

Architektura Systemów Komputerów

Laboratoria

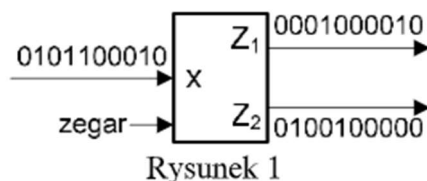
Sprawozdanie z układów logicznych	Rok 2021
1.Nazwisko i imię – sprawozdanie pierwsze: Wiktor Sadowy (260373) Filip Strózik (260377)	Ćwiczenie nr: 5
2.Nazwisko i imię – sprawozdanie drugie: Wiktor Sadowy (260373) Filip Strózik (260377)	Temat ćwiczenia: Synteza układu synchronicznego
Grupa laboratoryjna nr (u prowadzącego): Z01-45i	Dzień tygodnia: Piątek
Płyta montażowa nr (z tyłu nadajnika):	Godziny zajęć (od-do): 17:05-18:45

Spis treści

1. Cel zadania.....	3
2. Wstęp (zagadnienia do samodzielnego opracowania).....	3
3. Czym jest automat Moore’a	5
4. Czym jest automat Mealy’ego	5
5. Wizualizacja różnicy pomiędzy automatem Moore’a a Mealy’ego	6
6. Zastosowanie automatu Moore’a oraz Mealy’ego	6
7. Synteza układu za pomocą automatu Moore’a	7
8. Synteza układu za pomocą automatu Mealy’ego	14
9. Porównanie układu Moore’a i Mealy’ego	21
10. Wnioski.....	23
11. Spis użytych układów.	23
12. Bibliografia oraz link do układów:	26

1. Cel zadania

Naszym celem jest zaprojektowanie układu synchronicznego o jednym wejściu x i dwóch wyjściach Z_1 oraz Z_2 . Układ ma działać w następujący sposób: pierwsza jedynka napotkana w sekwencji wyjściowej generuje $Z_1=1$, druga jedynka $Z_2=1$, trzecia $Z_1=1$ itd. Innymi słowy układ ma działać jak rozdzielacz jedynek gdzie jedynki nieparzyste są na wyjściu Z_1 , a jedynki parzyste na wyjściu Z_2 .

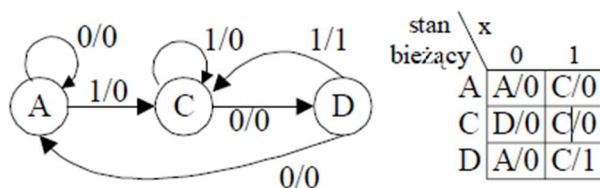


Naszym celem jest realizacja powyższego układu używając układu Moore'a i przerzutników typu D, a potem używając układu Mealy'ego oraz przerzutników typu JK, przeprowadzenie dla danych podanych na rysunku (ciąg „0100011010”) i porównać oba uzyskane układy.

2. Wstęp (zagadnienia do samodzielnego opracowania)

Zanim przystąpimy do konstrukcji układu zdefiniujemy podstawowe pojęcia z których będziemy korzystać.

- a) Różnica między analizą a syntezą układu synchronicznego – proces syntezy układu synchronicznego przebiega w kierunku odwrotnym w stosunku do analizy. Zamiast zaczynać na schemacie logicznym układu i kończyć na tablicy przejść-wyjść syntezy układu zaczynamy od tablicy przejść-wyjść układu, którego będziemy używać do konstrukcji końcowego układu np. układu Moore'a lub Mealy'ego, a kończymy na zbudowaniu schematu logicznego końcowego układu. Etapy syntezy możemy przedstawić następująco:
 1. Specyfikacja problemu (opis słowny, wykres czasowy, graf stanów)
 2. Utworzenie tablicy stanów i przejść (z ewentualną zmianą układu Mealy'ego w Moore'a lub odwrotnie)
 3. Minimalizacja liczby wierszy tablicy stanów-wyjść
 4. Kodowanie tablicy stanów
 5. Określenie funkcji wzbudzeń przerzutników i funkcji wyjść
 6. Narysowanie układu i jego konstrukcja
- b) Graf stanów-wyjść – jest to graf, który ilustruje tablicę stanów-wyjść. Jego zadaniem jest pokazanie przejść pomiędzy stanami w zależności od stanu na wejściu oraz pokazanie jaki stan będzie na wyjściu całego układu. Poniżej jest przykładowe zobrazowanie grafu stanów-wyjść oraz odpowiadającej tablicy stanów-wyjść, który pozwala na stworzenie układu, który wykrywa sekwencję „101” na wejściu (A – stan początkowy, C – stan po wykryciu pierwszej jedynki w sekwencji, D – stan po wykryciu sekwencji „10”).



- c) Kodowanie stanów – kodowaniem stanów nazywamy wzajemnie jednoznaczne przyporządkowanie symbolicznym stanom układu sekwencyjnego liczb binarnych (kodów

stanów). W tym zadaniu będziemy kodować stany na przerzutnikach, aby móc je potem wykorzystać do realizacji polecenia

- d) Tablica przejść-wyjść – tablica opisująca zachowanie układu synchronicznego. Podajemy w niej poprzednie stany przerzutnika, stany na wejściach oraz stany na wyjściach. Poniżej jest pokazana przykładowa tablica przejść-wyjść dla układu Moore’a, którego zadaniem jest wykrywanie sekwencji „101” na wejściu

b)

$y_1^t y_2^t$		x^t		Z^t
		0	1	
$B_1=00$		00	10	0
$B_2=01$		11	10	1
$B_4=11$		00	01	0
$B_3=10$		11	10	0

$y_1^{t+1} y_2^{t+1}$

układ Moore'a

- e) Funkcje wzbudzeń – zależności między wartościami sygnałów wzbudzających, a stanem przerzutnika po podaniu sygnału taktującego. Można powiedzieć, że funkcja wzbudzeń przedstawia związek pomiędzy stanem wyjścia przerzutnika, a poprzednim stanem na wyjściu oraz stanem na wejściu. Poniżej została pokazana tabela wzbudzeń dla przerzutnika typu JK

$y^t \rightarrow y^{t+1}$	$J^t K^t$
0 \rightarrow 0	0 —
0 \rightarrow 1	1 —
1 \rightarrow 0	— 1
1 \rightarrow 1	— 0

przerzutnik JK, — $\in \{0,1\}$

- f) Układ wyjść – tablica wyjść pokazuje nam zależność stanu na wyjściu od poprzedniego stanu układu. Poniższa tabela reprezentuje tablicę wyjść dla układu Moore’a, którego stan na wyjściach zależy od poprzedniego stanu układu

b)

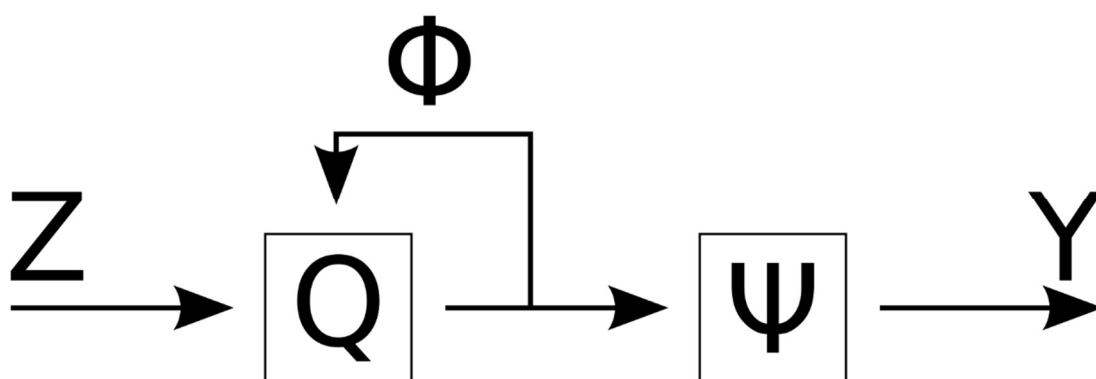
$y_1 y_2$	Z
0 0	0
0 1	—
1 1	0
1 0	1

3. Czym jest automat Moore'a

Automat Moore'a jest układem, którego stan na wyjściu zależy tylko i wyłącznie od stanu wewnętrznego automatu. Formalnie definiujemy automat Moore'a jako rodzaj deterministycznego automatu skończonego, który jest reprezentowany przez następującą szóstkę $\langle Z, Q, Y, \phi, \psi, q_0 \rangle$ gdzie:

1. $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – zbiór możliwych stanów na wejściu układu
2. $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – zbiór możliwych stanów wewnętrznych układu
3. $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – zbiór możliwych stanów na wyjściu układu
4. ϕ – funkcja przejść (można ją opisać następująco: $q(t+1) = \phi[q(t), z(t)]$)
5. ψ – funkcja wyjść (można ją opisać następująco: $y(t) = \psi[q(t)]$). Należy zauważyć, że stan na wyjściu jest zależny tylko i wyłącznie od stanu wewnętrznego układu.
6. q_0 – stan początkowy. Ważne, żeby q_0 należało do zbioru Q

