

*Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні*

*Кафедра: Електроніки, інформаційних систем  
та програмного забезпечення*

**Підсумкова контрольна робота №2**

з дисципліни Цифрові логічні автомати

Завдання варіанту № \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Студента (ки) \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

м. Запоріжжя – 20\_\_ рік

## 1 Методичні вказівки до виконання завдань підсумкової контрольної роботи №2

Теорія цифрових автоматів розглядає абстрактний і структурний синтез цифрових автоматів.

Синтез комбінаційних логічних пристроїв включає складання формалізованого завдання, перетворення логічної функції з метою оптимізації, з врахуванням наявної елементної бази і побудова принципової схеми. Як вихідні дані може виступати описове завдання, логічна функція або таблиця істинності. Перетворення і мінімізацію здійснюють за допомогою теорем і положень алгебри логіки, карт Карно і логічної схеми пристрою.

1. Послідовність операцій синтезу цифрових пристроїв комбінаційного типу:

- складання таблиці істинності комбінаційного цифрового пристрою згідно його визначення, призначення, словесного опису принципу роботи;
- складання логічної формули згідно таблиці істинності;
- спрощення логічної формули;
- аналіз отриманої формули з метою побудови різних варіантів і знаходження найкращого з них по тих або інших критеріях;
- складання функціональної схеми комбінаційного цифрового пристрою з елементів І, АБО, НІ.

2. Аналітичний запис логічної формули комбінаційного цифрового пристрою.

Запис у формі ДДНФ.

У ДДНФ логічна формула є логічною сумою декількох логічних добутоків, в кожен з яких входять всі незалежні змінні із інверсією або без неї.

Формула здійснюється в два етапи.

а) записується логічна сума добутоків, в кожен з яких входять всі незалежні змінні. Кількість доданків дорівнює числу наборів таблиці істинності, на яких логічна функція дорівнює «1».

б) ставиться знак інверсії над тими незалежними змінними, які дорівнюють «0» в даному наборі.

### 3. Запис у формі ДКНФ.

У ДКНФ формула є логічним добутком декількох логічних сум, в кожен з яких входять всі незалежні змінні із інверсією або без неї.

Як і у попередньому випадку, формула здійснюється в два етапи.

а) записується логічний добуток всіх співмножників. Кількість співмножників дорівнює числу наборів таблиці істинності, на яких логічна функція дорівнює «0».

б) ставиться знак інверсії над тими незалежними змінними, які дорівнюють «1» в даному наборі.

Структурні формули у вигляді ДДНФ і ДКНФ еквівалентні і, за допомогою законів алгебри, логіки можуть бути перетворені одна в іншу.

### 4. Запис структурних формул в універсальних базисах.

Запис в базисі І-НІ здійснюється в два етапи:

а) логічна формула, мінімізована в основному базисі, представляється у мінімальній диз'юнктивній нормальній формі (МДНФ).

б) над правою частиною отриманої формули ставиться два знаки інверсії і за допомогою теореми де Моргана здійснюється перехід в базис І-НІ.

Запис в базисі АБО-НІ також здійснюється в два етапи:

а) логічна функція, мінімізована в основному базисі, представляється в мінімальній кон'юнктивній нормальній формі МКНФ;

в) над правою частиною отриманої формули проставляються два знаки інверсії, і за допомогою теореми де Моргана здійснюється перехід в базис АБО-НІ.

### 5. Абстрактний синтез цифрового автомата.

Абстрактний синтез не описує внутрішньої будови автомата, а дає опис взаємодії з довкіллям. До абстрактного синтезу відносять:

- визначення вхідного, вихідного і алфавіту станів, функції переходів і виходів;
- завдання графів автомата і таблиць переходів і виходів;
- мінімізацію числа станів.

Таким чином, для синтезу автомата необхідно виконати наступне:

а) визначити, яка комбінація станів тригерів відповідатиме кожному з внутрішніх станів автомата, тобто провести кодування внутрішніх станів автомата;

б) синтезувати комбінаційний пристрій формування сигналів  $x$ , управління тригерами використовуючи таблицю переходів;

в) синтезувати комбінаційний пристрій, який формує вихідні сигнали  $y$  автомата, використовуючи таблицю виходів.

При табличному способі завдання автомата Мілі описуються за допомогою двох таблиць. Одна з них таблиця переходів, друга таблиця виходів.

При табличному способі завдання автоматів Мілі таблиця переходів задає функцію  $Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t))$  (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Таблиця переходів відображає функцію переходів

	Вхідні стани ЦА				
Вхідний сигнал	Q0	Q1	Q2	⋮	Q <sub>i</sub>
x <sub>0</sub>	Q2	Q <sub>i</sub>	Q2	⋮	Q <sub>i</sub>
...	...				
x <sub>m</sub>	Q3	Q1	Q <sub>i</sub>	⋮	Q2

Рядкам таблиці відповідають вхідні значення, які можуть поступати на входи ЦА, тобто в таблиці стільки рядків, скільки елементів у вхідному алфавіті. Стовпцям таблиці відповідають стани автомата, тобто стовпців стільки, скільки станів в автомата. На пересіченні  $i$ -стовпця і  $m$ -рядка в

елементі таблиці вказується стан в який перейде ЦА під впливом вхідного сигналу  $x_m$  (якому відповідає  $m$ -рядок) із стану  $Q_i$  (якому відповідає  $i$ -стовпець).

