

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Курсова робота

з дисципліни «Прикладна теорія цифрових автоматів»

тема роботи: «Синтез комбінаційних схем, операційного та керуючого автомату»

Виконав студент 3 курсу

**спеціальності «Комп'ютерна
інженерія»**

**спеціалізації «Мережевий
адміністратор»**

Цибульський Роман Олександрович

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Комбінаційна схема

1.2 Мінімізація булевих функцій

1.3 Мінімізація булевих функцій методом Квайна Мак-Класкі

1.4 Теорія автоматів

1.5 Автомат Мілі та автомат Мура

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення варіанту

2.2 Синтез комбінаційних схем

2.2.1 Мінімізація булевих функцій методом карт Карно

2.2.2 Мінімізація булевих функцій методом Квайна Мак-Класкі

2.3 Синтез операційного та керуючого автомату

2.3.1 Синтез операційного автомату

2.3.2 Синтез керуючого автомату

2.3.3 Демонстрація роботи синтезованої схеми

2.3.4 Основні елементи операційного автомату.

ВИСНОВКИ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ВСТУП

В даній роботі розглянуто принципи синтезу комбінаційних схем та побудови операційного і керуючого автоматів.

В ході виконання першої частини завдання було розглянуто спосіб мінімізації булевих функцій методом карт Карно та методом Квайна Мак-Класкі на основі заданої таблиці істинності. Отримані функції були реалізовані у комбінаційній схемі (базис: 3І-НЕ, 2І).

В ході виконання другої частини завдання було створено керуючий автомат Мура використовуючи JK-тригер та операційний автомат. Даний автомат повинен виконувати обчислення за заданою математичною формулою ($D=2A(B+1)+0,5C$).

Побудова необхідних схем відбувалася інструментами застосування Proteus Professional 8.13.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1. Синтез комбінаційних схем.

1.1. Побудувати комбінаційну схему, що реалізує систему перемикальних функцій в заданому елементному базисі.

2. Синтез операційного та керуючого автомату.

2.1. Розробити операційну схему обчислювального пристрою, що реалізує задану арифметичну операцію.

2.2. Виконати синтез і побудувати функціональну схему операційного і керуючого автомата, що забезпечує управління обчислювальним пристроєм.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Комбінаційна схема

Комбінаційна схема (КС) – це логічна схема, в якій застосовується двійкові змінні, а кожному двійковому коду на вході КС відповідає якийсь визначений код (комбінація) двійкових чисел на виході схеми в конкретний момент часу.

До комбінаційних схем належать: шифратори, дешифратори, напівсуматори, суматори, мультиплексори та демультимплексори, програмовані логічні матриці та інші схеми, які ще називають комбінаційними функціональними вузлами.

Стан комбінаційної схеми характеризується логічними функціями. Логічна функція – це складний вислів, що містить декілька простих, об'єднаних сполучниками, $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де x – двійкова змінна. В логічній функції задають вхідний набір $x = \{0, 1\}$.

Вхідний набір – це певна комбінація значень двійкових змінних у логічній функції. Максимальне число вхідних наборів $m = 2^n$, де n – число змінних. Максимальне число логічних функцій для n змінних $N = 2^{2^n}$. Логічні функції представляються таблицями істинності.

Таблиця істинності – це представлення логічної функції у вигляді таблиці, в одній частині якої записують вхідні набори, а в другій – відповідні значення функції. Повністю визначена функція – це логічна функція, що містить визначені значення 0 або 1 для всіх вхідних наборів. Частково визначена функція має визначені значення не на всіх вхідних наборах. Частково визначену функцію можна зробити повністю визначеною, дописавши індиферентний набір яких-небудь значень функції.

Склавши таблицю істинності можна задатись значеннями, при яких набори (кортежі) змінних будуть дорівнювати 1 і записати загальну функцію для виходу КС у формі ДКНФ чи ДДНФ. По загальній функції в заданому базисі будується схема КС, яку вже можна аналізувати, тобто оцінити кількість логічних елементів заданого базису, зв'язки між входами і виходами КС, інші параметри цієї схеми.

1.2 Мінімізація булевих функцій

Під мінімізацією логічних функцій розуміють перетворення її алгебраїчного виразу з метою отримання найпростішого виду функції.

Мінімізація здійснюється шляхом спрямованого перетворення функції за допомогою законів алгебри логіки. Для однієї і тієї ж функції може бути кілька шляхів досягнення мети. Кожен такий шлях забезпечує знаходження мінімальної форми функції порівняно з вихідною формою. Але, це ще не означає, що мета досягнута. Тут треба знати наступне. У процесі перетворення можуть бути досягнуті проміжні та тупикові форми функцій. Тупикова форма, на відміну від проміжної, надалі не мінімізується. Кожен можливий шлях мінімізації завершується тупиковою формою функції. В одній і тій же функції тупикових форм може бути декілька. Серед тупикових завжди має місце

форма функції з меншим числом логічних операцій (можливо і з меншим числом незалежних змінних). Її називають мінімальною тупиковою формою функції. Існують різні можливі результати мінімізації функцій.

Існує кілька основних методів мінімізації логічних функцій:

- Метод карт Карно;
- Метод Квайна Мак-Класкі;
- Метод невизначених коефіцієнтів;
- Метод еквівалентних перетворень.

1.3 Мінімізація булевих функцій методом Квайна Мак-Класкі

Вихідною формою для мінімізації систем мулевих функцій методом Квайна Мак-Класкі є ДДНФ системи перемикальних функцій, для отримання якої необхідно подати в ДДНФ кожен функцію. При цьому кожній конститuentі одиниці приписується множина міток, що визначають її приналежність до певної функції.

Етапи мінімізації системи перемикальних функцій:

- Записати ДДНФ системи перемикальних функцій;
- Виконати склеювання термів
- Виконати всі можливі поглинання
- Скласти таблицю покриття
- Вибрати покриття для кожної функції

Відмінності мінімізації систем перемикальних функцій від мінімізації окремих функцій полягають у такому.

Склеювання здійснюється тільки для тих термів, що мають хоча б одну однакову мітку. Отриманому у результаті склеювання терму присвоюється множина міток, що є перетинанням множин міток термів, які склеювались.

Поглинання одного терму іншим здійснюється тільки в тому випадку, коли множини міток двох термів цілком збігаються.

1.4 Теорія автоматів

Операційний автомат — пристрій цифрової електронної обчислювальної машини, в якому відбуваються перетворення кодів чисел або слів.

Операційний автомат складається із набору регістрів з комбінаційною логікою у входах запом'ятовуючих елементів регістрів. Вхідні сигнали операційного автомату ототожнюються з вихідними сигналами керуючого автомата — сигналами мікрооперацій. Ці сигнали визначають перетворення множини станів операційних автоматів. Вихідними сигналами операційних автоматів є рядки значень логічних умов, які характеризують стани його регістрів.

В теорії зручно розглядати операційний автомат як нескінченний автомат Мура спеціального виду (багаторегістровий автомат).

1.5 Автомат Мілі та автомат Мура

Автомат Мілі - кінцевий автомат, вихідна послідовність якого, залежить від стану автомата і вхідних сигналів. Це означає, що в графі станів кожному ребру відповідає деяке значення (вихідний символ). У вершини графа автомата Мілі записуються вхідні сигнали, а дугам графа приписують умову переходу з одного стану в інший, а також вхідні сигнали.

Автомат Мілі - можна описати п'ятіркою (Q, X, Y, f, g) , де Q - безліч станів автомата, X - безліч вхідних символів, Y - безліч вихідних символів, $q = f(Q, X)$ - функція станів, $y = g(Q, X)$ - функція вихідних символів.

Автомат Мура - кінцевий автомат, вихідне значення сигналу в якому залежить лише від поточного стану даного автомата, і, не залежить прямо, в, відміну від автомата Мілі, від вхідних значень.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення варіанту

Номер варіанту $6248 = 1\ 1000\ 0110\ 1000$, $00\ 0110\ 1000$ за умовою. Отже записуємо таблицю варіанту у зручній для читання формі.

| | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| H10 | H9 | H8 | H7 | H6 | H5 | H4 | H3 | H2 | H1 |

2.2 Синтез комбінаційних схем

Згідно з варіантом отримуємо наступну таблицю істинності

| x_4 | x_3 | x_2 | x_1 | f_1 | f_2 | f_3 |
|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | <u>1</u> | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | <u>1</u> | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | x | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | <u>0</u> | x |
| 0 | 1 | 1 | 1 | x | 1 | x |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | x | <u>1</u> |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | x | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | <u>0</u> | <u>0</u> | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | <u>1</u> | 0 | x |
| 1 | 1 | 0 | 1 | <u>0</u> | 1 | <u>0</u> |
| 1 | 1 | 1 | 0 | <u>0</u> | 1 | <u>1</u> |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | <u>0</u> | 1 |

2.2.1 Мінімізуємо функції за методом карт Карно.

| | | | | | |
|----|------|---|---|---|---|
| F1 | x4 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | x3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | x1x2 | | | | |
| 00 | | 1 | 1 | 1 | X |
| 01 | | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | | 0 | 0 | 1 | X |
| 10 | | 1 | 0 | 0 | 0 |

$$f1 = \overline{x2x3x4} + x1x2x3 + \overline{x1x4} + \overline{x1x2}$$

| | | | | | |
|----|------|---|---|---|---|
| F2 | x4 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | x3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | x1x2 | | | | |
| 00 | | 1 | X | 0 | 0 |
| 01 | | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | | 0 | X | 1 | 0 |

$$f2 = \overline{x1x3} + \overline{x1x2x4} + x1\overline{x2x4} + x1x2\overline{x4}$$

| | | | | | |
|----|------|---|---|---|---|
| F3 | x4 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | x3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | x1x2 | | | | |
| 00 | | 1 | 1 | X | 0 |
| 01 | | 1 | 0 | 1 | X |
| 11 | | 0 | 0 | 1 | X |
| 10 | | 1 | 0 | 0 | 0 |

$$f3 = x3x2 + \overline{x4x3x2} + \overline{x4x3x1} + \overline{x3x2x1}$$

2.2.2 Мінімізуємо функції за методом Квайна Мак-Класкі.