Powyższa szóstka sprowadza się do następującego schematu reprezentującego działanie automatu Moore'a



Rysunek 1. Schemat reprezentujący działanie automatu Moore'a

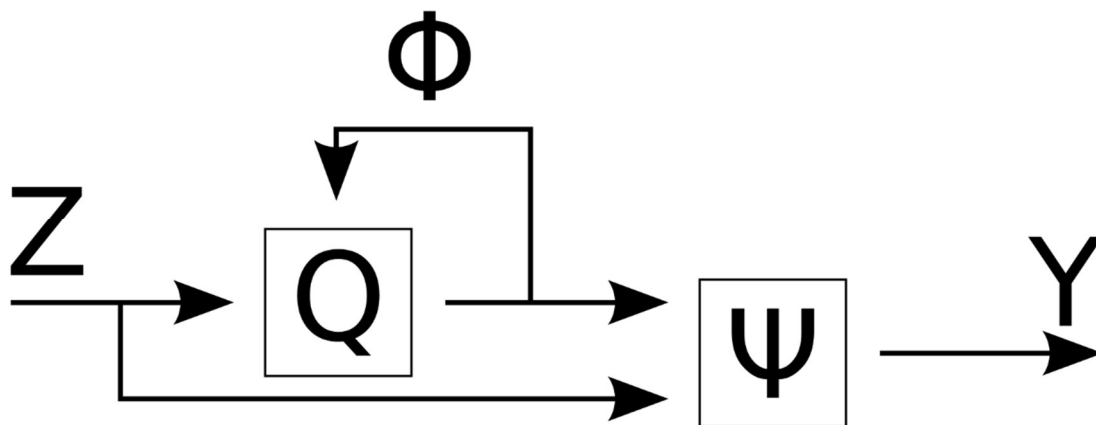
Działanie automatu Moore'a przedstawia się za pomocą tablicy przejść-wyjść lub grafu stanów-wyjść.

4. Czym jest automat Mealy'ego

Automat Mealy'ego działa w bardzo zbliżony sposób jak automat Moore'a. Główną różnicą jest to, że w automacie Mealy'ego stan na wyjściu nie zależy tylko od stanu wewnętrznego układu, ale też od stanu na wejściu układu. Podobnie jak automat Moore'a, automat Mealy'ego formalnie definiujemy jako rodzaj deterministycznego automatu skończonego, który jest reprezentowany przez następującą szóstkę $\langle Z, Q, Y, \phi, \psi, q_0 \rangle$ gdzie:

1. $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – zbiór możliwych stanów na wejściu układu
2. $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – zbiór możliwych stanów wewnętrznych układu
3. $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – zbiór możliwych stanów na wyjściu układu
4. ϕ – funkcja przejść (można ją opisać następująco: $q(t+1) = \phi[q(t), z(t)]$)
5. ψ – funkcja wyjść (można ją opisać następująco: $y(t) = \psi[q(t), z(t)]$). Jak możemy zauważyć stan na wyjściu jest równy stanowi wewnętrznemu układu oraz stanowi na wejściu układu
6. q_0 – stan początkowy. Ważne, żeby q_0 należało do zbioru Q

Powyższa szóstka sprowadza się do następującego schematu pokazującego działanie automatu Mealy'ego



Rysunek 2. Schemat reprezentujący działania automatu Mealy'ego

Działanie automatu Mealy'ego możemy przedstawić za pomocą odpowiedniej tabeli przejść-wyjść lub grafu stanów-wyjść.

5. Wizualizacja różnicy pomiędzy automatem Moore'a a Mealy'ego

Jak już ustaliliśmy główna różnica pomiędzy automatem Moore'a a automatem Mealy'ego jest taka, że stan na wyjściu automatu Moore'a zależy tylko od stanu wewnętrznego układu, a na wyjściu automatu Mealy'ego od stanu wewnętrznego układu oraz stanu na wejściu. Ta różnica wymaga kompletnie innej konstrukcji układu wykonującego określone zadanie co obrazują poniższe tabele przejść-wyjść układu rozpoznającego sekwencję „101” na wejściu.

a)

$y_1^t y_2^t \backslash x^t$	0	1
A=00	00/0	01/0
C=01	10/0	01/0
—	—	—
D=10	00/0	01/1

$y_1^{t+1} y_2^{t+1} / Z^t$

układ Mealy'ego

b)

$y_1^t y_2^t \backslash x^t$	0	1	Z^t
$B_1=00$	00	10	0
$B_2=01$	11	10	1
$B_4=11$	00	01	0
$B_3=10$	11	10	0

$y_1^{t+1} y_2^{t+1}$

układ Moore'a

Tabela 1. Tabele przejść-wyjść układu rozpoznającego sekwencję „101”

6. Zastosowanie automatu Moore'a oraz Mealy'ego

Korzystając z automatów Moore'a oraz Mealy'ego możemy zautomatyzować wiele procesów. W tym zadaniu będziemy automatyzować proces rozdzielania jedynek parzystych i nieparzystych. Można ten proces porównać do rozdzielania poszczególnych sygnałów. Należy zauważyć, że automatów Moore'a i Mealy'ego nie używa się tylko do prostych zadań, ale też do konstrukcji bardziej zaawansowanych urządzeń np. automaty Moore'a możemy bardzo często spotkać w następujących urządzeniach:

- Urządzenie do wykrywania krawędzi – często korzysta się tu z bramek XOR
- Urządzenie do dodawania liczb binarnych

Natomiast automaty Mealy'ego najczęściej spotkamy w:

- a) W urządzeniach do wykrywania sekwencji tzw. „pattern search”
- b) Zegarach z minutnikiem
- c) Automatach ze słodyczami
- d) Sygnalizacji świetlnej
- e) Czytnikach kodów kreskowych

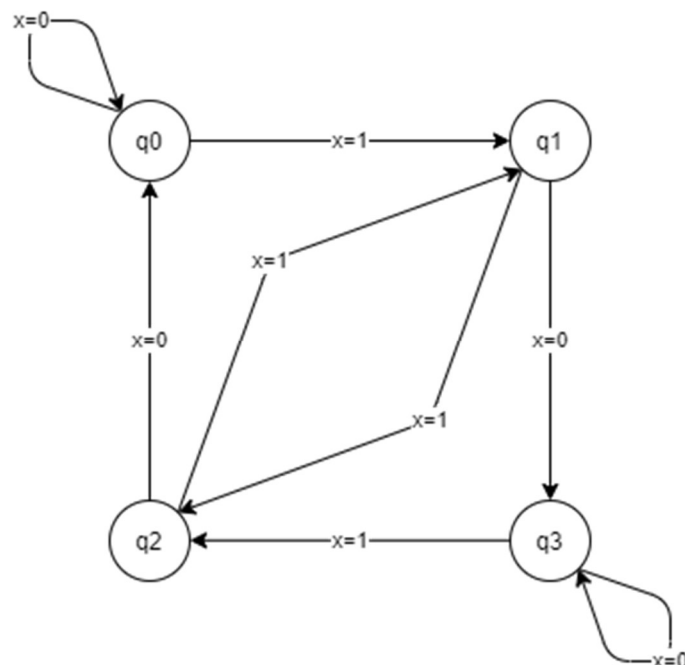
Nie możemy zapomnieć, że istnieją metody konwersji z układu Moore'a na Mealy'ego i odwrotnie, więc realizacja powyższe urządzenia można zrealizować korzystając z dowolnego automatu.

7. Synteza układu za pomocą automatu Moore'a

Korzystając z opisu tekstowego tworzymy graf stanów układu Moore'a. Zanim jednak to zrobimy zdefiniujemy jakie stany będzie mieć nasz układ, których użyjemy potem do konstrukcji odpowiedniego grafu:

1. q0 – stan, kiedy pojawi się zero na wejściu, po stanie q2. Na każdym z wyjść będzie wówczas stan niski. Jest to stan początkowy
2. q1 – stan kiedy pojawi się nieparzysta jedynka na wejściu. Na wyjściu pokazującym jedynki nieparzyste (Z1) będzie stan wysoki, a na wyjściu pokazującym jedynki parzyste (Z2) będzie stan niski
3. q2 – stan kiedy pojawi się parzysta jedynka na wejściu. Na wyjściu Z1 będzie stan niski, a na wyjściu Z2 stan wysoki.
4. q3 – stan kiedy pojawi się zero na wejściu, po stanie q1. Na każdym z wyjść będzie wówczas stan niski.

Korzystając z powyższego opisu stanów układu tworzymy graf stanów.



Rysunek 3. Graf stanów układu Moore'a

Korzystając z utworzonego grafu oraz opisu stanów tworzymy tablicę stanów oraz tablicę wyjść naszego układu:

Stan układu \ X	0	1
q0	q0	q1
q1	q3	q2
q2	q0	q1
q3	q3	q2

Tabela 2. Tablica przejść układu Moore'a

Stan układu	WYJŚCIA	
	Z1	Z2
q0	0	0
q1	1	0
q2	0	1
q3	0	0

Tabela 3. Tablica wyjść układu Moore'a

Należy zauważyć, że nie musimy minimalizować powyższych tablic gdyż nie ma żadnych stanów równoważnych.