Таблиці виходів автомата Мілі задає функцію  $y(t) = f(Q^n(t), x(t))$  (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Таблиця виходів для автомата Мілі

	Вхідні стани ЦА				
Вхідний сигнал	Q0	Q1	Q2	⋮	Q <sub>m</sub>
x0	y0	y3	y <sub>m</sub>	⋮	y4
...	...				
x <sub>m</sub>	y2	y1	y5	⋮	y <sub>m</sub>

Таблиця виходів має такий же вигляд як і таблиця переходів, лише на пересіченні  $i$ -стовпця і  $m$ -рядка в елементі таблиці вказується вихідне значення, яке сформує ЦА під впливом вхідного сигналу  $x_m$  (якому відповідає  $m$ -рядок) в стані  $Q_i$  (якому відповідає  $i$ -стовпець).

При графічному способі автомат задається у вигляді орієнтованого графа, вершини якого відповідають станам, а дуги - переходам між ними (рис. 2.1). Дуга, направлена з вершини  $Q_m$ , задає перехід в автоматі із стану  $Q_m$  в стан  $Q_s$ . На початку цієї дуги записується вхідний сигнал  $x_i$ , який викликає даний перехід  $Q_s = f(Q_m, x_i)$ .

Для графа автомата Мілі вихідний сигнал  $y_n$ , який формується на переході, записується в кінці дуги.

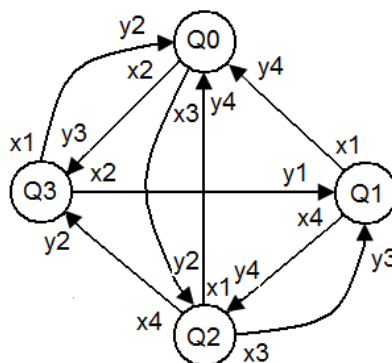


Рисунок 2.1 – Граф автомата Мілі

Автомат складається з набору елементарних автоматів (тригерів), комбінація станів яких в кожен момент часу визначає внутрішній стан в цілому всього автомата. Під впливом вхідних сигналів автомат повинен переходити з одного стану в інший. Для зміни стану автомата необхідно перемкнути один або декілька тригерів, які визначають стан автомата. Перемикання тригерів здійснюється подачею сигналів  $x$  на відповідні входи. Для формування сигналів управління тригерами використовується комбінаційний пристрій. Структура цього пристрою визначає функцію переходів автомата. Функція виходів реалізується іншим комбінаційним пристроєм, який формує вихідні сигнали автомата.

Для зберігання стану автомата використовується пам'ять, побудована на RS-тригерах, кожен з яких має два стани («0» або «1»). Число різних комбінацій станів  $m$  тригерів дорівнює  $2^m$ . Оскільки кожній з цих комбінацій може відповідати лише один певний стан автомата, вибір необхідного числа  $m$  тригерів повинен виконуватися з умови, що число станів автомата не перевищуватиме  $2^m$ . За заданими умовами автомат має чотири стани. Для його реалізації вистачає двох тригерів, тобто  $m = \log_2 4 = 2$ . Потім кожній комбінації станів тригерів потрібно поставити у відповідність певний стан автомата. Кодування станів автомата може виконуватися різними способами.

Внутрішня структура цифрового автомата представлена на рисунку 2.2. Комбінаційна схема №1 реалізує переходи автомата з одного стану в інше під впливом вхідних сигналів. Схема проектується виходячи із закодованої таблиці переходів і підграфа переходів вибраного елемента пам'яті.

Блок пам'яті є набором тригерів, які зберігають розряди закодованого номера стану. Кількість тригерів залежить від кількості станів, в яких може знаходитися автомат. І обчислюється як:

$$N = \log_2 M,$$

де  $M$  – кількість станів, а  $N$  – кількість тригерів.

