

Міністерство освіти і науки України  
Інженерний навчально-науковий інститут  
Запорізького національного університету

Верьовкін Л.Л.

## **ЦИФРОВІ ЛОГІЧНІ АВТОМАТИ**

Методичні рекомендації до практичних занять  
для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня  
за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної  
програми «Мікро- та наносистемна техніка»

Міністерство освіти і науки України  
Інженерний навчально-науковий інститут  
Запорізького національного університету

Верьовкін Л.Л.

## **ЦИФРОВІ ЛОГІЧНІ АВТОМАТИ**

Методичні рекомендації до практичних занять  
для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня  
за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної  
програми «Мікро- та наносистемна техніка»

Затверджено  
Вченою  
радою ЗНУ  
Протокол № 11  
від 23.06.2021

Запоріжжя  
2021

УДК 621.38

В

Верьовкін Л.Л. Цифрові логічні автомати. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 32 с.

Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни «Цифрові логічні автомати» розроблено для студентів денної та заочної форм навчання інженерно-технічних спеціальностей та освітньо-професійних програм Інженерного навчально-наукового інституту. Запропоновані приклади розв'язання завдань по фізичним основам роботи, конструкції, технології виготовлення та основним параметрам оптоелектронних приладів та цифрових логічних систем.

Рецензент

Коваленко В.Л., доктор технічних наук, професор кафедри електротехніки та енергоефективності

Відповідальний за випуск

Т.В. Критська, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

## Зміст

Вступ .....	4
1. Програма навчальної дисципліни .....	6
2. Тематика практичних занять .....	7
3. Методичні рекомендації до виконання практичних завдань .....	7
3.1 Комбінаційні цифрові автомати .....	7
3.2 Синтез частково визначених цифрових автоматів .....	8
3.3 Основні поняття та визначення теорії послідовнісних цифрових автоматів .....	12
3.4 Математична модель цифрових автоматів .....	13
3.5 Різновиди цифрових автоматів .....	14
3.6 Синтез послідовнісного цифрового автомата .....	17
Література .....	21

## Вступ

**Метою** викладання дисципліни «Цифрові логічні автомати» є формування знань і навичок використання принципів функціонування аналогових і цифрових електронних приладів, опанування способами та методами їх синтезу, вміння використовувати інтегральні схеми при розробці пристроїв промислової електроніки та систем керування промисловим обладнанням..

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є: ознайомлення студентів з основами складу мікропроцесорів; одержання практичних навичок використання функціональних вузлів мікропроцесорної техніки в електронних пристроях; уміння правильно та оптимально виконувати розрахунки функціональних вузлів мікропроцесорних систем.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність використовувати математичні принципи і методи для правлтування та застосування мікро- та наносистемної техніки.
- здатність застосовувати відповідні наукові та інженерні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, комп'ютерні мережі, бази даних та Інтернет-ресурси для розв'язання професійних задач в галузі мікро- та наносистемної техніки.
- здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.
- здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем.
- здатність застосовувати на практиці галузеві стандарти та стандарти якості щодо мікро- та наносистемної техніки.

- здатність застосовувати знання з моделювання функціональних вузлів мікроелектроніки та конструювання приладів на їх основі.

Методичні вказівки містять індивідуальні контрольні завдання з курсу «Цифрові логічні автомати» та приклади розв'язання завдань з кожної теми. Для підготовки до лекцій, практичних занять та самостійної проробки матеріалу студенти можуть використати приведені теоретичні відомості з курсу.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### Змістовий модуль 1. Методи синтезу комбінаційних цифрових логічних автоматів

Канонічний метод синтезу комбінаційних цифрових логічних автоматів. Характеристики комбінаційних цифрових логічних автоматів. Системи (серії) логічних елементів і їх основні характеристики.

#### Змістовий модуль 2. Методи аналізу комбінаційних цифрових логічних автоматів

Синтез цифрових автоматів з урахуванням обмежень на коефіцієнт дозволу. Синтез цифрових автоматів з урахуванням обмежень на коефіцієнт об'єднання. Аналіз комбінаційних цифрових логічних автоматів. Аналіз комбінаційних схем методом  $\pi$ -алгоритма. Аналіз цифрових автоматів методом синхронного моделювання. Аналіз цифрових автоматів методом асинхронного моделювання.

#### Змістовий модуль 3. Елементарні цифрові автомати – елементи пам'яті.

Елементи пам'яті структурного автомата – тригери RS, D, T, JK-типів. Особливості синтезу автоматів на базі T, RS, JK тригерів. Структурний синтез часткового автомата.