Zauważmy, że podczas zadania będziemy korzystać z przerzutników typu D. Poniższa tabela przejść ułatwi nam stworzenie układu składającego się z przerzutników typu D

$Q(t)$	$Q(t+1)$	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Tabela 4. Tabela przejść przerzutnika typu D

Zauważmy, że musimy stworzyć układ, który będzie w stanie zapamiętać w jakim z 4 stanów układu jesteśmy. Analizując działanie przerzutnika typu D możemy wywnioskować, że każdy z przerzutników typu D jest w stanie zapamiętać dwa stany, więc jeżeli chcemy zapamiętać 4 stany musimy użyć dwóch przerzutników typu D.

Korzystając z ustalonej liczby przerzutników typu D zaczynamy kodować stany (Q_1 oraz Q_2 to stany na przerzutnikach).

Stan układu	Q_2	Q_1
q0	0	0
q1	0	1
q2	1	0
q3	1	1

Tabela 5. Kodowanie stanów układu Moore'a

Bazując na wiedzy na temat użytych przerzutników konstruujemy tabelę przejść i wzbudzeń.

$x(t)$	$Q_2(t)$	$Q_1(t)$	$Q_2(t+1)$	$Q_1(t+1)$	D_2	D_1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	1

1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	1	0	1

Tabela 6. Tabela przejść-wzbudzeń układu Moore'a

Naszym następnym krokiem będzie utworzenie tabeli funkcji wzbudzających wejścia przerzutników oraz ich minimalizacja tak, żeby móc potem użyć tego do stworzenia funkcji wyjść

Dla przerzutnika D_1 funkcja wzbudzająca wejścia wygląda następująco:

$D_1 = f(Q_2 Q_1, x)$			
$Q_2 Q_1$	x	0	1
00		0	1
01		1	0
11		1	0
10		0	1

Tabela 7. Tabela funkcji wzbudzającej wejścia pierwszego przerzutnika

$$D_1 = \bar{x}Q_1 + x\bar{Q}_1 = \overline{\bar{x}\bar{Q}_1 \cdot xQ_1}$$

Dla przerzutnika D_2 :

$D_2 = f(Q_2 Q_1, x)$			
$Q_2 Q_1$	x	0	1
00		0	0
01		1	1
11		1	1
10		0	0

Tabela 8. Tabela funkcji wzbudzającej wejścia drugiego przerzutnika

$$D_2 = Q_1$$

Na samym końcu musimy ustalić funkcję wyjścia dla każdego z wyjść tak aby realizowały one układ.

Dla wyjścia Z_1 mamy następującą funkcję wyjścia:

$Q_2 Q_1$	Z_1
00	0
01	1
11	0
10	0

Tabela 9. Funkcja wyjścia dla pierwszego wyjścia układu Moore'a

$$Z_1 = \overline{Q_2} + \bar{Q}_1$$

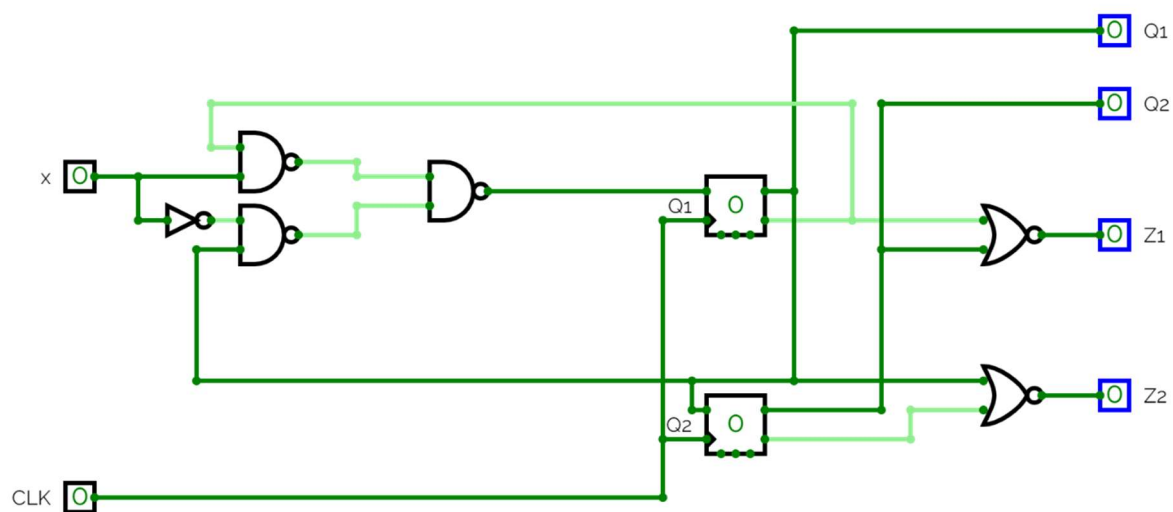
Dla wyjścia Z_2 :

$Q_2 Q_1$	Z_2
00	0
01	0
11	0
10	1

Tabela 10. Funkcja wyjścia dla drugiego wyjścia układu Moore'a

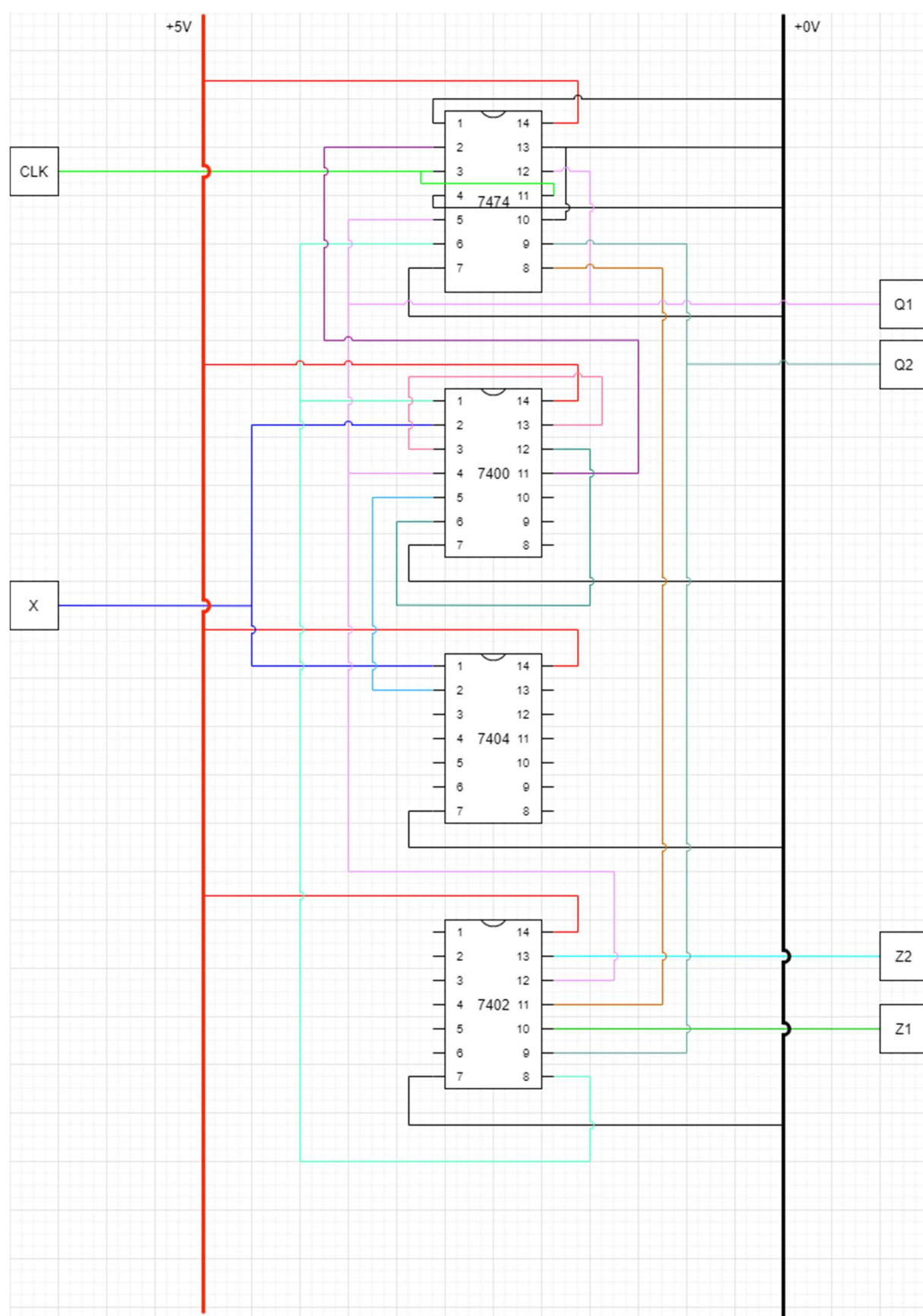
$$Z_2 = \overline{\overline{Q_2} + Q_1}$$

Używając funkcji wyjść oraz tabel funkcji wzbudzających wejścia przerzutników tworzymy schemat logiczny naszego układu



Rysunek 4. Schemat logiczny układu Moore'a

Schemat podłączenia układu:



Rysunek 5. Schemat podłączenia układu Moore'a

Celem pokazania, że układ działa dobrze tworzymy tabelę obserwacji oraz diagramy sekwencji.