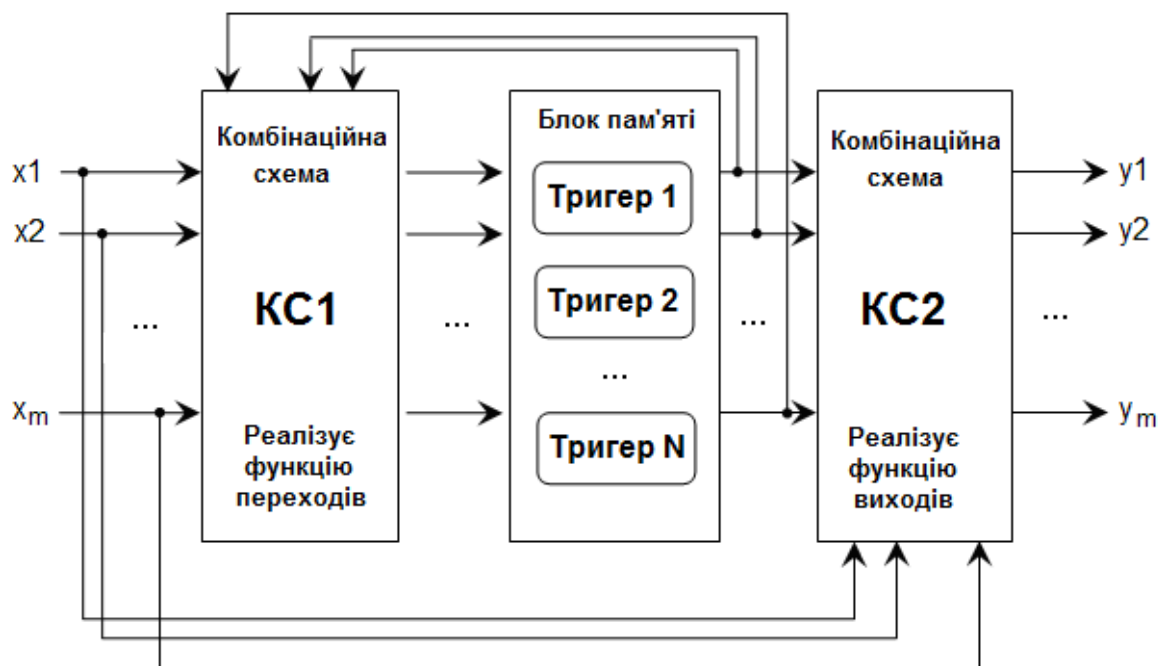


Рисунок 2.2 – Структурна схема цифрового автомата

Автомат складається з набору  $m$  елементарних автоматів (тригерів  $T_1, T_2, \dots, T_m$ ), комбінація станів яких в кожен момент часу визначає внутрішній стан в цілому всього автомата. Під впливом вхідних сигналів автомат повинен переходити з одного стану в інший. Для зміни стану автомата необхідно перемкнути один або декілька тригерів, які визначають стан автомата. Перемикання тригерів здійснюється подачею сигналів  $q_i$  на відповідні входи. Оскільки новий стан автомата визначається його попереднім станом і набором вхідних сигналів, то і сигнали  $q_i$  є функціями вихідних сигналів тригерів ( $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$ ) і вхідних сигналів автомата ( $x_1, x_2, \dots, x_m$ ).

## 2 Варіанти підсумкової контрольної роботи №2

Номер варіанту обирається згідно з порядковим номером студента в академічному журналі.

Робота оформлюється у паперовому вигляді з стандартним титульним листом.

Відповідь на запитання 1 контрольної роботи має розгорнутий вигляд і відповідає тематиці, яка розглянута у лекційному курсі.

Для позитивної оцінки розрахунки та схеми повинні бути виконані у повному обсязі.

### Завдання №1 «Синтез частково визначеного комбінаційного цифрового автомата»

Умови роботи комбінаційного цифрового автомата, що має чотири входи (A, B, C, D) і один вихід F, задані таблицею істинності (табл. 2.3), де номер варіанта визнається порядковим номером студента в журналі.

Таблиця 2.3 – **Варіанти** таблиць істинності частково визначених комбінаційних цифрових автоматів

№	A	B	C	D	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20
1	0	0	0	1	×	×	1	0	0	0	1	1	0	0	×	×	1	0	0	×	1	1	0	×
2	0	0	1	0	0	1	1	1	×	0	0	0	×	0	0	1	1	1	×	0	0	×	×	0
3	0	0	1	1	×	0	0	1	0	×	×	0	1	1	×	0	0	×	0	×	×	0	1	1
4	0	1	0	0	1	×	×	0	1	0	0	1	0	0	1	×	×	0	1	0	0	1	0	0
5	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	×	0	1	0	0	×	1	×	1	1	×
6	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	×	1	0	0	×	×	1	0	1	0	×	1	0
7	0	1	1	1	0	0	1	1	×	0	0	0	1	1	0	0	1	1	×	×	0	0	1	1
8	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	×	1	0	×	1	1	0	×	0	0
9	1	0	0	1	1	0	×	1	0	1	1	0	0	×	1	0	×	1	0	×	×	0	0	×
10	1	0	1	0	1	1	0	0	0	×	0	0	1	1	1	1	0	0	×	×	0	0	1	1
11	1	0	1	1	1	1	1	×	0	0	1	×	×	0	1	1	1	×	0	0	1	×	×	0
12	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	×	0	0	1	×	0	×	×	1	1	×	0	0	1



13	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	×	1	0	
14	1	1	1	0	0	1	1	×	1	0	1	1	0	1	0	×	1	×	×	0	1	1	0	×
15	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	×	1	0	1

Потрібно синтезувати функціональну логічну схему пристрою в базисі Шеффера I-НІ (для варіантів 1 ÷ 10) і в базисі Пірса АБО-НІ (для варіантів 11 ÷ 20), застосовуючи методи мінімізації заданої логічної функції за допомогою алгебраїчних перетворень і з використанням карт Карно.

### Методичні вказівки до виконання завдання № 1

Для побудови функціональної логічної схеми необхідно сформулювати умови її роботи і записати їх у вигляді логічної функції (ЛФ).

Синтез логічної схеми включає декілька етапів:

1) завдання ЛФ у вигляді таблиці істинності, в якій для кожного набору значень вхідних змінних вказують значення функції (0 або 1).

Знаком «×» показаний невизначений стан функції.

2) перехід від таблиці істинності до структурної формули в базисі I, АБО, НІ.

3) мінімізація ЛФ, з урахуванням можливості довизначення функції.

4) вибір елементної бази і запис структурної формули мінімізованої ЛФ у вибраному базисі (I-НІ і АБО-НІ).

5) побудова функціональної логічної схеми комбінаційного пристрою, послідовність з'єднання елементів якої визначається послідовністю виконання логічних операцій в структурній формулі.

Правило складання запису структурної формули у вигляді ДДНФ полягає в тому, що для кожного рядка таблиці істинності, в якій значення функції дорівнює «1», записується кон'юнкція (добуток) всіх вхідних змінних, а потім виконується логічне складання елементарних добутків. Якщо в даному наборі значення вхідних змінних дорівнюють «1» вони представляються у прямому вигляді, якщо значення якої-небудь вхідної

змінної в рядку таблиці істинності дорівнює «0», то така змінна записується у вигляді своєї інверсії.