#### Змістовий модуль 4. Способи подання абстрактного автомата

Основні поняття, пов'язані з абстрактними автоматами. Способи подання абстрактних автоматів. Приклади синтезу абстрактних автоматів.

#### Змістовий модуль 5. Синтез структурного автомата

Етапи канонічного методу структурного синтезу автоматів. Кодування множин вхідних сигналів, вихідних сигналів та станів абстрактного кінцевого автомата. Побудова канонічної таблиці структурного автомата. Вибір елементів пам'яті автомата. Отримання значень вхідних сигналів тригерів. Побудова рівнянь булевих функцій для вихода автомата і входів тригерів. Побудова функціональної схеми автомата.

#### Змістовий модуль 6. Синтез мікропрограмного автомата за схемою алгоритму

Алгоритм побудови управляючого пристрою. Синтез автомата Мілі. Побудова змістовної схеми алгоритму. Синтез автомата Мура. Побудова змістовної схеми алгоритму.

#### Змістовий модуль 7. Проектування комбінаційних автоматів на правлінь рах і мультиплексорах

Синтез комбінаційних автоматів на дешифраторах. Реалізація за допомогою дешифратора функції, заданої таблицею істинності. Синтез комбінаційних автоматів на мультиплексорах. Реалізація функцій, які залежить від більшої кількості змінних, ніж кількість адресних входів у мультиплексора.

#### Змістовий модуль 8. Контрольні автомати

Код з простим та інверсним повторенням. Кореляційний код. Код Бауера. Код Бергера. Код Хеммінга.

## 2. Тематика практичних занять

Практичне заняття 1. Канонічний метод синтезу комбінаційних цифрових логічних автоматів.

Практичне заняття 2. Серії логічних елементів і їх основні характеристики

Практичне заняття 3. Синтез цифрових автоматів з урахуванням обмежень.

Практичне заняття 4. Аналіз комбінаційних цифрових логічних автоматів.

Практичне заняття 5. Елементи пам'яті структурного автомата – тригери RS, D, T, JK-типів.

Практичне заняття 6. Структурний синтез часткового автомата.

Практичне заняття 7. Способи подання абстрактного автомата.

Практичне заняття 8. Приклади синтезу абстрактних автоматів.

Практичне заняття 9. Етапи канонічного методу структурного синтезу автоматів.

Практичне заняття 10. Побудова канонічної таблиці структурного автомата.

Практичне заняття 11. Побудова функціональної схеми автомата.

Практичне заняття 12. Алгоритм побудови управляючого пристрою.

Практичне заняття 13. Побудова змістовної схеми алгоритму.

Практичне заняття 14. Синтез комбінаційних автоматів на дешифраторах.

Практичне заняття 15. Синтез комбінаційних автоматів на мультиплексорах.

Практичне заняття 16. Контрольні автомати.

## 3. Методичні рекомендації до виконання практичних завдань

### 3.1 Комбінаційні цифрові автомати

Цифровий (дискретний) автомат – пристрій, який здійснює прийом, зберігання і перетворення дискретної інформації по деякому алгоритму. Прикладами цифрових автоматів можуть служити живі організми, процесори, побутова техніка, калькулятори – це реальні пристрої, а також абстрактні, наприклад, моделі алгоритмів. Цифрові автомати можуть бути комбінаційного і послідовнісного типу.



Комбінаційною схемою прийнято називати пристрій з  $n$  входами і  $m$  виходами, в якого сукупність вихідних сигналів в даний момент часу повністю визначається сукупністю вхідних сигналів, що діють в даний момент часу і не залежить від вхідних сигналів, що діяли в попередні моменти часу.

Під синтезом комбінаційного цифрового автомату мається на увазі побудова логічної схеми в заданому базисі логічних елементів.

Синтез комбінаційних цифрових автоматів 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.

### **Правила старшинства логічних операцій.**

Інверсія – логічна дія першого рівня.

Кон'юнкція – логічна дія другого рівня.

Диз'юнкція – логічна дія третього рівня.

Якщо в логічному виразі зустрічаються дії різних рівнів, то правтк виконуються дії першого рівня, потім другого, і лише після цього – третього рівня. Всяке відхилення від цього порядку має бути позначене дужками.

## 3.2 Синтез частково визначених цифрових автоматів

В деяких випадках при завданні автомата не визначені всі можливі переходи з окремих станів для конкретних вхідних сигналів. У таких випадках автомат називається частково визначеним. Ознакою часткової визначеності автомата є наявність незаповнених кліток в таблиці переходів і виходів.

Логічні функції можуть мати різні форми представлення: словесне, табличне, алгебраїчне, графічне.

Таблиця істинності містить усі  $2^k$  ( $k$  – кількість логічних змінних) можливі набори значень логічних змінних і значення функції, які відповідають кожному з наборів.