	WEJŚCIA		WYJŚCIA NA PRZERZUTNIKACH		WYJŚCIA	
lp.	CLK	X	Q1	Q2	Z1	Z2
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0
5	1	1	1	0	1	0
6	0	1	1	0	1	0
7	0	0	1	0	1	0
8	1	0	1	1	0	0
9	0	0	1	1	0	0
10	1	0	1	1	0	0
11	0	0	1	1	0	0
12	1	0	1	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0
14	0	1	1	1	0	0
15	1	1	0	1	0	1
16	0	1	0	1	0	1
17	1	1	1	0	1	0
18	0	1	1	0	1	0
19	0	0	1	0	1	0
20	1	0	1	1	0	0
21	0	0	1	1	0	0
22	0	1	1	1	0	0
23	1	1	0	1	0	1
24	0	1	0	1	0	1
25	0	0	0	1	0	1
26	1	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0

Tabela 11. Tabela obserwacji dla układu Moore'a

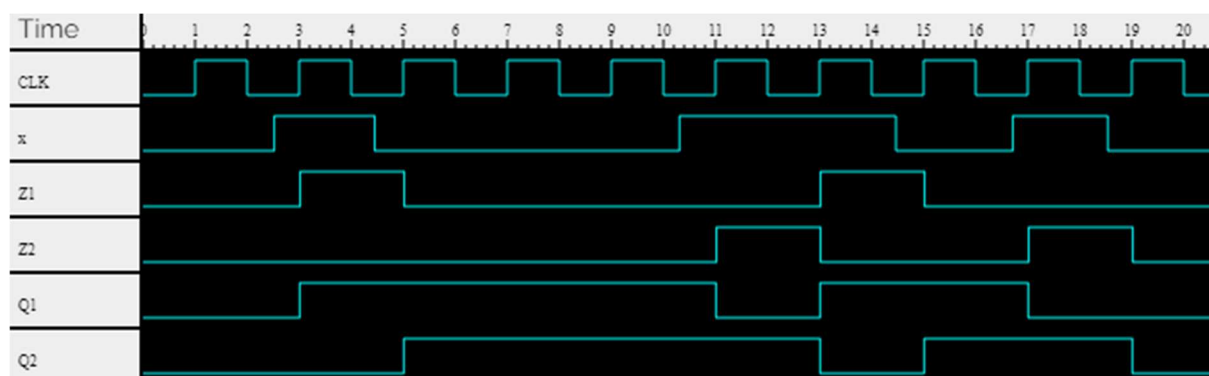


Tabela 12. Diagram sekwencji dla ciągu „0100011010” dla układu Moore'a

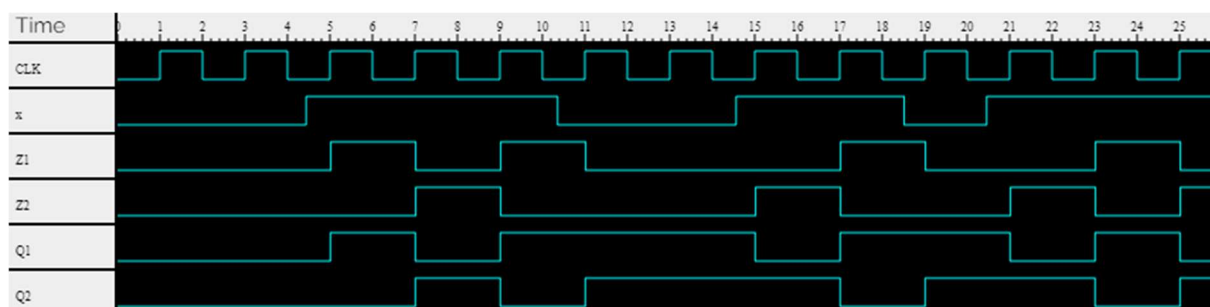


Tabela 13. Diagram sekwencji dla ciągu „0011100110111” dla układu Moore’a

Na podstawie tabeli obserwacji (tabela 11) oraz korzystając z tabeli pokazującej kodowania stanów (tabela 5) jesteśmy w stanie stworzyć tabelę przejść i tabelę wyjść naszego układu.

Stan układu \ X	0	1
q0	q0	q1
q1	q3	q2
q2	q0	q1
q3	q3	q2

Tabela 14. Tablica przejść zbudowanego układu

Stan układu	WYJŚCIA	
	Z1	Z2
q0	0	0
q1	1	0
q2	0	1
q3	0	0

Tabela 15. Tablica wyjść zbudowanego układu

Przeprowadzamy też eksperyment zgodnie z treścią zakładamy (zakładamy, że takt zegara jest równy przejściu stanu zegara ze stanu niskiego na stan wysoki a potem niski, a gdy zegar jest w stanie wysokim to taktem jest przejście tego zegaru na stan niski) pomijając stany na wyjściach przerzutników (w treści zadania są podane tylko stany na wyjściach układu)

czas	t ₉	t ₈	t ₇	t ₆	t ₅	t ₄	t ₃	t ₂	t ₁	t ₀
X	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Q1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
Q2	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
Z1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Z2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

Tabela 16. Wyniki eksperymentu zbudowanego układu

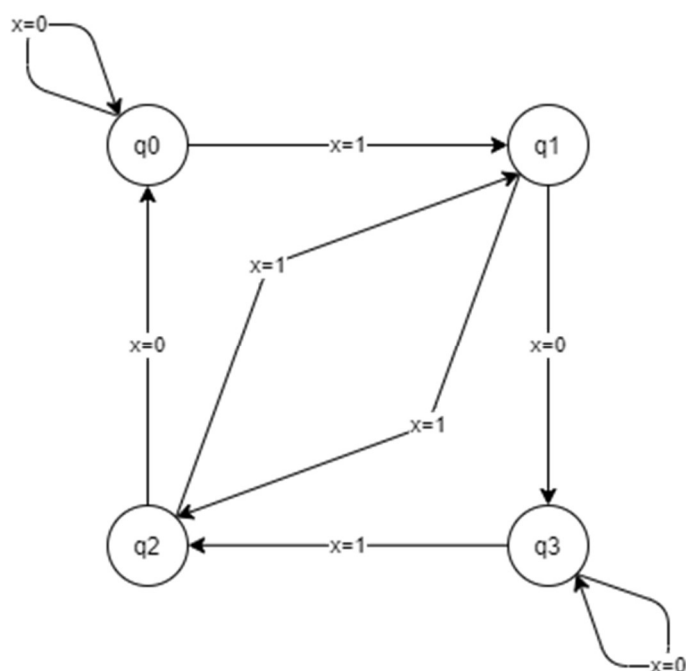
Wyniki eksperymentu (tabela 16) zgadzają się z wynikami podanymi w treści zadania oraz z przyjętym przez nas opisem stanów układu (rysunek 3 oraz tabela 5). Dodatkowo tablica przejść (tabela 14) i tablica wyjść (tabela 15) zgadzają się odpowiednio z zaproponowaną tabelą przejść (tabela 2) oraz tabelą wyjść (tabela 3). To potwierdza, że nasz układ działa zgodnie z założeniami podanymi w treści zadania.

Analizując tabelę obserwacji oraz diagramy sekwencji nie zauważymy niczego niepokojącego.

8. Synteza układu za pomocą automatu Mealy'ego

Zauważmy, że układ Mealy'ego można zrealizować podobnie jak układ Moore'a. Stany układu definiujemy podobnie jak w układzie Moore'a czyli:

1. q_0 – stan, kiedy pojawi się zero na wejściu, po stanie q_2 . W momencie gdy na wejściu pojawi się stan wysoki na wyjściu wykrywającym jedynki nieparzyste (Z1) będzie stan wysoki, a gdy na wyjściu pokazującym jedynki parzyste (Z2) stan niski. Jest to stan początkowy
2. q_1 – stan kiedy pojawi się nieparzysta jedynka na wejściu.
3. q_2 – stan kiedy pojawi się parzysta jedynka na wejściu.
4. q_3 – stan kiedy pojawi się zero na wejściu, po stanie q_1 . W momencie gdy na wejściu pojawi się stan wysoki to na wyjściu Z1 będzie stan niski, a na wyjściu Z2 stan wysoki.