Правило складання запису структурної формули у вигляді ДКНФ полягає в тому, що для кожного рядка таблиці істинності, в якій значення функції дорівнює «0», записується диз'юнкція (сума) всіх вхідних змінних, а потім виконується логічний добуток елементарних сум. Якщо в даному наборі значення вхідних змінних дорівнюють «0» вони представляються у прямому вигляді, якщо значення якої-небудь вхідної змінної в рядку таблиці істинності дорівнює «1», то така змінна записується у вигляді своєї інверсії.

Розглянемо приклад складання структурної формули для ЛФ, заданою таблицею істинності (табл. 2.4) стосовно трьох вхідних змінних (A, B, C).

Таблиця 2.4 – Таблиця істинності для ЛФ трьох змінних

№ набору	A	B	C	F
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	×
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	1

На рисунку 2.3 представлена карта Карно для трьох змінних A, B і C, в клітках якої проставлені значення функції F, на наборах значень координат, заданих таблицею 2.6.

У карті Карно координати сусідніх кліток повинні відрізнятися одна від одної значенням лише однієї змінної.

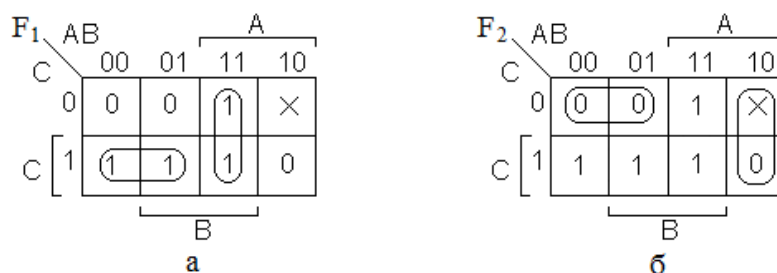


Рисунок 2.3 - Варіанти представлення карти Карно для функції F: а – для випадку запису  $F_1$  в ДДНФ; б – для випадку запису  $F_2$  в ДКНФ

Мінімізація ЛФ полягає в об'єднанні сусідніх кліток, що містять «1» (для здобуття МДНФ) або «0» (для здобуття МКНФ), що дозволяє виключити одну змінну при об'єднанні двох кліток. Функція не визначена «х» в наборі змінних  $A = 1, B = 0, C = 0$ . Таким чином, клітка  $A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$ , при необхідності, може прийняти значення «1» або «0» і функцію можливо довизначити. Цей прийом використаний при мінімізації функції  $F_2$ .

Мінімізовані функції:

$$F_1 = \bar{A} \cdot C + A \cdot B; \quad F_2 = (\bar{A} + \bar{C}) \cdot (A + \bar{B})$$

Для запису отриманих в результаті мінімізації ЛФ в базисах І-НІ і АБО-НІ використовують закон подвійної інверсії і теорему Де Моргана (закон дуальності), згідно якому інверсія множення дорівнює сумі інверсій, а інверсія суми дорівнює множенню інверсій.

Представимо функцію  $F_1$  в базисі І-НІ:

$$F_1 = \bar{A} \cdot C + A \cdot B = \overline{\overline{\bar{A} \cdot C + A \cdot B}} = \overline{\overline{\bar{A} \cdot C} \cdot \overline{A \cdot B}}$$

Представимо функцію  $F_2$  в базисі АБО-НІ:

$$F_2 = (\bar{A} + \bar{C}) \cdot (A + \bar{B}) = \overline{\overline{\bar{A} + \bar{C}} \cdot \overline{A + \bar{B}}} = \overline{\overline{\bar{A} + \bar{C}} + \overline{A + \bar{B}}}$$

Для технічної реалізації ЛФ використовується кількість логічних елементів типа І-НІ або АБО-НІ, що дорівнює числу інверсій в її алгебраїчному вираженні. На рисунку 2.4 представлена технічна реалізація функції  $F_1$  на логічних елементах І-НІ, а на рисунку 2.5 – технічна реалізація функції  $F_2$  на логічних елементах АБО-НІ.

