście  $3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  zamiast  $3 \rightarrow 1$   
 na wyjściu powstanie szpilka

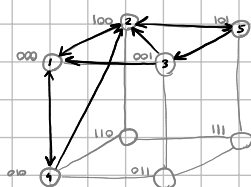
## Dodanie nowych stanów



ab					
	00	01	11	10	Y
1	①	①	4	2	00
2	1	5	②	②	01
3	③	4	-	2	10
4	-	1	④	2	01
5	6	⑤	2	-	11
6	3	-	-	-	11

Przejście  $5 \rightarrow 6 \rightarrow 3$  zamiast  $5 \rightarrow 3$   
 wyjście jest tak dobrane, żeby nie było szpilki

## Zmiana ułożenia stanów



ab					
	00	01	11	10	Y
1	①	①	4	2	00
2	1	5	②	②	01
3	③	1	-	2	10
4	-	1	④	2	01
5	3	⑤	2	-	11

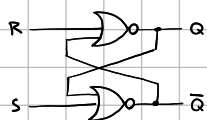
### Wyjścia

$3 \rightarrow 2$  niekrytyczny  
 $4 \rightarrow 2$  niekrytyczny  
 (oba wyjścia są w czarnej kolumnie)

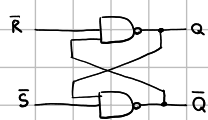
## Realizacja

- Sprzężenia zwrotne  
zakodowana tabela jest jednocześnie funkcją uzbudzeń
- Asynchroniczne przerzutniki (Latch)

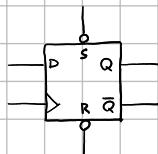
RS



$\overline{R}\overline{S}$



D z asynchronicznym  
ustawianiem i zerowaniem



Przerzutnik  $\overline{R}\overline{S}$

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	$\overline{S}$	$\overline{R}$
0 - 0	1	-
0 - 1	0	1
1 - 0	1	0
1 - 1	-	1

$\overline{S}$

- 0 dla pogrubionych jedynek
- 1 dla zer
- dla niepogrubionych jedynek

$\overline{R}$

- 0 dla pogrubionych zer
- 1 dla jedynek
- dla niepogrubionych zer

Realizacja na przerzutnikach  $\overline{R}\overline{S}$

ab	00	01	11	10	Y
1 000	000	000	010	100	00
3 001	001	000	-	100	10
011	-	-	-	-	-
4 010	-	000	010	100	01
110	-	-	-	-	-
111	-	-	-	-	-
5 101	001	101	100	-	11
2 100	000	101	100	100	01

ab	00	01	11	10
1 000	111	111	101	011
3 001	11-	111	-	011
011	-	-	-	-
4 010	-	111	1-1	011
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
5 101	11-	1-1	11-	-
2 100	111	10-	11-	11-

$\overline{S}_2 \overline{S}_1 \overline{S}_0$

ab	00	01	11	10
1 000	---	---	1-	1--
3 001	--1	--0	-	1-0
011	-	-	-	-
4 010	-	0-	1-	10-
110	-	-	-	-
111	-	-	-	-
5 101	0-1	1-1	1-0	-
2 100	0--	1-1	1--	1--

$\overline{R}_2 \overline{R}_1 \overline{R}_0$

$$\overline{S}_2 = \overline{a} + b$$

$$\overline{S}_1 = \overline{a} + \overline{b} + Q_2$$

$$\overline{S}_0 = a + \overline{b} + \overline{Q}_2$$

$$\overline{R}_2 = a + b$$

$$\overline{R}_1 = ab$$

$$\overline{R}_0 = \overline{a}\overline{b} + \overline{a}Q_2$$

$$y_1 = Q_0$$

$$y_0 = Q_2 + Q_1$$

Nic mu hazardów ale mogłyby być

Realizacja na sprzężeniach zwrotnych

ab	00	01	11	10	Y
1 000	000	000	010	100	00
3 001	001	000	-	100	10
011	-	-	-	-	-
4 010	-	000	010	100	01
110	-	-	-	-	-
111	-	-	-	-	-
5 101	001	101	100	-	11
2 100	000	101	100	100	01

$$Q_2' = \overline{a}\overline{b} + bQ_2 + aQ_2$$

$$Q_1' = ab\overline{a}_2$$

$$Q_0' = \overline{a}\overline{b}Q_0 + \overline{a}bQ_2 + aQ_2Q_0$$

$$y_1 = Q_0$$

$$y_0 = Q_2 + Q_1$$

Niezależnie od sposobu realizacji,  
na końcu trzeba wyeliminować hazard

## Testowanie automatu

- Sprawdzenie wszystkich przejść z tabeli
- Sprawdzenie czy wykonuje założone funkcje

Do tego przelicza się zakodowaną tabelę przejść i wyjść z zaznaczonymi stanami stabilnymi

## Szpilki na wyjściu automatu

Nie są w porządku kiedy wyjście steruje innym automatem asynchronicznym (wrażliwym na szpilki)

Są, ale kiedy wyjście steruje układem kombinacyjnym albo synchronicznym (nieczułym na szpilki)