Rysunek 6. Graf stanów układu Mealy'ego

Korzystając z powyższego grafu tworzymy tablicę przejść układu Mealy'ego

stan układu \ x	0	1
q_0	q_0	q_1
q_1	q_3	q_2
q_2	q_0	q_1
q_3	q_3	q_2

Tabela 17. Tablica przejść układu Mealy'ego

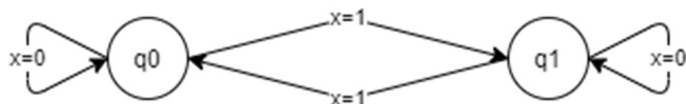
Stan układu	WEJŚCIE	WYJŚCIA	
	X	Z1	Z2
q_0	0	0	0
q_0	1	1	0
q_1	0	0	0
q_1	1	0	1

q_2	0	0	0
q_2	1	1	0
q_3	0	0	0
q_3	1	0	1

Tabela 18. Tablica wyjść układu Mealy'ego

Możemy zauważyć, że stany q_0 i q_2 oraz q_1 i q_3 są równoważne. Możemy więc zminimalizować powyższą tablicę i otrzymać uproszczoną tablicę stanów-wyjść oraz uproszczony graf stanów

Uproszczony graf stanów wygląda następująco:



Rysunek 7. Uproszczony graf stanów układu Mealy'ego

Uproszczona tablica przejść i tablica wyjść wygląda następująco:

stan układu \ x	0	1
	q ₀	q ₁
q ₀	q ₀	q ₁
q ₁	q ₁	q ₀

Tabela 19. Uproszczona tablica przejść układu

Stan układu	WEJŚCIE	WYJŚCIA	
	X	Z1	Z2
q ₀	0	0	0
q ₀	1	1	0
q ₁	0	0	0
q ₁	1	0	1

Tabela 20. Uproszczona tablica wyjść układu

Układ Mealy'ego musimy zrealizować za pomocą przerzutnika JK. Korzystając z tabel wzbudzeń przypomnimy sobie jego działanie.

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	0
0	0	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1

Tabela 21. Tablica wzbudzeń przerzutnika typu JK

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	φ
0	1	1	φ
1	1	φ	0
1	0	φ	1

Tabela 22. Uproszczona tabela wzbudzeń przerzutnika typu JK

Analizując działanie przerzutnika typu JK widzimy, że może on zapamiętać dwa stany. Jako że układ Mealy'ego składa się z dwóch stanów wystarczy nam tylko jeden przerzutnik typu JK do realizacji układu. Na tej podstawie zaczynamy kodować stany:

Stan układu	Q
q ₀	0
q ₁	1

Tabela 23. Kodowanie stanów układu Mealy'ego

Wykorzystując powyższe ustalenia oraz wiedzę na temat działania przerzutników typu JK, konstruujemy tabelę wzbudzeń wejścia przerzutnika:

x(t)	Q ₁ (t)	Q ₁ (t+1)	J ₁	K ₁
0	0	0	0	φ
1	0	1	1	φ
0	1	1	φ	0
1	1	0	φ	1

Tabela 24. Tabela funkcji wzbudzeń wejścia przerzutnika

Naszym następnym krokiem będzie kodowanie funkcji wejść przerzutnika oraz ich minimalizacja

Dla wejścia J₁ funkcja wejścia prezentuje się następująco:

J ₁ = f(Q ₁ , x)			
Q ₁	x	0	1
0		0	1
1		φ	φ

Tabela 25. Tabela funkcji wzbudzającej wejścia J₁

$$J_1 = x$$

Dla wejścia K₁ funkcja wejścia prezentuje się następująco:

K ₁ = f(Q ₁ , x)			
Q ₁	x	0	1
0		φ	φ
1		0	1

Tabela 26. Tabela funkcji wzbudzającej wejścia K₁

$$K_1 = x$$

Ostatnim krokiem w naszej syntezie będzie otrzymanie funkcji wyjść, która w tym układzie prezentuje się następująco:

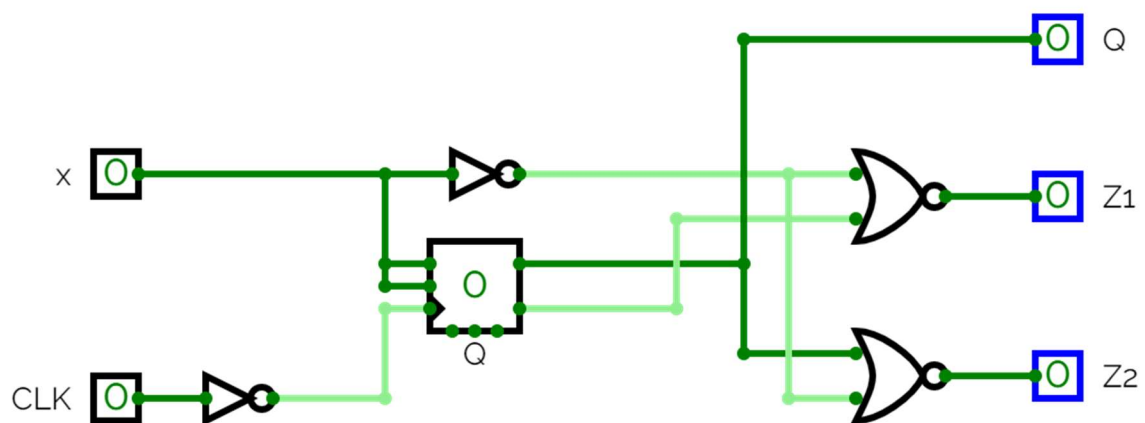
x	Q	Z1	Z2
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	1	0

Tabela 27. Tabela funkcji wyjść układu Mealy'ego

$$Z1 = xQ = \bar{x} + \bar{Q}$$

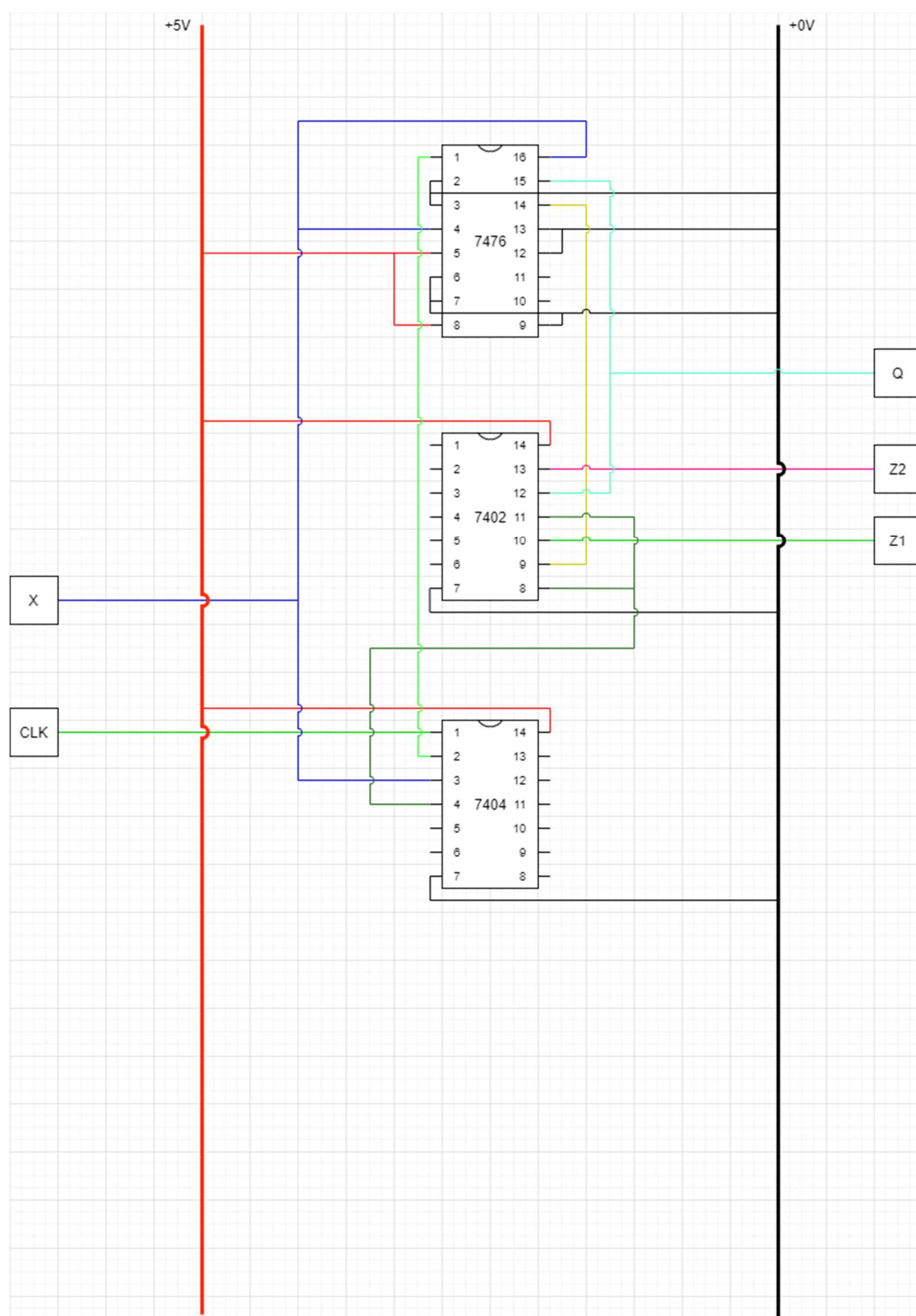
$$Z2 = x\bar{Q} = \bar{x} + Q$$

Mając tabelę funkcji wyjść układu oraz tabelę funkcji wzbudzających wejścia przerzutników możemy skonstruować układ logiczny.