Таблиця поглинання

| F1 | | |
|------------------------------|----------------------|--------------|
| 0000 | 000x 011x | 0xx0 xx00 |
| 0001 0010 0100 1000 | 00x0 01x0 | |
| 0110 1100 | 0x00 0x10 1x00 | |
| 0111 1111 | x000 x100 x111 | |

Таблиця покриття

| | 0000 | 0001 | 0010 | 1000 | 0110 | 1100 | 1111 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0xx0 | x | | x | | x | | |
| xx00 | x | | | x | | x | |
| 000x | x | x | | | | | |
| 011x | | | | | x | | |
| x111 | | | | | | | x |

Випишем ядра: 0xx0, xx00, 000x, x111

$$f1 = \overline{x4x1} + \overline{x2x1} + \overline{x4x3x2} + x3x2x1$$

Таблиця поглинання

| F2 | | |
|----------------------|----------------------|------|
| 0000 | 001x 100x | x0x0 |
| 0010 1000 | 00x0 10x0 | |
| 0011 1001 1010 | 0x11 1x01 1x10 | |
| 0111 1101 1110 | x000 x010 | |

Таблиця покриття

| | 0000 | 0010 | 0011 | 1010 | 0111 | 1101 | 1110 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| x0x0 | x | x | | x | | | |
| 001x | | x | x | | | | |
| 0x11 | | | x | | x | | |
| 1x01 | | | | | | x | |
| 1x10 | | | | x | | | x |

Випишем ядра: x0x0, 0x11, 1x01, 1x10

$$f_2 = \overline{x_3}x_1 + \overline{x_4}x_2x_1 + x_4\overline{x_2}x_1 + x_4x_2\overline{x_1}$$

Таблиця поглинання

| F3 | | |
|----------------------|----------------------|------|
| 0000 | 000x 011x 111x | x11x |
| 0001 0010 1000 | 00x0 11x0 | |
| 0110 1100 | 0x10 1x00 | |
| 0111 1110 | x000 x111 | |
| 1111 | x110 | |

Таблиця покриття

| | 0000 | 0001 | 0010 | 1000 | 1110 | 1111 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| x11x | | | | | x | x |
| 000x | x | x | | | | |
| 00x0 | x | | x | | | |
| 11x0 | | | | | x | |
| 0x10 | | | x | | | |
| 1x00 | | | | x | | |
| x000 | x | | | x | | |

Випишем ядра: x11x, 000x, 00x0, x000

$$f_3 = x_3x_2 + \overline{x_4x_3x_2} + \overline{x_4x_3x_1} + \overline{x_3x_2x_1}$$

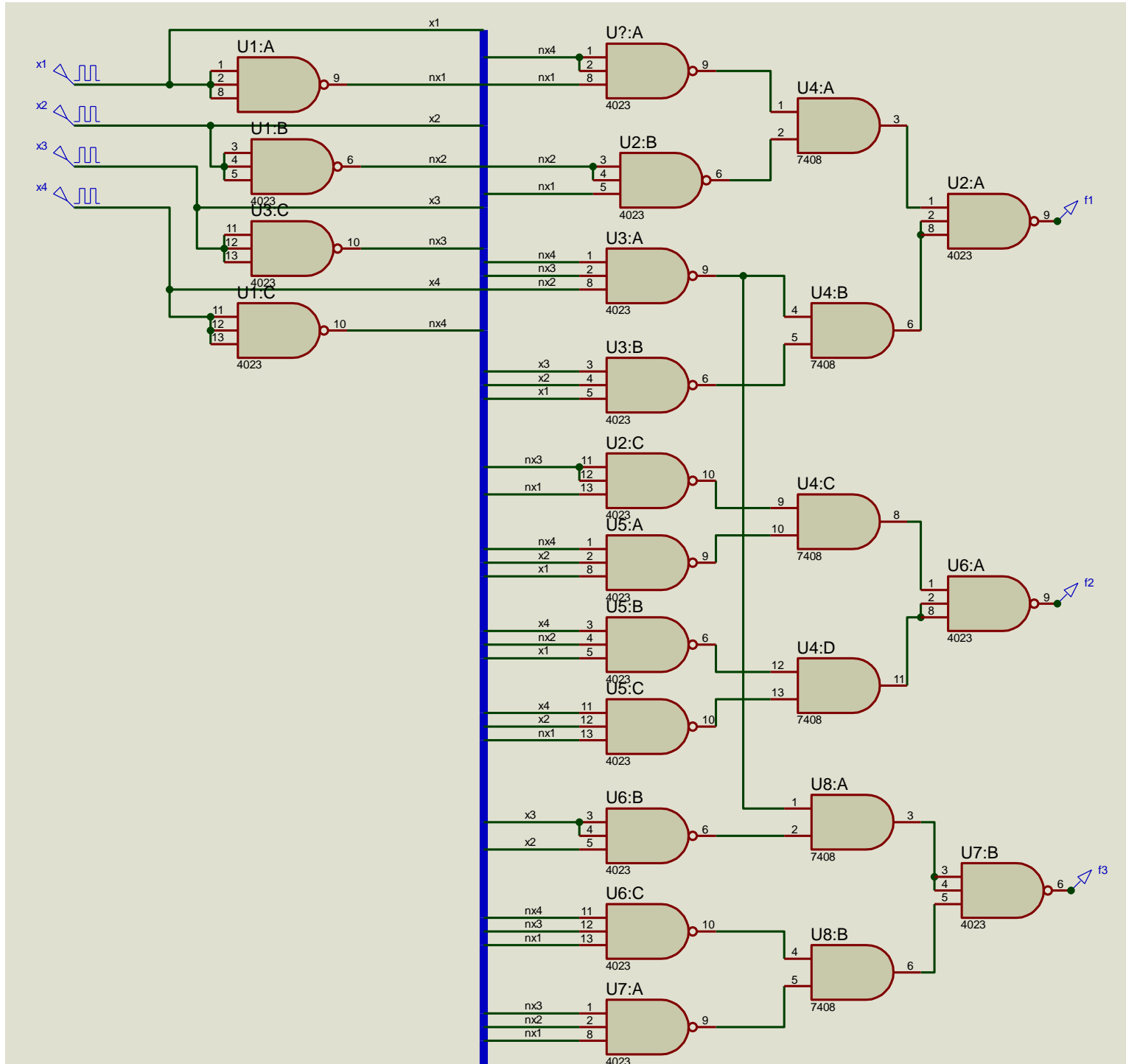
Мінімізовані функції

$$\begin{aligned} f_1 &= \overline{x_4x_1} + \overline{x_2x_1} + \overline{x_4x_3x_2} + x_3x_2x_1 \\ &= (\overline{x_4|x_1})|(\overline{x_2|x_1})|(\overline{x_4|x_3|x_2})|(x_3|x_2|x_1) \end{aligned}$$