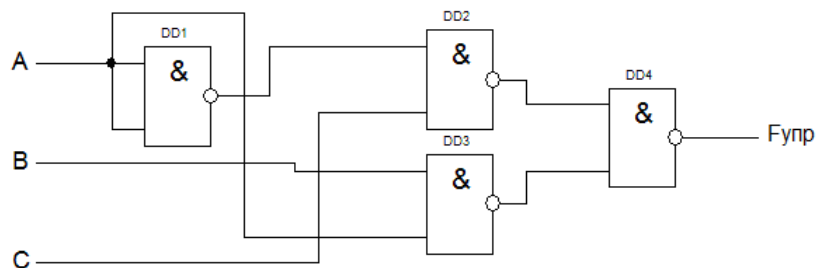


Рисунок 2.4 - Технічна реалізація функції  $F_1$  на логічних елементах І-НІ

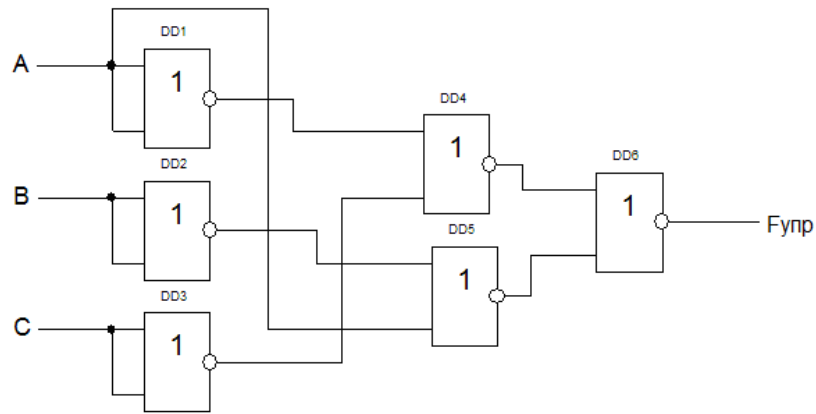


Рисунок 2.5 - Технічна реалізація функції  $F_2$  на логічних елементах АБО-НІ

### Завдання №2 «Синтез послідовнісного цифрового автомата»

Провести синтез автомата Мілі, функціонування якого описується заданими таблицями переходів і виходів. Представити граф автомата, що синтезується. Задаючи довільну двійкову послідовність (вхідне слово), визначити відповідну двійкову вихідну послідовність (вихідне слово) автомата. Побудувати структурну схему синтезованого автомата в базисі І, АБО, НІ.

Варіанти таблиць переходів і виходів визначаються згідно з номером варіанта з таблиці 2.7. Визначається послідовність восьми станів (з чотирьох заданих:  $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3$ ).

Ця послідовність построчно зліва направо і зверху вниз заноситься в таблицю переходів, що складається з двох рядків, верхній з яких визначає подальші стани автомата під впливом вхідного сигналу  $x = 0$ , а нижній під впливом вхідного сигналу  $x = 1$ .

Представити число з варіантів приведених в таблиці 2.4 в двійковій системі числення. Ця двійкова послідовність построчно зліва направо і зверху вниз заноситься в таблицю виходів, верхній рядок якої визначатиме вихідні сигнали автомата під впливом вхідного сигналу  $x = 0$ , а нижній під впливом вхідного сигналу  $x = 1$ .

Таблиця 2.7 - **Варіанти** таблиць переходів

№ набору	Послідовність станів автомата Мілі							
	0	Q0	Q3	Q2	Q1	Q3	Q1	Q2
1	Q2	Q1	Q3	Q0	Q3	Q1	Q0	Q2
2	Q1	Q2	Q0	Q3	Q3	Q2	Q0	Q1
3	Q3	Q0	Q1	Q2	Q0	Q1	Q3	Q2
4	Q3	Q0	Q1	Q2	Q0	Q3	Q2	Q1
5	Q0	Q3	Q2	Q2	Q3	Q2	Q1	Q0
6	Q0	Q1	Q3	Q1	Q3	Q2	Q0	Q2
7	Q2	Q3	Q0	Q2	Q1	Q2	Q0	Q3
8	Q2	Q0	Q1	Q3	Q0	Q2	Q3	Q1
9	Q2	Q0	Q2	Q0	Q3	Q1	Q0	Q2
10	Q3	Q2	Q3	Q0	Q1	Q0	Q3	Q0
11	Q2	Q3	Q0	Q1	Q0	Q3	Q0	Q2
12	Q3	Q0	Q1	Q0	Q3	Q0	Q2	Q3
13	Q0	Q1	Q0	Q3	Q0	Q2	Q3	Q1
14	Q1	Q0	Q3	Q0	Q2	Q3	Q1	Q3
15	Q0	Q3	Q0	Q2	Q3	Q1	Q3	Q0
16	Q3	Q0	Q2	Q3	Q1	Q3	Q0	Q2
17	Q0	Q2	Q3	Q1	Q3	Q0	Q2	Q1
18	Q2	Q3	Q1	Q3	Q0	Q2	Q1	Q0
19	Q3	Q1	Q3	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2
20	Q1	Q3	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q3

Для побудови цифрового автомата Мілі для парних варіантів використати JK – тригери, для непарних варіантів RS – тригери.

Таблиця 2.8 - **Варіанти** завдань для заповнення таблиць виходів

Варіант	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Число	154	138	200	189	167	188	175	235	223	131
Варіант	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Число	169	144	158	199	181	233	148	212	166	223

Розглянемо приклад визначення завдання для варіанту № 19. З приведеної таблиці 2.7 вибирається рядок під номером 19.

Число 166 вибране з таблиці 2.8 для варіанту №19 записується в двійковій системі числення як 10100110. Заповнюємо відповідні таблиці, як це показано на рисунку 2.8.

Таблиця переходів автомата Мілі

Вхідний сигнал	Q0	Q1	Q2	Q3
0	Q2	Q0	Q2	Q0
1	Q3	Q1	Q0	Q2

Таблиця виходів автомата Мілі

Вхідний сигнал	Q0	Q1	Q2	Q3
0	1	0	1	0
1	0	1	1	0

Рисунок 2.8 – Заповнення відповідних таблиць для варіанту №19

### Методичні вказівки до виконання завдання № 2

При табличному способі завдання автомата Мілі описуються за допомогою двох таблиць. Одна з них таблиця переходів, друга таблиця виходів.

Таблиця переходів задає функцію  $Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t))$  (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 - Таблиця переходів відображає функцію переходів

Вхідний сигнал	Q0	Q1	Q2	Q3
0	Q2	Q0	Q2	Q0
1	Q3	Q1	Q0	Q2

Рядкам таблиці відповідають вхідні значення, які можуть поступати на входи ЦА, тобто в таблиці стільки рядків, скільки елементів у вхідному алфавіті. Стовпцям таблиці відповідають стани автомата, тобто стовпців стільки, скільки станів в автомата. На пересіченні  $i$ -стовпця і  $m$ -рядка в елементі таблиці вказується стан в який перейде ЦА під впливом вхідного сигналу  $x_m$  (якому відповідає  $m$ -рядок) із стану  $Q_i$  (якому відповідає  $i$ -стовпець).