Rysunek 8. Schemat logiczny układu Mealy'ego

Schemat podłączenia układu:



Rysunek 9. Schemat podłączenia układu Mealy'ego

Celem pokazania, że układ działa dobrze tworzymy tabelę obserwacji oraz diagramy sekwencji.

	WEJŚCIA		WYJŚCIA NA PRZERZUTNIKACH	WYJŚCIA	
lp.	CLK	X	Q	Z1	Z2
1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	1
5	1	1	0	0	1
6	0	1	1	1	0
7	0	0	1	0	0
8	1	0	1	0	0
9	0	0	1	0	0
10	1	0	1	0	0
11	0	0	1	0	0
12	1	0	1	0	0
13	0	0	1	0	0
14	0	1	1	1	0
15	1	1	1	1	0
16	0	1	0	0	1
17	1	1	0	0	1
18	0	1	1	1	0
19	0	0	1	0	0
20	1	0	1	0	0
21	0	0	1	0	0
22	0	1	1	1	0
23	1	1	1	1	0
24	0	1	0	0	1
25	0	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0

Tabela 28. Tabela obserwacji dla układu Mealy'ego

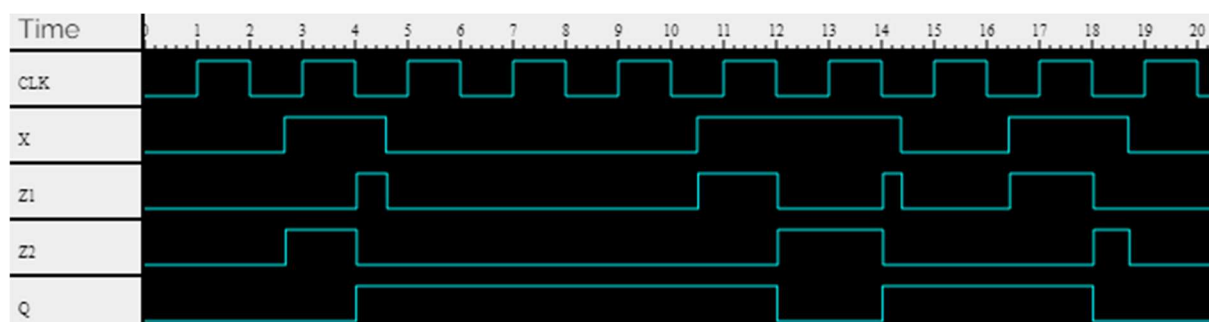


Tabela 29. Diagram sekwencji dla ciągu „0100011010” dla układu Mealy'ego

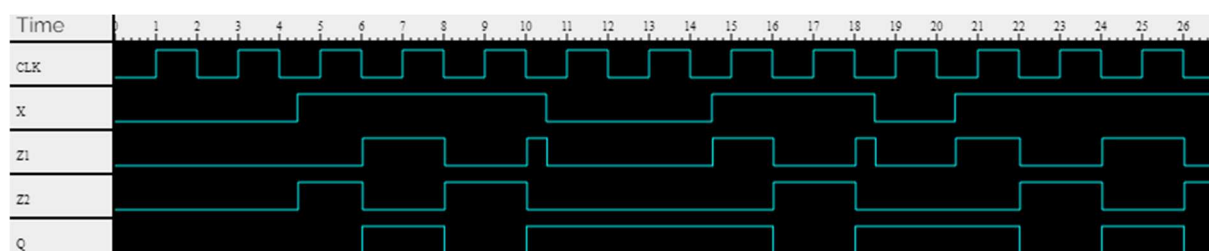


Tabela 30. Diagram sekwencji dla ciągu „0011100110111” dla układu Mealy’ego

Na podstawie tabeli obserwacji (tabela 27) oraz korzystając z tabeli pokazującej kodowania stanów (tabela 5) jesteśmy w stanie stworzyć tabelę przejść i tabelę wyjść naszego układu.

stan układu \ x	0	1
	q ₀	q ₁
q ₀	q ₀	q ₁
q ₁	q ₁	q ₀

Tabela 31. Tablica przejść zbudowanego układu

Stan układu	WEJŚCIE	WYJŚCIA	
	X	Z1	Z2
q ₀	0	0	0
q ₀	1	1	0
q ₁	0	0	0
q ₁	1	0	1

Tabela 32. Tablica wyjść zbudowanego układu

Przeprowadzamy też eksperyment zgodnie z treścią zakładamy (zakładamy, że takt zegara jest równy przejściu stanu zegara ze stanu niskiego na stan wysoki a potem niski, a gdy zegar jest w stanie wysokim to taktem jest przejście tego zegaru na stan niski) pomijając stany na wyjściach przerzutników (w treści zadania są podane tylko stany na wyjściach układu)

czas	t ₉	t ₈	t ₇	t ₆	t ₅	t ₄	t ₃	t ₂	t ₁	t ₀
X	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Q	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
Z1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Z2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

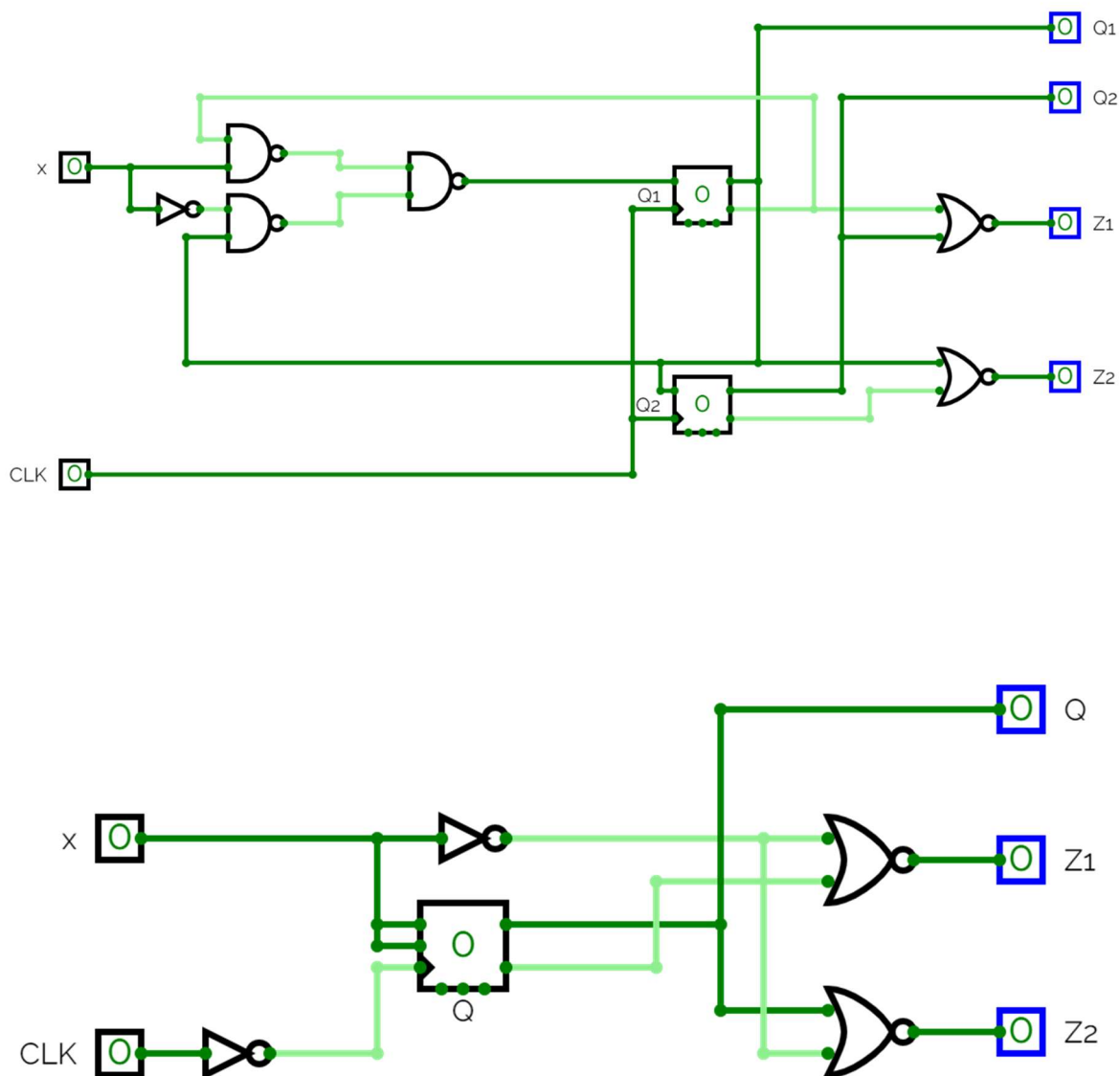
Tabela 33. Wyniki eksperymentu zbudowanego układu

Wyniki eksperymentu (tabela 32) zgadzają się z wynikami podanymi w treści zadania oraz z przyjętym przez nas opisem stanów układu (rysunek 7 oraz tabela 23). Dodatkowo tablica przejść (tabela 30) i tablica wyjść (tabela 31) zgadzają się odpowiednio z zaproponowaną tabelą przejść (tabela 2) oraz tabelą wyjść (tabela 3). To potwierdza, że nasz układ działa zgodnie z założeniami podanymi w treści zadania.