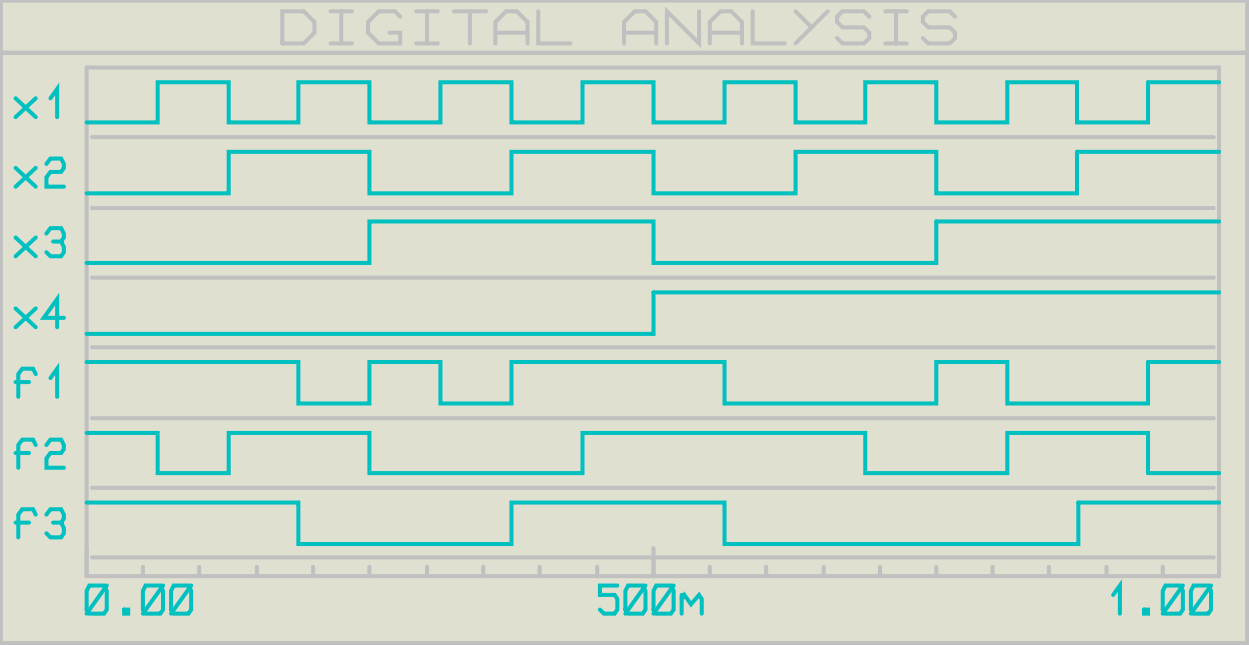
$$\begin{aligned} f_2 &= \overline{x_3x_1} + \overline{x_4x_2x_1} + x_4\overline{x_2x_1} + x_4x_2\overline{x_1} \\ &= (\overline{x_3|x_1})|(\overline{x_4|x_2|x_1})|(x_4|\overline{x_2}|x_1)|(x_4|x_2|\overline{x_1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_3 &= x_3x_2 + \overline{x_4x_3x_2} + \overline{x_4x_3x_1} + \overline{x_3x_2x_1} \\ &= (x_3|x_2)|(\overline{x_4|x_3|x_2})|(\overline{x_4|x_3|x_1})|(\overline{x_3|x_2|x_1}) \end{aligned}$$

Згідно з отриманими формулами для F_1, F_2 та F_3 будуюмо схему з використанням базису 3І-НЕ, 2І.



Отримуємо цифровий графік входів-виходів



Згідно з цифровим графіком отримуємо наступну таблицю істинності, де визначені значення невідомих x .

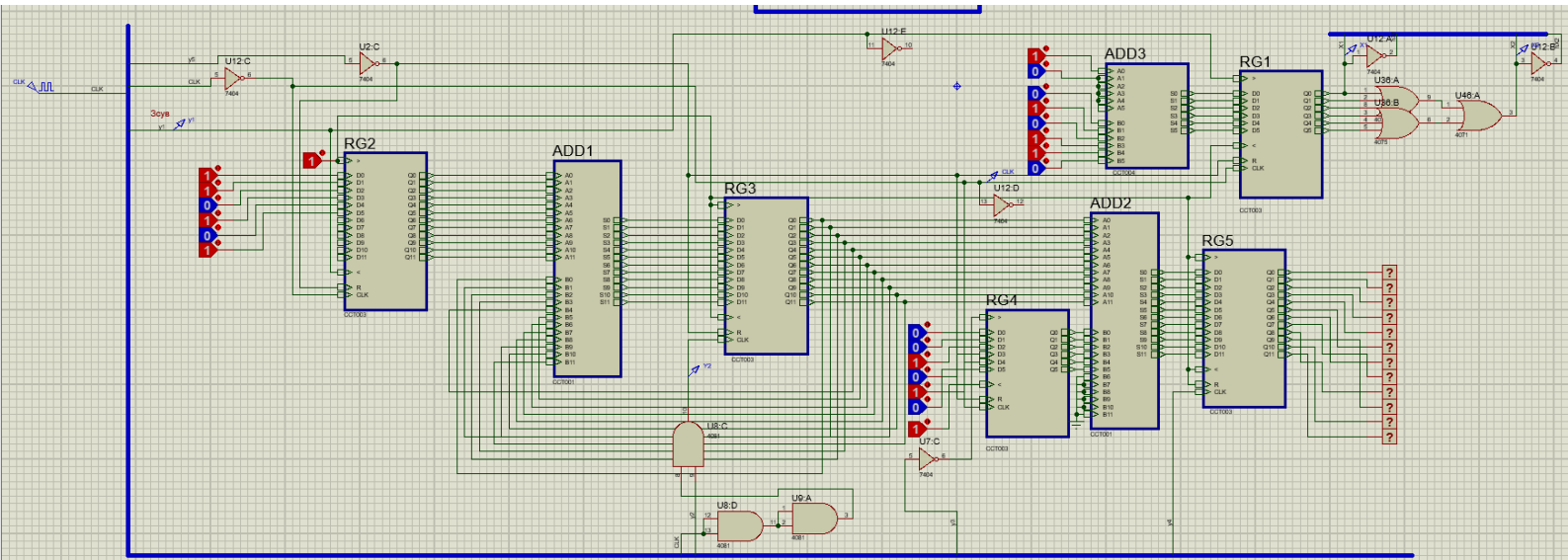
| x_4 | x_3 | x_2 | x_1 | f_1 | f_2 | f_3 |
|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | <u>1</u> | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | <u>1</u> | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | <u>1</u> | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | <u>0</u> | <u>1</u> |
| 0 | 1 | 1 | 1 | <u>1</u> | 1 | <u>1</u> |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | <u>1</u> | <u>1</u> |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | <u>1</u> | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | <u>0</u> | <u>0</u> | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | <u>1</u> | 0 | <u>0</u> |
| 1 | 1 | 0 | 1 | <u>0</u> | 1 | <u>0</u> |
| 1 | 1 | 1 | 0 | <u>0</u> | 1 | <u>1</u> |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | <u>0</u> | 1 |

Синтез операційного та керуючого автомату

2.3.1 Операційна схема обчислювального пристрою

Розробимо операційну схему обчислювального пристрою, що реалізує операцію $(D=2A(B+1)+0,5C)$.

| | | |
|-----|-----|---------------|
| h 3 | h 7 | Тип алгоритму |
| 0 | 1 | Алгоритм No2 |