Аби здійснити перехід від табличного представлення до алгебраїчного, кожному набору змінних ставиться у відповідність правлін або макстерм.

Наприклад. Функція  $F = 1$  коли значення змінних  $A \neq B$  і  $F = 0$ , коли  $A = B$ .

A	B	Мінтерми	Макстерми	Значення функції $F_6$
0	0	$m_0 = \overline{A}\overline{B}$	$M_0 = A + B$	$f_0 = 0$
0	1	$m_1 = \overline{A}B$	$M_1 = A + \overline{B}$	$f_1 = 1$
1	0	$m_2 = A\overline{B}$	$M_2 = \overline{A} + B$	$f_2 = 1$
1	1	$m_3 = AB$	$M_3 = \overline{A} + \overline{B}$	$f_3 = 0$

Мінтерм (конституента одиниці) – кон'юнкція всіх змінних, які входять в пряму вигляді, якщо значення даної змінної в наборі дорівнює 1, або в інверсному вигляді – якщо значення змінної дорівнює 0.

$$F = \sum_{i=0}^{n-1} f_i m_i = f_0 m_0 + f_1 m_1 + f_2 m_2 + f_3 m_3 = 0 \cdot (\overline{A}\overline{B}) + 1 \cdot (\overline{A}B) + 1 \cdot (A\overline{B}) + 0 \cdot (AB) = \overline{A}B + A\overline{B},$$

Таке представлення функції називається її досконалою диз'юнктивною нормальною формою (ДДНФ).

Макстерм (конституента та 0) – диз'юнкція всіх змінних, які входять в пряму вигляді, якщо значення даної змінної дорівнює 0, або в інверсному вигляді, якщо, значення змінної дорівнює 1.

$$F_6 = \prod_{i=0}^{n-1} (f_i + M_i) = (f_0 + M_0) \cdot (f_1 + M_1) \cdot (f_2 + M_2) \cdot (f_3 + M_3) = (0 + A + B) \cdot (1 + A + \overline{B}) \cdot (1 + \overline{A} + B) \cdot (0 + \overline{A} + \overline{B}) = (A + B) \cdot (\overline{A} + \overline{B})$$

Таке представлення функції називається її досконалою кон'юнктивною нормальною формою (ДКНФ).

1. Послідовність операцій синтезу цифрових пристроїв комбінаційного типа:

- 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.

### Запис у формі ДКНФ.

У ДКНФ формула є логічним добутком декількох логічних сум, в кожну 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.

### 3. Поняття базису.

Для реалізації логічних пристроїв, призначених для обробки цифрових сигналів в загальному випадку, необхідно мати елементи, які виконують операції І, АБО, НІ. Такий набір елементів називається функціонально повною системою логічних елементів, або логічним базисом. Це означає, що з комбінації логічних елементів І, АБО, НІ, узятих в достатній кількості, можна побудувати скільки завгодно складний цифровий пристрій. Базис з елементів: І, АБО, НІ називається основним. Число необхідних елементів в такій системі можна зменшити, виключивши з неї або елемент АБО, або елемент І. Таким чином, можна побудувати функціональну схему комбінаційного цифрового пристрою в єдиному елементному базисі.

Структурні формули, отримані у вигляді ДДНФ і ДКНФ, у більшості випадків не сприяють побудові найбільш простих функціональних схем логічних пристроїв. Задану функцію можливо представити у більш компактному вигляді, щоб при її реалізації використовувалась менша кількість елементів. Процес знаходження виразів, які виконують ту ж саму логічну функцію, що і попередньо задана, але для реалізації яких потребується менша кількість елементів, і складає принцип методу мінімізації.

Мінімізація здійснюється з використанням основних співвідношень, законів і теорем алгебри логіки.

При відносно невеликому числі змінних ( $k \leq 6$ ) вельми зручним і наочним є графічне представлення логічних функцій у вигляді так званих карт мінтермів. Найбільш розповсюдженою їх формою є карти Карно (рис 3.1).

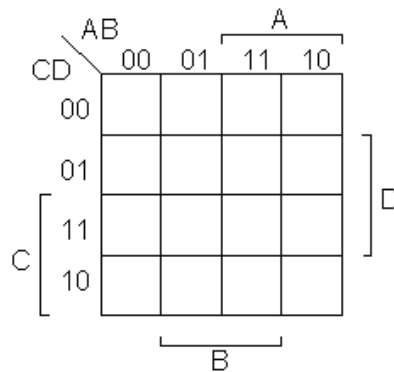


Рисунок 3.1 – Карта Карно для функцій чотирьох змінних

#### 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;

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

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

а) логічна формула для інверсного значення функції мінімізується в основному базисі і представляється у формі МДНФ;

б) для переходу до базису І-АБО-НІ над обома частинами формули проставляється один знак інверсії, і за допомогою теореми де Моргана здійснюється перехід в базис І-АБО-НІ.