Analizując tabelę obserwacji oraz diagramy sekwencji zauważymy, że czasami uzyskane wyniki nie są zgodne ze specyfikacją. Dzieje się tak dlatego, że stan na wyjściu nie zależy tylko od stanów na wyjściach przerzutników, ale też od stanu na wejściu. Zmieniając więc stan na wejściu, ale przed zmianą stanu na przerzutnikach spowodowaną taktem zegara, czasami będziemy w stanie odczytać błędny wynik. Jest to coś co wynika ze specyfikacji automatu i nie możemy nic z tym zrobić. Jeżeli chcemy odczytać poprawny wynik w zbudowanym układzie to musimy to zrobić gdy stan zegara przechodzi ze stanu niskiego na stan wysoki.

9. Porównanie układu Moore'a i Mealy'ego

Celem porównania obu układów analizuję ich schemat logiczny oraz diagramy sekwencji



Rysunek 10. Schemat logiczny układu Moore'a (góra) oraz układu Mealy'ego (dół)

Jak możemy zauważyć układ Mealy'ego jest znacznie prostszy w konstrukcji niż układ Moore'a. Jeżeli naszym celem jest konstrukcja jak najprostszego układu powinniśmy użyć automatu Mealy'ego w tym zadaniu.

Teraz dokonamy analizy diagramów sekwencji obu układów

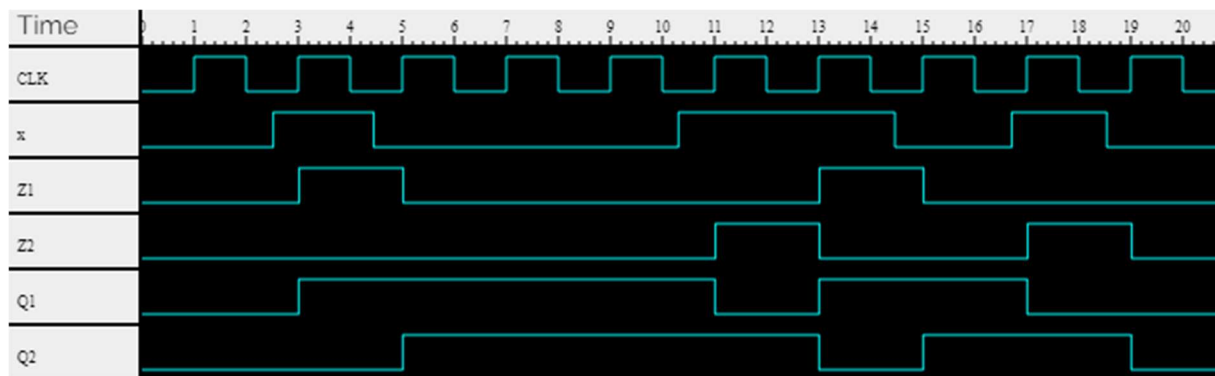


Tabela 34. Diagram sekwencji dla ciągu „0100011010” dla układu Moore’a (góra) oraz Mealy’ego (dół)

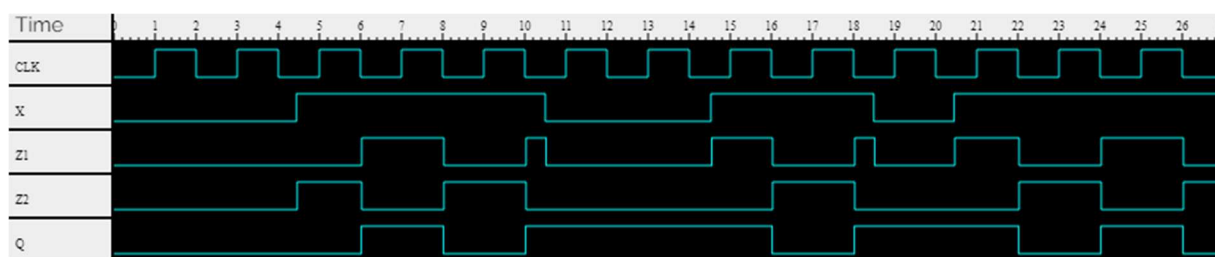
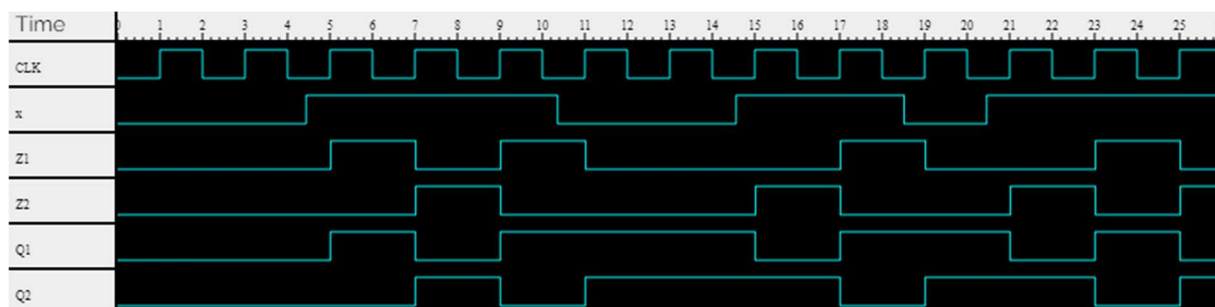


Tabela 35. Diagram sekwencji dla ciągu „0011100110111” dla układu Moore’a (góra) oraz Mealy’ego (dół)

Możemy zauważyć, że układ Moore’a zawsze ma poprawne stany na wyjściu (zgodnie ze specyfikacją). Tego samego nie można powiedzieć o układzie Mealy’ego. Możemy oczywiście zauważyć, że diagram sekwencji dla układu Mealy’ego w dużej części pokrywa się z diagramem sekwencji dla układu Moore’a, ale są momenty w których mamy chwilowo niewłaściwe stany na wyjściach układu Mealy’ego. Jest to coś co wynika ze specyfikacji automatu i nie możemy tego zmienić. Jeżeli naszym celem jest stworzenie układu, który zawsze działa poprawnie to powinniśmy wybrać automat Moore’a do realizacji zadania.

Podsumowując, trudno jest nam jednoznacznie stwierdzić, który automat sprawdził się w tym zadaniu lepiej. Układ Moore’a zawsze zwraca poprawny wynik. Jednak układ Mealy’ego jest prostszy

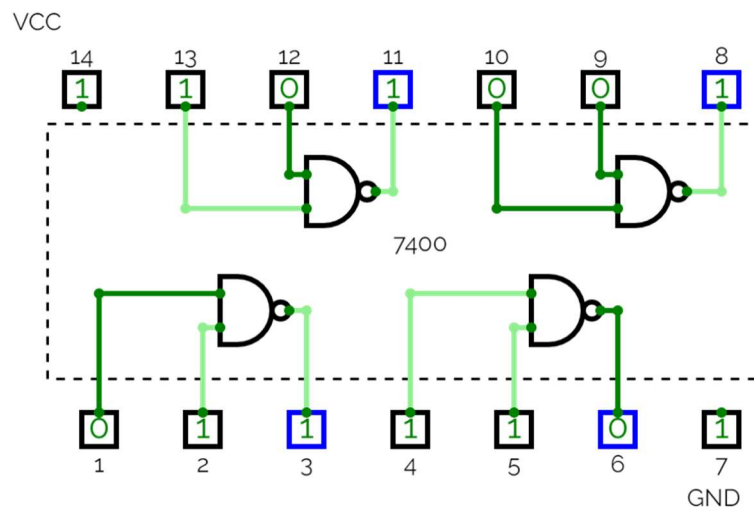
w konstrukcji. Wybór właściwego automatu w tym zadaniu będzie głównie zależał od przyjętych kryteriów wyboru układu.