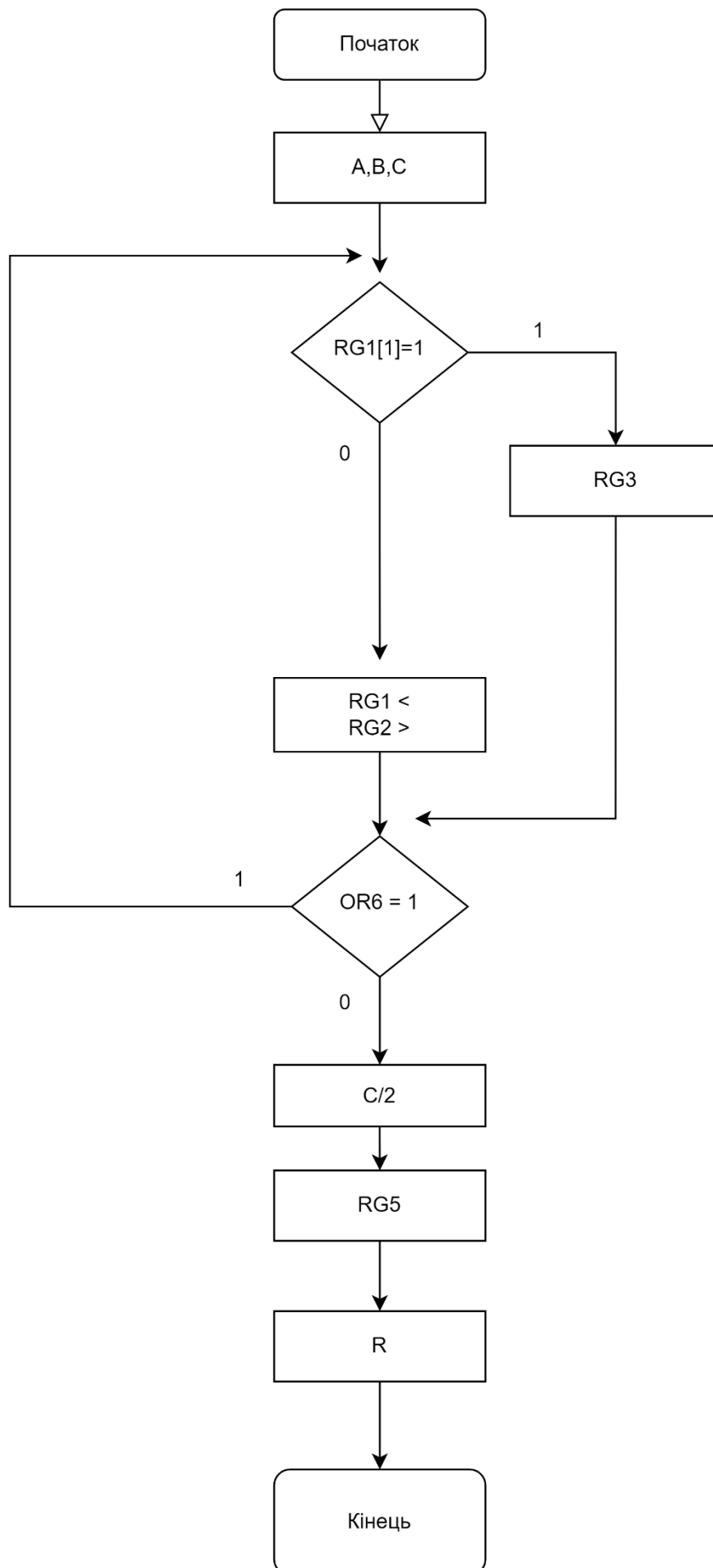


2.3.2 Синтез мікропрограмного (керуючого) автомата у вигляді автомата Мура

Елемент пам'яті

| | | |
|----|----|--------------|
| h6 | h5 | Тип триггеру |
| 1 | 0 | JK |

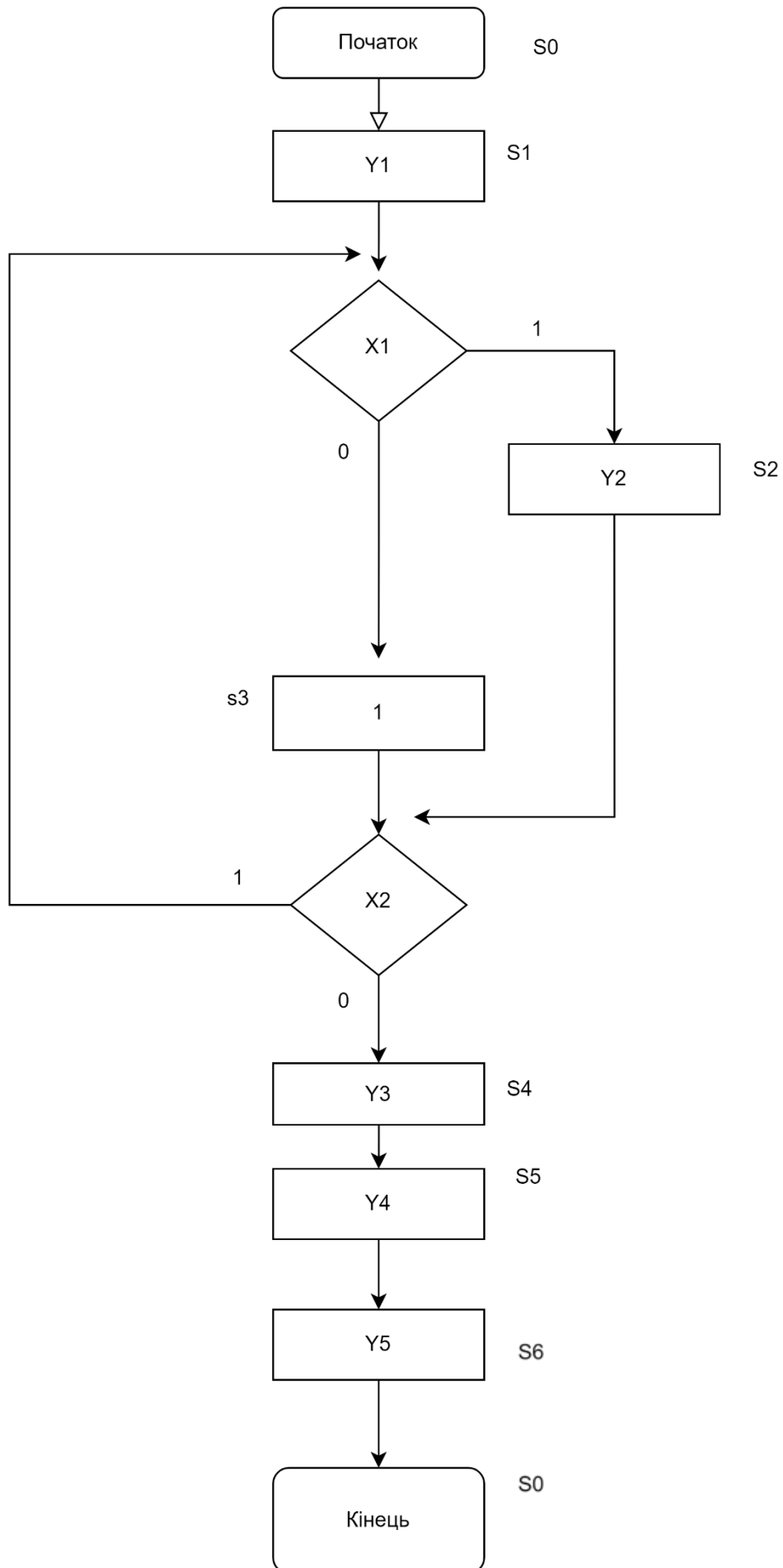
1.1. Змістовна схема алгоритму



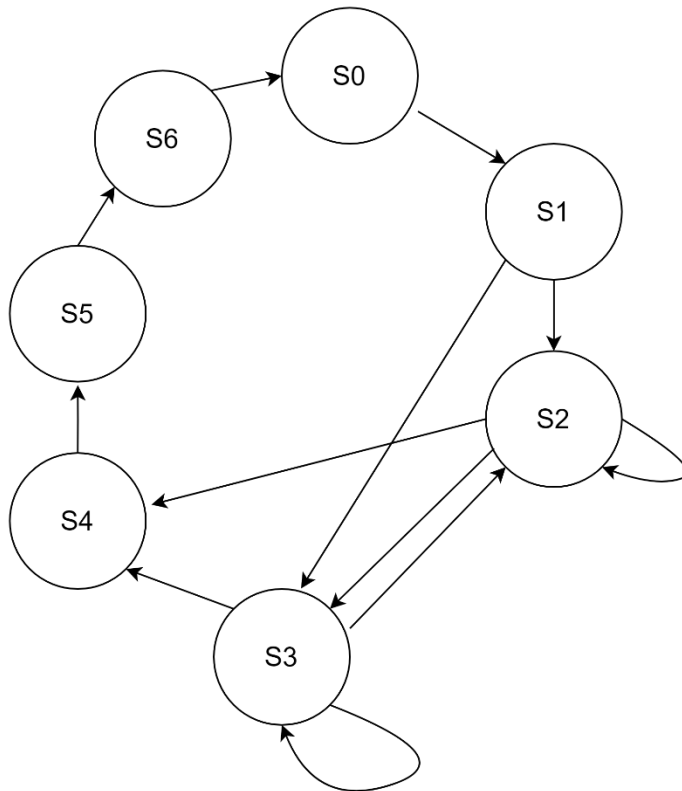
1.2. Таблиця кодування вершин

| Код | Зміст | Примітка |
|-----|----------------|---|
| Y1 | A,B,C | Запис чисел A,B,C |
| Y2 | RG3 | Запис часткового добутку |
| 1 | RG1 < RG2 > | Зсув регістра RG1 вправо RG2 вліво |
| Y3 | RG4 < | Ділення числа C на 2 |
| Y4 | RG5 | Запис вихідного числа у RG5 |
| Y5 | R | Занулення регістрів. |
| X1 | RG1[1] | Перевірка на дозвіл запису часткового добутку RG1[1]=1, так RG1[1]!=1 ні |
| X2 | OR6=0 | Перевірка на дозвіл наступного множення |

1.3. Відмічена мікроопераційна схема алгоритму



1.4. Граф-схема переходів



1.5. Зворотня таблиця переходів-виходів автомата Мура

| Початковий стан sm | Y (вихідний сигнал, що виробляється при переході) | Стан переходу sk | X (умова переходу) |
|-----------------------|---|---------------------|-----------------------|
| S0 | Y1 | S1 | CLK |
| S1 | Y2 | S2 | X1 |
| S2 | | | X1X2 |
| S3 | | | X1X2 |
| S1 | - | S3 | $\overline{X1}$ |
| S2 | | | $\overline{X1}X2$ |
| S3 | | | $\overline{X1}X2$ |
| S2 | Y3 | S4 | $\overline{X2}$ |
| S3 | | | |
| S4 | Y4 | S5 | CLK |
| S5 | Y5 | S6 | CLK |
| S6 | - | S0 | CLK |

$$M = 5$$

$$m = \lceil \log_2 M \rceil = \lceil \log_2 5 \rceil = 3$$

Кодування станів керуючого автомата

S0 - 000

S1 – 010

S2 – 110

S3 – 011

S4 – 111

S5 – 101

S6 - 100

| Q3 Q1Q2 | 0 | 1 |
|------------|----|----|
| 00 | S0 | |
| 01 | S1 | S3 |
| 11 | S2 | S4 |
| 10 | S6 | S5 |

Структурна таблиця переходів-виходів автомата Мілі.