Таблиця виходів автомата Мілі задає функцію  $y(t) = f(Q^n(t), x(t))$  (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 - Таблиця виходів для автомата Мілі

Вхідний сигнал	Q0	Q1	Q2	Q3
0	1	0	1	0
1	1	1	0	1

Таблиця виходів має такий же вигляд як і таблиця переходів, лише на пересіченні  $i$ -стовпця і  $m$ -рядка в елементі таблиці вказується вихідне значення, яке сформує ЦА під впливом вхідного сигналу  $x_m$  (якому відповідає  $m$ -рядок) в стані  $Q_i$  (якому відповідає  $i$ -стовпець).

При графічному способі автомат задається у вигляді орієнтованого графа, вершини якого відповідають станам, а дуги - переходам між ними (рис. 2.9). Дуга, направлена з вершини  $Q_m$ , задає перехід в автоматі із стану  $Q_m$  в стан  $Q_s$ . На початку цієї дуги записується вхідний сигнал  $x_i$ , який викликає даний перехід  $Q_s = f(Q_m, x_i)$ .

Для графа автомата Мілі вихідний сигнал  $y_n$ , який формується на переході, записується в кінці дуги.

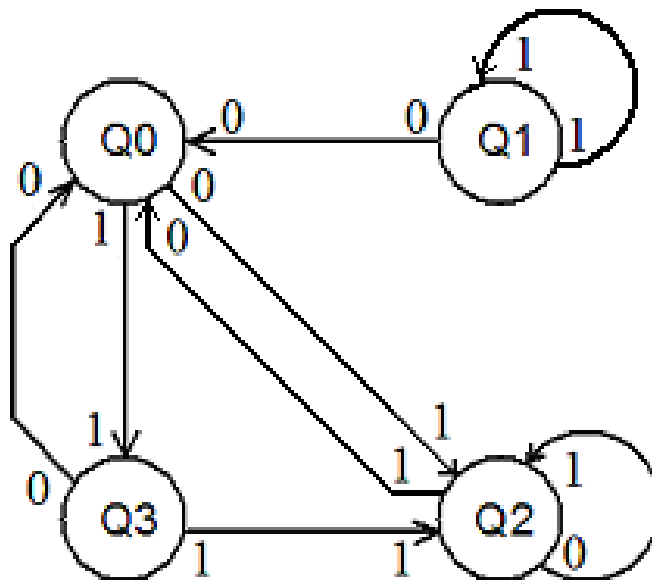


Рисунок 2.9 – Граф автомата Мілі

Автомат складається з набору елементарних автоматів (тригерів), комбінація станів яких в кожен момент часу визначає внутрішній стан в цілому всього автомата. Під впливом вхідних сигналів автомат повинен переходити з одного стану в інший. Для зміни стану автомата необхідно перемкнути один або декілька тригерів, які визначають стан автомата. Перемикання тригерів здійснюється подачею сигналів  $x$  на відповідні входи. Для формування сигналів управління тригерами використовується комбінаційний пристрій. Структура цього пристрою визначає функцію переходів автомата. Функція виходів реалізується іншим комбінаційним пристроєм, який формує вихідні сигнали автомата.

Для зберігання стану автомата використовується пам'ять, побудована на RS-тригерах, кожен з яких має два стани («0» або «1»). Число різних комбінацій станів  $m$  тригерів дорівнює  $2^m$ . Оскільки кожній з цих комбінацій може відповідати лише один певний стан автомата, вибір необхідного числа  $m$  тригерів повинен виконуватися з умови, що число станів автомата не перевищуватиме  $2^m$ . За заданими умовами автомат має чотири стани. Для його реалізації вистачає двох тригерів, тобто  $m = \log_2 4 = 2$ . Потім кожній комбінації станів тригерів потрібно поставити у відповідність певний стан автомата. Кодування станів автомата може виконуватися різними способами. Для автомата, який синтезується, кодування його станів виконаємо відповідно до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Кодування станів автомата Милі

Стан автомата	Стан тригерів	
	F2	F1
Q0	0	0
Q1	0	1
Q2	1	0
Q3	1	1

Далі заповнимо таблицю 2.12 функціонування автомата, заданого графом, представленим на рисунку 2.9.



Таблиця 2.12 – Таблиця функціонування автомата Мілі

Вхідний сигнал $x$	Попередній стан		Сигнал стану		Сигнали управління тригерами				Вихідний сигнал $y$
	$F2^n(t)$	$F1^n(t)$	$F2^{n+1}(t)$	$F1^{n+1}(t)$	S2	R2	S1	R1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	1	0	1	0	0	×	1
0	0	1	0	0	0	×	0	1	0
0	1	0	1	0	×	0	0	×	1
0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	×	×	0	1
1	1	0	0	0	0	1	0	×	0
1	1	1	1	0	×	0	0	1	1

Розглянемо детальніше заповнення таблиці функціонування автомата Мілі. У першому стовпці записуються всі можливі комбінації коду вхідного сигналу. У стовпцях 2-5 стани автомата. Для заданого вхідного сигналу і стану автомата (табл. 2.9) по графу (рис. 2.9) знаходиться значення вхідного сигналу, яке записується відповідно до кодування (табл. 2.11) в другому і третьому стовпцях таблиці, і наступний стан автомата, в якій він переходить. Код цього стану заноситься в четвертий і п'ятий стовпці таблиці.