10. Wnioski

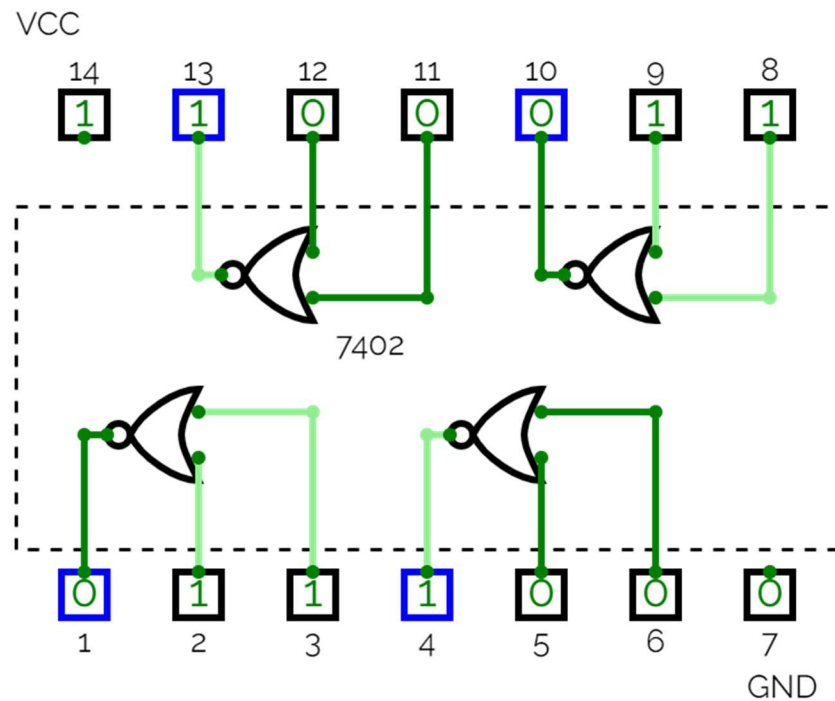
Naszym zadaniem była realizacja układu, który miał działać jako „rozdzielacz jedynek” korzystając z automatu Moore’a, a potem automatu Mealy’ego. Dodatkowo mieliśmy dokonać analizy działania obu układów. Byliśmy w stanie wykonać to zadanie dzięki wiedzy na temat określonych automatów oraz wiedzy na temat użytych przerzutników. Dzięki sprawnemu procesowi syntezy układów byliśmy w stanie uzyskać odpowiednie funkcje wzbudzające wejścia przerzutników oraz właściwe funkcje wyjść, które pozwoliły na stworzenie odpowiednich układów. W celu porównania działania obu stworzonych układów utworzyliśmy diagramy sekwencji korzystając z dostępnych narzędzi w CircuitVerse. Podczas analizy układów doszliśmy do wniosku, że nie można jednoznacznie wskazać, który automat jest lepszy do realizacji zadania. Układ Mealy’ego był prostszy w konstrukcji, ale potrafił chwilowo mieć złe stany na wyjściach. Natomiast układ Moore’a był trudniejszy w konstrukcji, ale zawsze miał poprawne stany na wyjściach. Z tego wynika, że wybór odpowiedniego automatu do realizacji tego zadania zależy od przyjętych kryteriów wyboru układu.

11. Spis użytych układów.

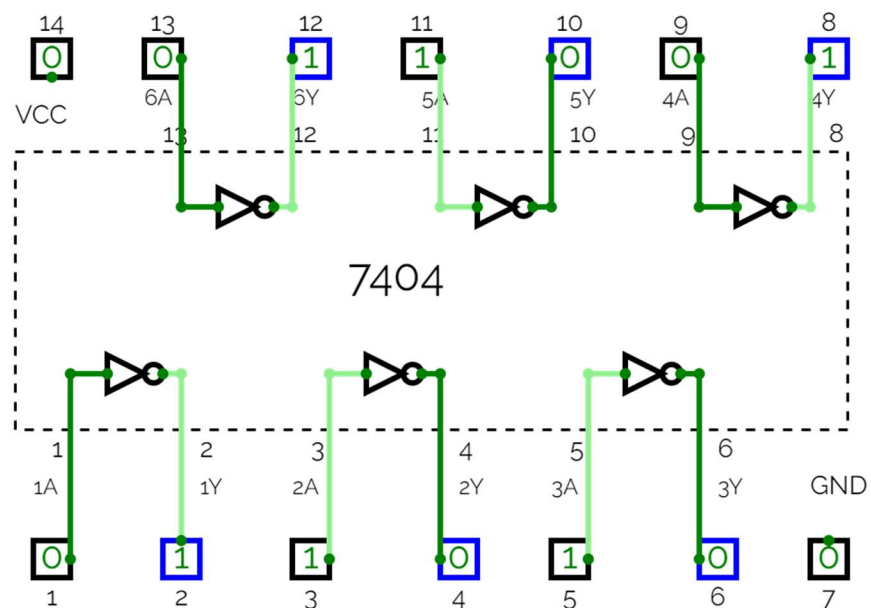
- Układ 7400 – Układ zawierający 4x bramkę NAND



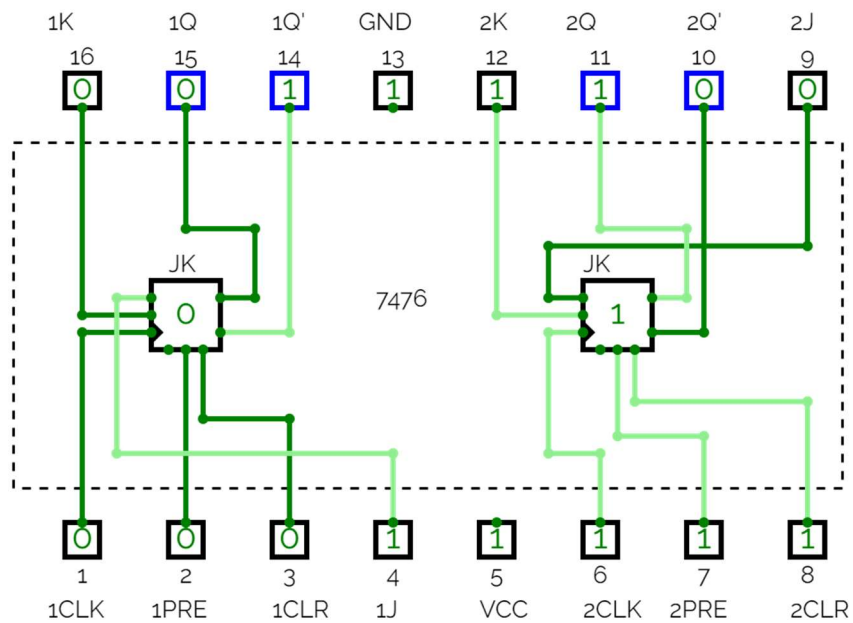
- Układ 7402 – Układ zawierający 4x bramkę NOR



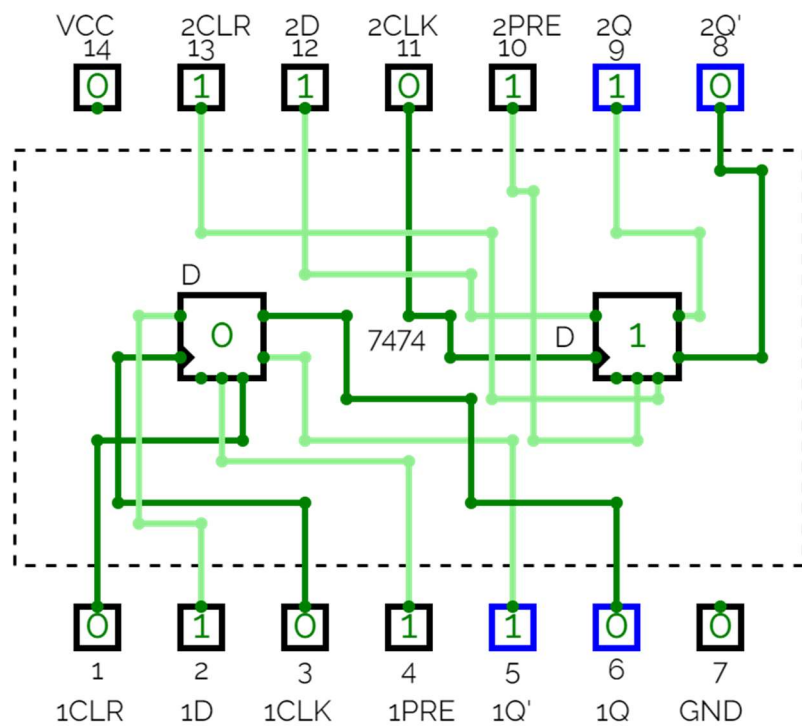
- Układ 7404 – układ zawierający 6x inwerter NOT



- Układ 7476 – Układ zawierający dwa przerzutniki typu JK



- Układ 7474 – Układ zawierający dwa przerzutniki typu D



12. Bibliografia oraz link do układów:

- a) https://www.tutorialspoint.com/automata_theory/moore_and_mealy_machines.htm
- b) http://www.zsk.ict.pwr.wroc.pl/zsk/repository/dydaktyka/ptcm/wyk/tc1_11_wyk_11.pdf
- c) Pomoc dydaktyczna do wykładu Teoria Układów Logicznych dr Andrzeja Kalisia
- d) Układy:
- e) <https://circuitverse.org/users/71768/projects/sprawozdanie-5>