| Початковий стан sm | K(sm) | Y (вихідний сигнал, що виробляється при переході) | Стан переходу sk | K(sk) | X (умова переходу) | ФЗ |
|--------------------|-------|---|------------------|-------|--------------------|------|
| S0 | 000 | Y1 | S1 | 010 | CLK | J2 |
| S1 | 010 | Y2 | S2 | 110 | X1 | J1 |
| S2 | 110 | | | | X1X2 | - |
| S3 | 011 | | | | X1X2 | J1K3 |
| S1 | 010 | - | S3 | 011 | $\overline{X1}$ | J3 |
| S2 | 110 | | | | $\overline{X1}X2$ | K1J3 |
| S3 | 011 | | | | $\overline{X1}X2$ | - |
| S2 | 110 | Y3 | S4 | 111 | $\overline{X2}$ | J3 |
| S3 | 011 | | | | | J1 |
| S4 | 111 | Y4 | S5 | 101 | CLK | K2 |
| S5 | 101 | Y5 | S6 | 100 | CLK | K3 |
| S6 | 100 | - | S0 | 000 | CLK | K1 |

Рівняння переходів керуючого автомата

$$J1 = s1X1 + s3\overline{X2} + s3X1X2$$

$$J2 = s0$$

$$J3 = s1\overline{X1} + s2\overline{X2} + s2\overline{X1}X2$$

$$K1 = s2\overline{X1}X2 + S6$$

$$K3 = s5 + s3X1X2$$

$$K2 = S4$$

Рівняння для виходів керуючого автомата

$$Y1 = s1$$

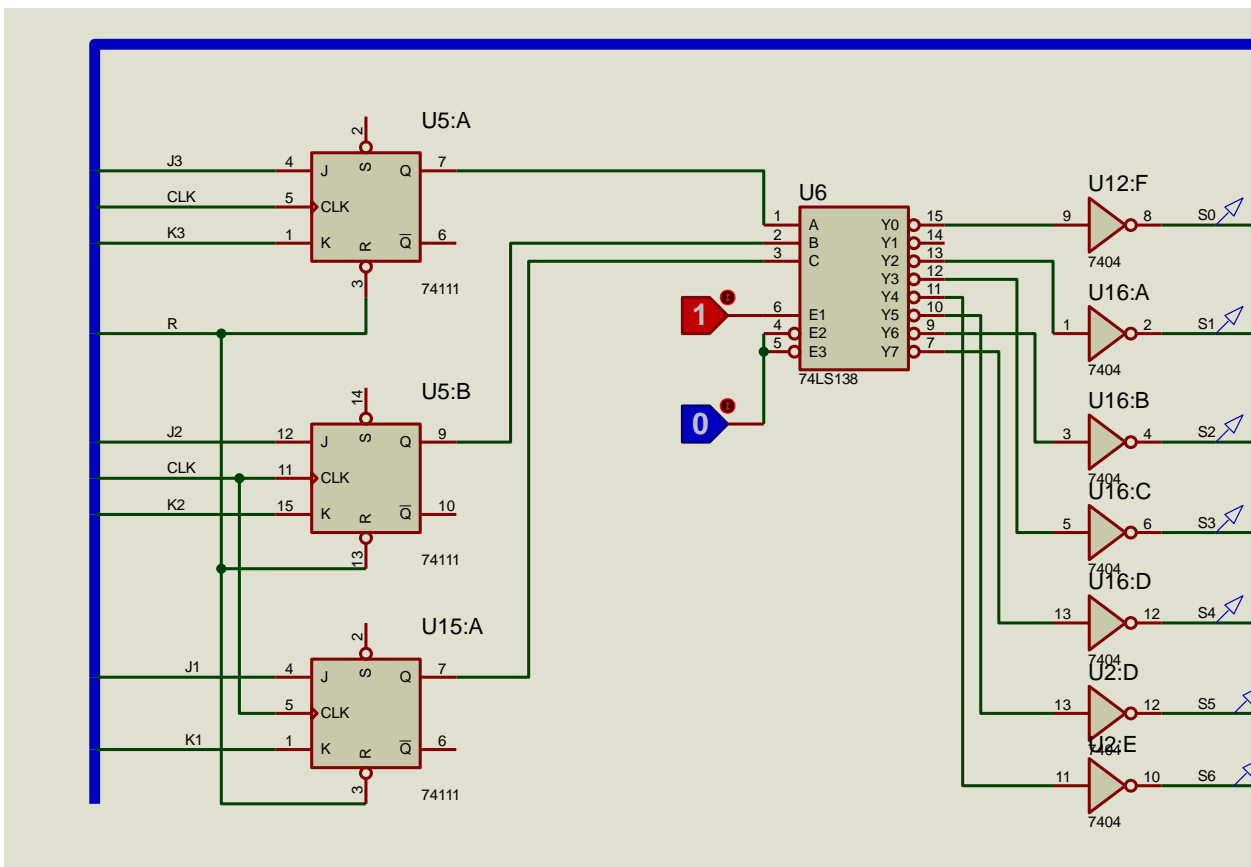
$$Y2 = s2$$

$$Y3 = s4$$

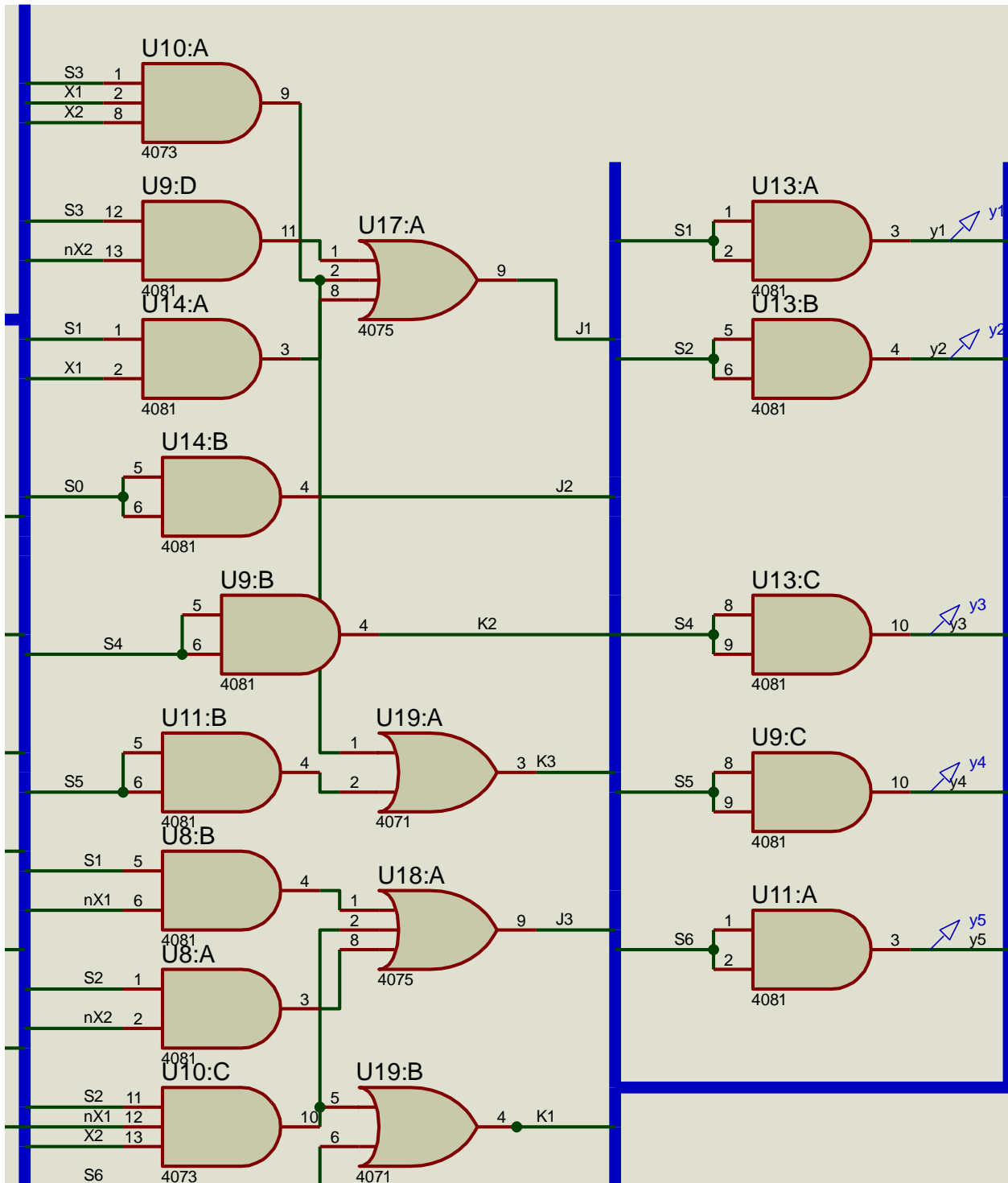
$$Y4 = s5$$

$$Y5 = s6$$

Частина функціональної схеми автомата Мура, що складається з комірок пам'яті (JK тригери) та дешифратор (74LS138).