Стовпці з 6 по 9 відведені для запису сигналів управління тригерами. Управління тригерами здійснюється подачею сигналів на входи установки «0» (вхід R) і установки «1» (вхід S). Ці сигнали для кожного тригера визначаються порівнянням станів у момент часу  $F^n(t)$  и в наступний момент часу  $F^{n+1}(t)$ . Наприклад, в першому рядку таблиці  $F2^n(t) = 0$ ,  $F2^{n+1}(t) = 1$ . Це означає, що згідно словнику переходів RS-тригера:

Перезід	S	R
0 → 0	0	×
0 → 1	1	0
1 → 0	0	1
1 → 1	×	0

другий тригер переводиться із стану «0» в стан «1», для чого має бути поданий сигнал «1» на вхід S2 і «0» на вхід R2. У випадках коли логічний

рівень сигналу управління невизначений («0» або «1»), відповідні клітки таблиці залишаються порожніми або в них заноситься символ «x».

Для побудови комбінаційного пристрою, який формує сигнали управління тригерами, складемо для цих сигналів (S2, R2, S1, R1) таблиці істинності у формі карт Карно (рис. 2.10).

S1		F2 <sup>n</sup> (t)			
		0	0	0	0
x		1	x	0	0
		F1 <sup>n</sup> (t)			

R1		F2 <sup>n</sup> (t)			
		x	1	1	x
x		0	0	1	x
		F1 <sup>n</sup> (t)			

S2		F2 <sup>n</sup> (t)			
		1	x	0	x
x		1	0	0	0
		F1 <sup>n</sup> (t)			

R2		F2 <sup>n</sup> (t)			
		0	x	0	0
x		1	x	1	0
		F1 <sup>n</sup> (t)			

Рисунок 2.10 – Карты Карно для комбінаційного пристрою, який формує сигнали управління тригерами

Розглядаючи S2, R2, S1 і R1 як неповністю визначені логічні функції аргументів F2, F1, і x запишемо МДНФ цих функцій:

$$S1 = \overline{F2} \cdot x; \quad R1 = F2 + \overline{x}; \quad S2 = \overline{F2} \cdot \overline{F1}; \quad R2 = \overline{F2} \cdot x + F1 \cdot x.$$

Для побудови комбінаційного пристрою, який формує вихідний сигнал автомата, будемо таблицю істинності у формі карти Карно для y (рис. 2.11).

y		F2 <sup>n</sup> (t)			
		1	1	0	1
x		0	0	1	1
		F1 <sup>n</sup> (t)			

Рисунок 2.11 - Карта Карно для комбінаційного пристрою, який формує сигнал виходу

МДНФ функції вихідного сигналу:

$$y = \overline{\overline{F2}} \cdot \overline{x} + F2 \cdot \overline{F1} + F2 \cdot x.$$

Використовуючи отримані логічні вирази і вибравши як базис логічні елементи І, АБО, НІ, побудуємо структурну схему абстрактного автомата, який синтезується (рис. 2.12).