Частини функціональної схема автомата Мура, що складається з комбінаційних схем визначення функцій переходів (схема ліворуч) та функцій виходів (схема праворуч).



2.3.3 Демонстрація роботи синтезованої схеми

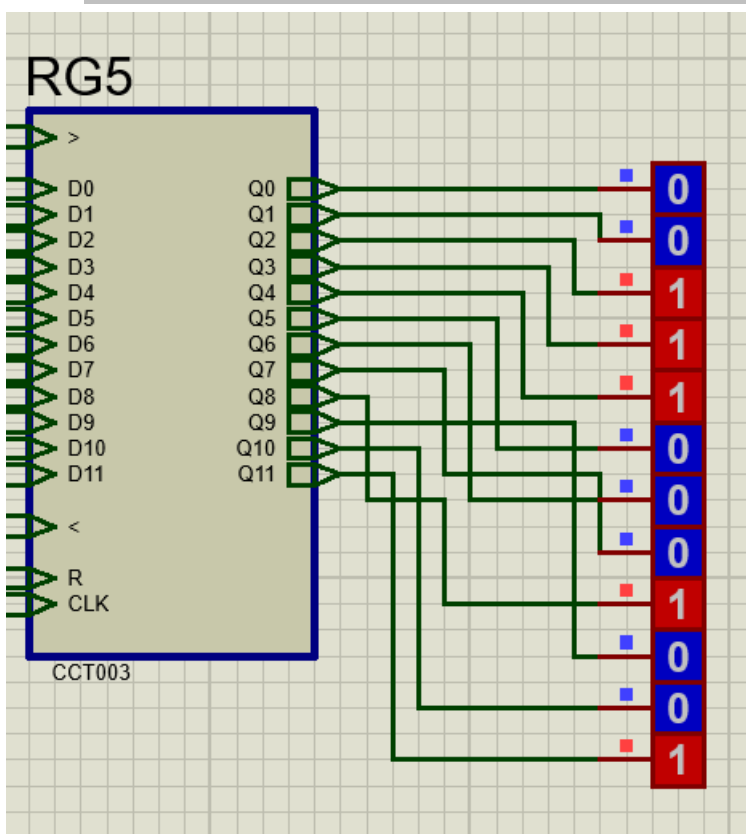
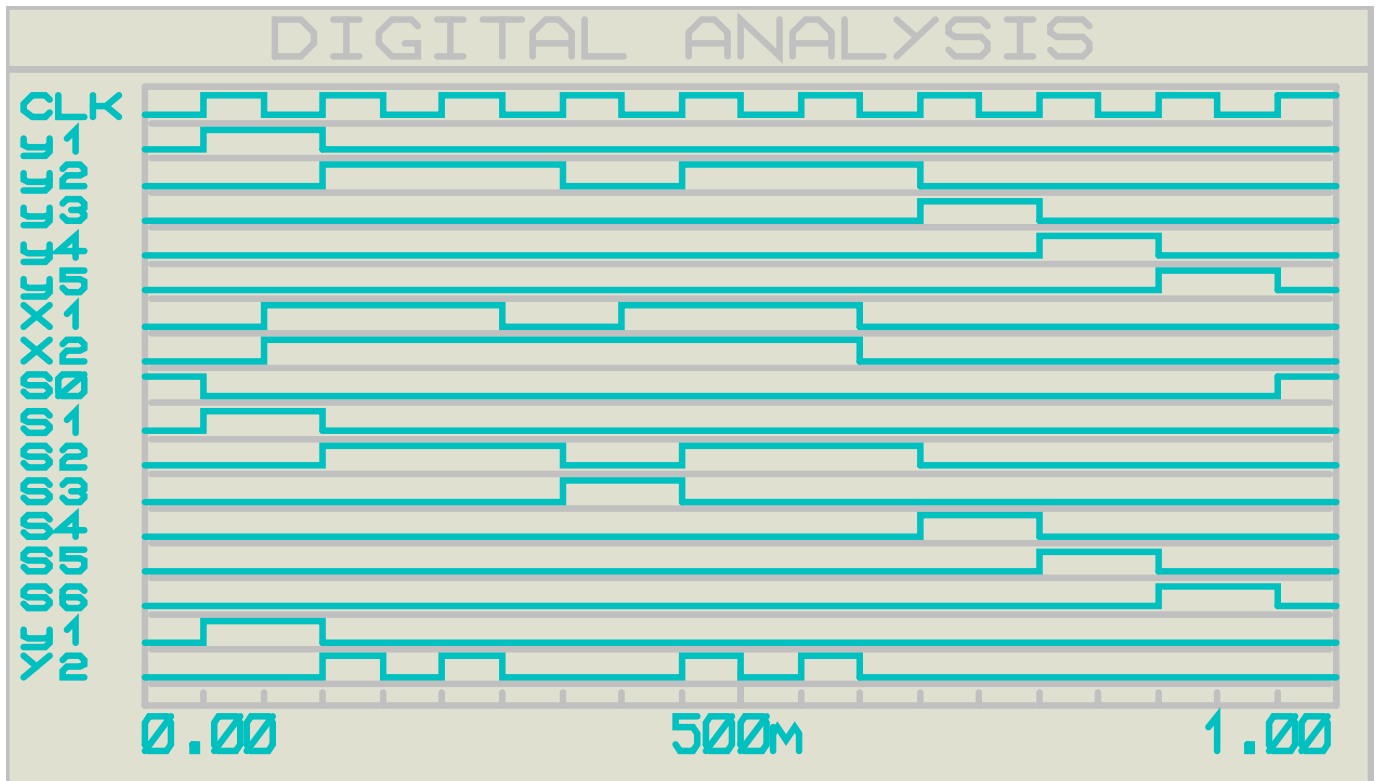
Графіки для вхідних та вихідних сигналів

A = 101011 43

B = 011010 26

C = 010100 20

(D=2A(B+1)+0,5C).

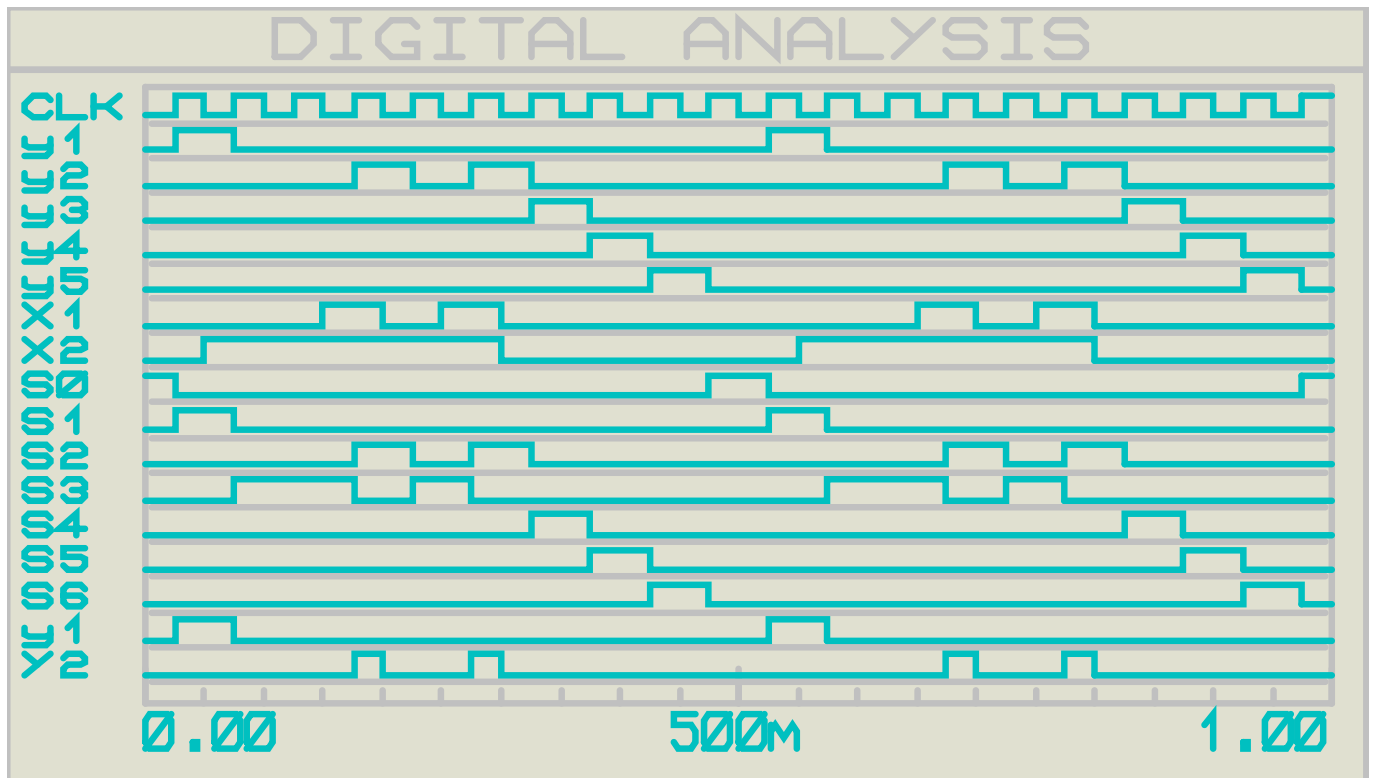
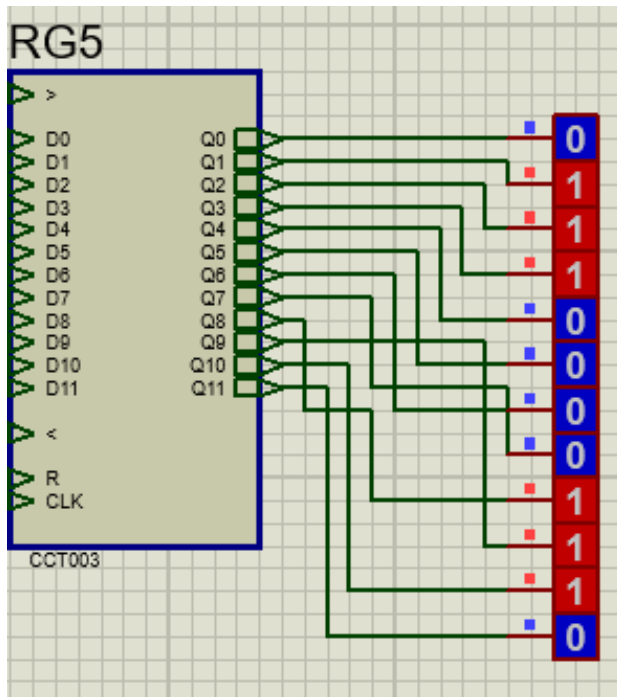


A = 101101 45

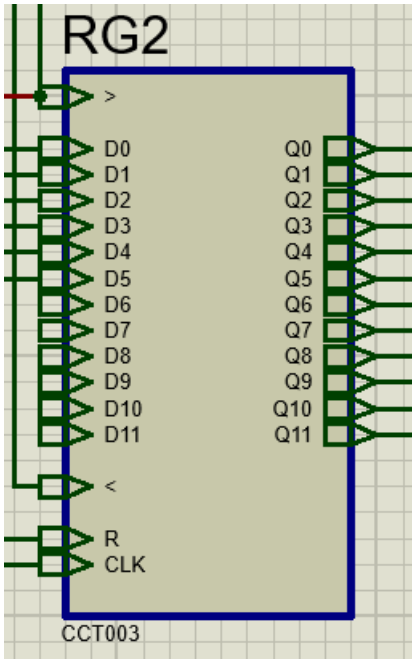
B = 011010 19

C = 010100 13

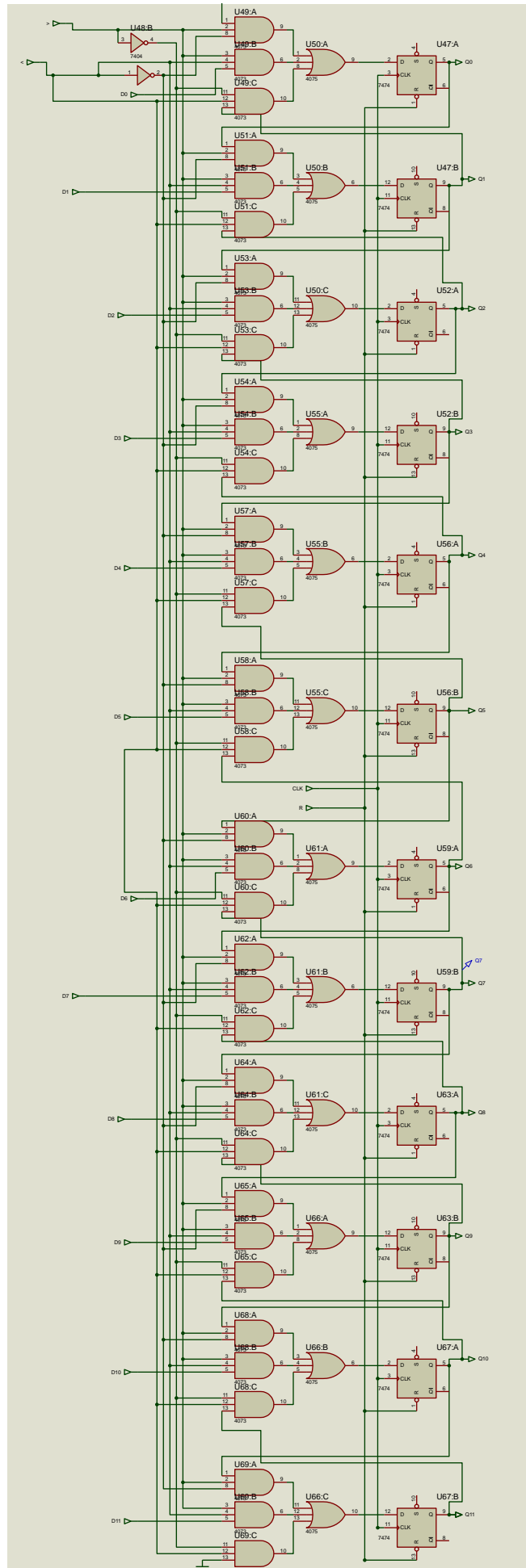
(D=2A(B+1)+0,5C).

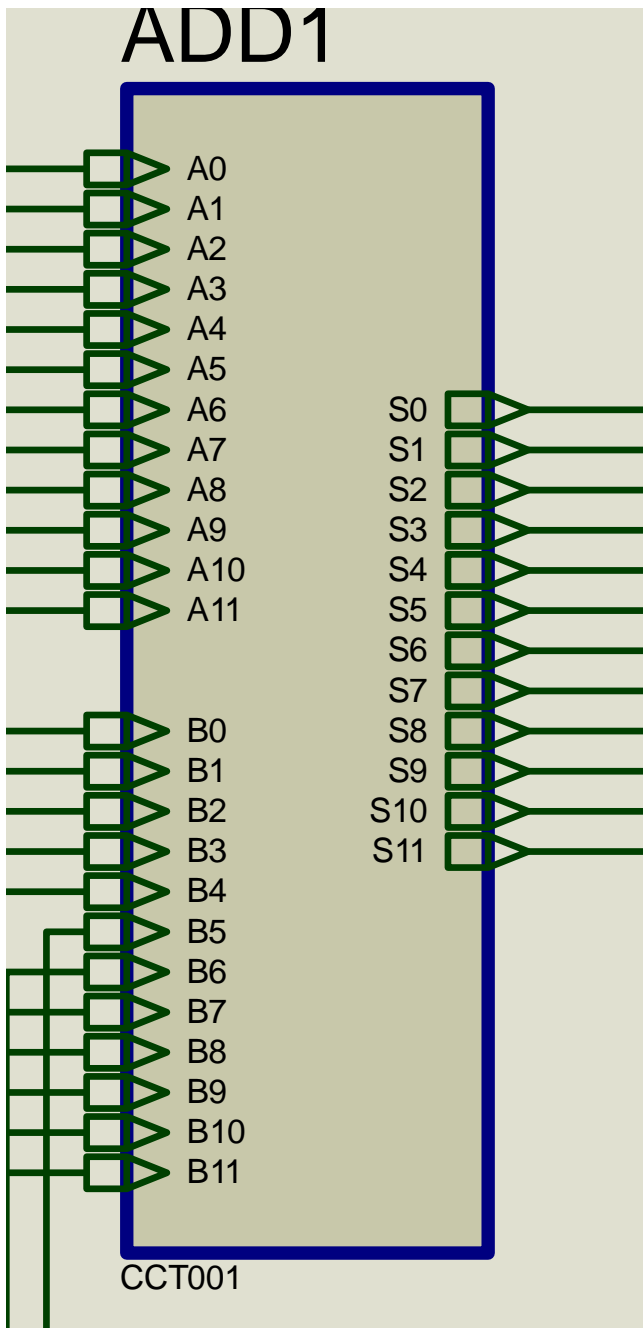


2.3.4 Основні елементи операційного автомату.