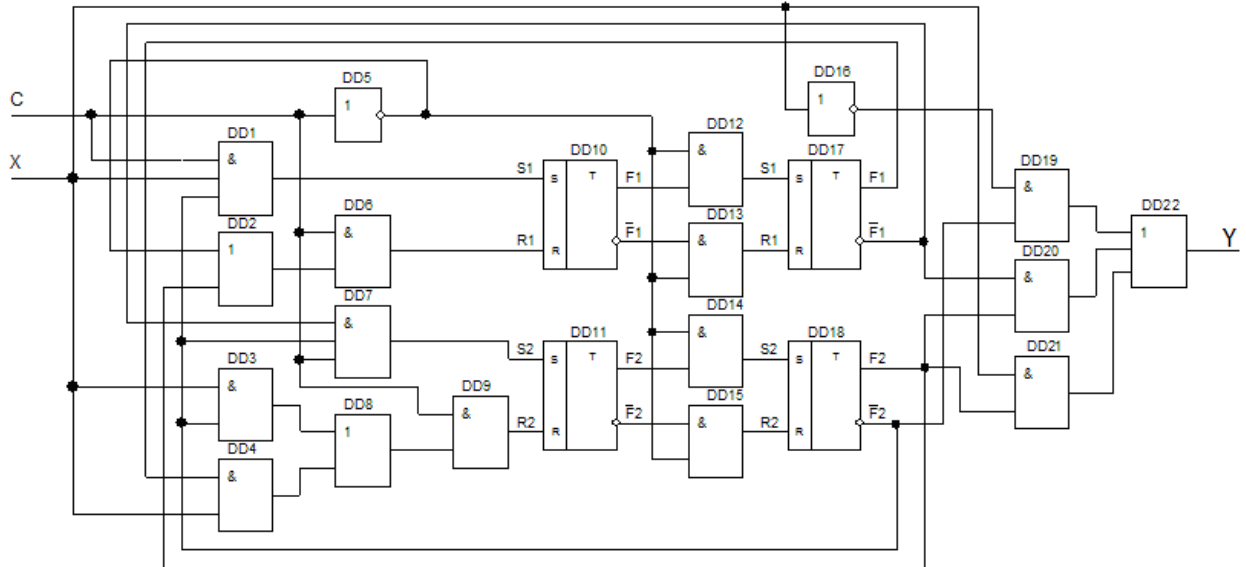


Рисунок 2.12 - Структурна схема синтезованого абстрактного автомата Мілі

При цьому тригери встановлюються в стани  $F1^{t+1}$  і  $F2^{t+1}$ , відповідно до заданого таблицею переходів законом функціонування автомата. Проте на час дії сигналу  $F_{упр.}$  (такту  $t$ ) виходи ( $F$  і  $\bar{F}$ ) входних тригерів DD9 і DD10 блоковані групою схем I, на вхід кожною з яких поступає сигнал  $F_{упр.}$ . В цей же час група вихідних тригерів DD15 і DD16 зберігають свої стани  $F1^t$  і  $F2^t$ , і лише їх вихідні сигнали поступають на входи обох комбінаційних схем і спільно з входнім сигналом  $X$  визначають логіку роботи автомата. Після закінчення дії управляючого імпульсу  $F_{упр.}$ , протягом такту  $(t+1)$  сигнали з виходів тригерів DD9 і DD10 через схеми I, на входи яких вже поступає вирішуючий інверсний сигнал  $F_{упр.}$ , подаються на відповідні входи тригерів DD15 і DD16, внаслідок чого останні переходять в стани  $F1^{t+1}$  і  $F2^{t+1}$ . Завдяки наявності в схемі автомата додаткових тригерів DD15 і DD16, сигнали  $F1^t$  і  $F2^t$  на вході комбінаційного пристрою зберігаються незмінними протягом всього часу (такту  $t$ ) дії управляючого імпульсу  $F_{упр.}$ . Це відповідає алгоритму роботи синхронного двоступінчатого MS – тригера.

Основний рівень (M) служить для запису вхідного сигналу і попереднього запам'ятовування нового стану автомата, а допоміжний рівень (S) – для переходу автомата в новий стан і подальшого його зберігання.

Загальна схема цифрового автомата складається з схеми комбінаційного автомата ( $F_{упр}$ ), яка управляє абстрактним автоматом (рис. 2.13)

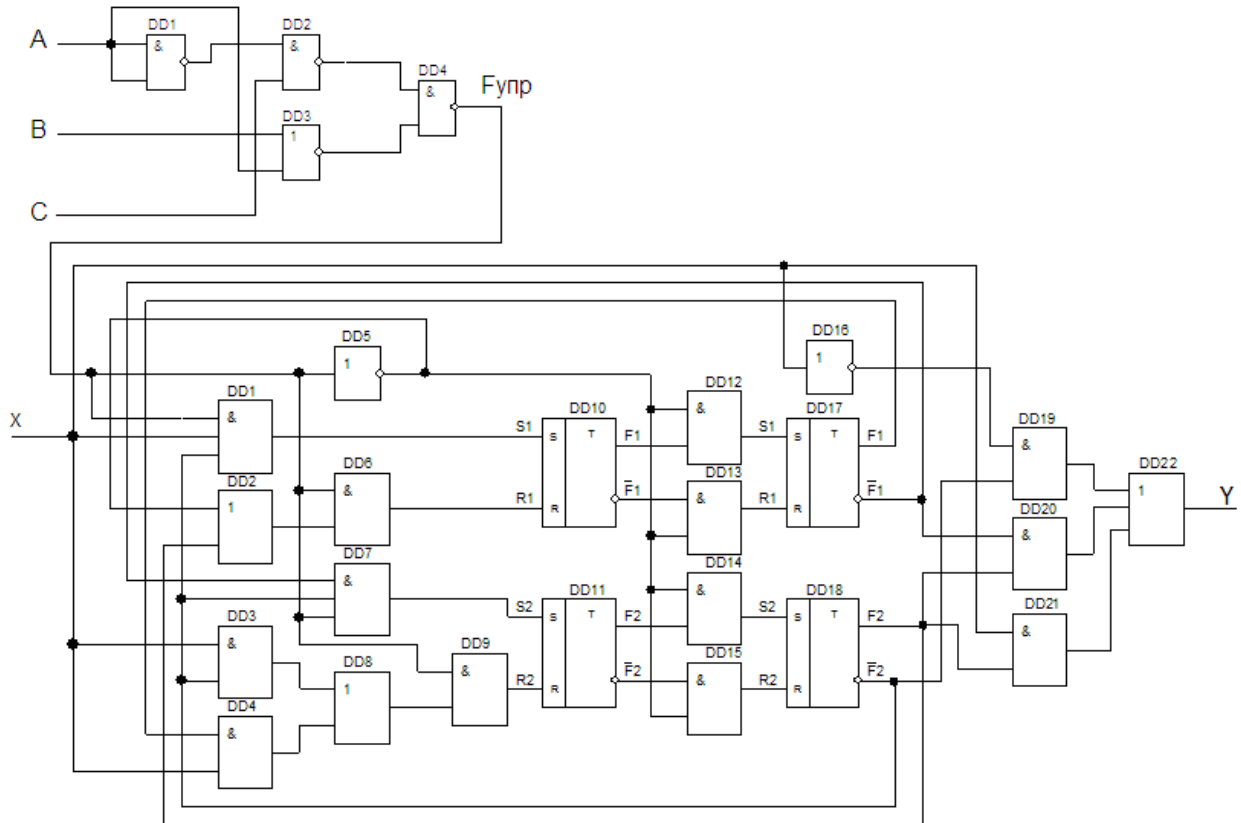


Рисунок 2.13 – Загальна схема розрахованого цифрового автомата

### Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: Підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.
4. Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. Основи схемотехніки електронних систем: Підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.