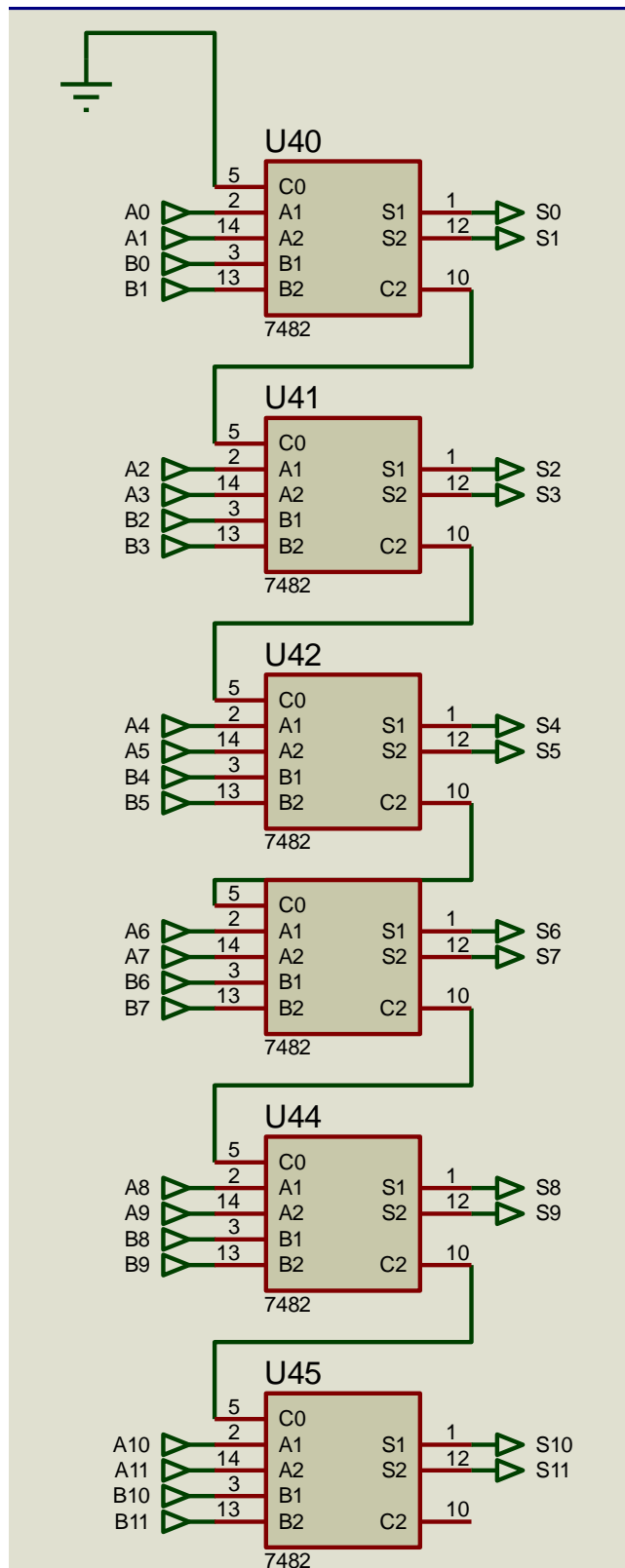


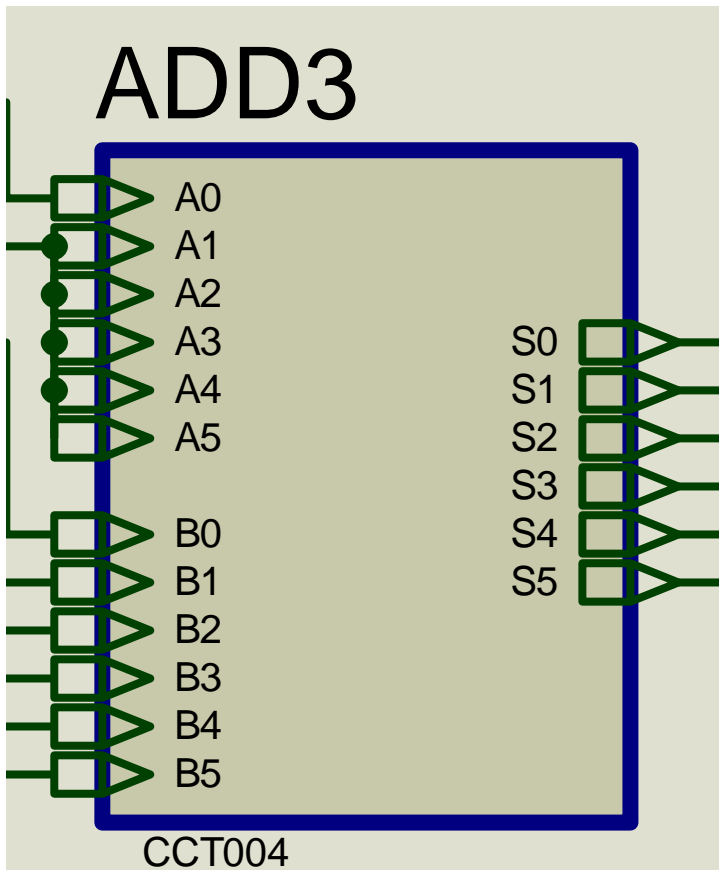
12-бітний регістр зсуву
з можливість паралельного
запису



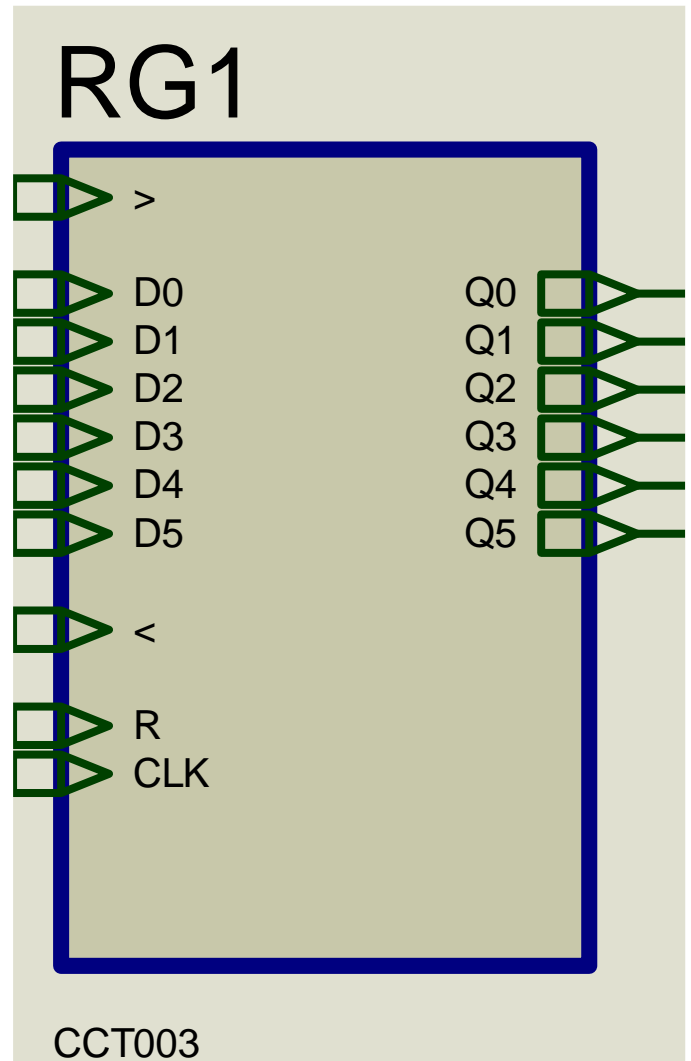


12-бітний суматор





6-бітні суматор та регістр



ВИСНОВКИ

У даній курсовій роботі було досліджено основні принципи розробки комбінаційних схем. У теоретичній частині розкрито усі необхідні поняття для виконання практичних завдань.

У першому практичному завданні на основі даної таблиці істинності було мінімізовані відповідні функції за методом Квайна Мак-Класкі, методом карт Карно та побудовано схему у заданому базисі елементів.

У другому завданні було спроектовано керуючий та операційний автомати, що виконують задану математичну операцію. У результаті було побудовано схему, які реалізують задану операцію $D=2A(B+1)+0,5C$, за умов, якщо $A \geq 0$, $B \geq 0$, $C \geq 0$.

Отриманні при виконанні завдань схеми було побудовано за допомогою спеціального програмного забезпечення Proteus 8.13, що дозволив виконати симуляцію роботи даного пристрою та перевірити коректність його роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабич М.П., Жуков І.А. Комп'ютерна схемотехніка: Навчальний посібник. – К.: «МК-Прес», 2004. – стр. 179-184.
2. Токхейм Р. Основы цифровой электроники: Пер. с англ.. – М.: Мир, 1988. – стр. 349-353.