### 3.3 Основні поняття та визначення теорії послідовнісних цифрових автоматів

Цифрові автомати визначається тим, що значення виходів залежить не лише від вхідних значень, але і від поточного стану пристрою. Тобто вводиться поняття – стан. Для того, щоб зберігати дані про стан, в якому знаходиться пристрій в цифровому автоматі використовуються елементи, що запам'ятовують – тригери.

Автоматом з пам'яттю називають автомат, що описується функціями переходів і виходів, оператор якого є оператором з пам'яттю. Вихідні слова автомата з пам'яттю залежать не лише від вхідних слів, але і від послідовності їх вступу.

Автомат з пам'яттю має безліч внутрішніх станів, в які він переходить під впливом слів вхідного алфавіту. Наявність безлічі внутрішніх станів додає автоматом здатність запам'ятовування вхідної інформації, що поступила на вхід автомата у минулому.

### 3.4 Математична модель цифрових автоматів

Математичною моделлю ЦА (а в загальному випадку будь-якого практичного пристрою) є так званий абстрактний автомат, визначений як 6-компонентний об'єкт:  $S = (Q^n, x, y, f, \lambda, Q_i)$ .

1)  $Q^n = \{Q_0, Q_1, \dots, Q_i\}$  – алфавіт станів – безліч станів, в яких може знаходитися проєктований цифровий автомат. Кількість станів грає важливу роль при реалізації ЦА. Чим більше станів, тим більше потрібний елементів (тригерів), що запам'ятовують, для побудови ЦА.

2)  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  – алфавіт вхідних значень – безліч значень, які можуть поступати на вхід ЦА. Наприклад, якщо у автомата дворозрядний двійковий вхід, то елементами алфавіту можуть бути 00, 01, 10 і 11.

3)  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  – алфавіт вихідних значень – безліч значень, які можуть бути встановлені на виході ЦА.

4)  $f$  – функція переходів  $Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t))$ . Функція переходів визначає, в який стан  $Q^{n+1}$  перейде автомат під впливом вхідного сигналу  $x(t)$ , якщо у нинішній момент часу автомат знаходиться в стані  $Q^n(t)$ .

5)  $\lambda$  – функція виходів  $y(t) = \lambda(Q^n(t), x(t))$ . Функція виходів визначає яке вихідне значення  $y(t)$  буде встановлено на виході автомата залежно від вхідного значення  $x(t)$  і поточного стану  $Q^n(t)$ .

6)  $Q_i \in Q^n$  – початковий стан автомата – стан в який встановлюється ЦА після подачі живлення або після скидання.

На практиці найбільшого поширення набули два класи автоматів: автомати Мілі (Mealy) і Мура (Moore).

Закон функціонування автомата Мілі задається рівняннями:

$$Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t)); y(t) = \lambda(Q^n(t), x(t)), \text{ де } t = 0, 1, 2, \dots$$

Закон функціонування автомата Мура задається рівняннями:

$$Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t)); y(t) = f(Q^n(t)), \text{ де } t = 0, 1, 2, \dots$$

$Q^{n+1}$  – подальший стан автомата,  $Q^n$  – початковий стан автомата,  $x(t)$  – вхідний сигнал,  $y(t)$  – вихідний сигнал.

Абстрактний автомат (рис. 3.2) має один вхід і один вихід. Автомат працює в дискретному часі, що набуває цілих ненегативних значень  $t = 0, 1, 2, \dots$

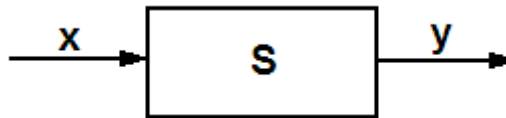


Рисунок 3.2 – Абстрактний автомат

### 3.5 Різновиди цифрових автоматів

На практиці найбільшого поширення набули два класи автоматів: автомати Мілі (Mealy) і Мура (Moore).

Закон функціонування автомата Мілі задається рівняннями:

$$Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t)); y(t) = f(Q^n(t), x(t)), \text{ де } t = 0, 1, 2, \dots$$

Закон функціонування автомата Мура задається рівняннями:

$$Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t)); y(t) = f(Q^n(t)), \text{ де } t = 0, 1, 2, \dots$$

$Q^{n+1}$  – подальший стан автомата,  $Q^n$  – початковий стан автомата,  $x(t)$  – вхідний сигнал,  $y(t)$  – вихідний сигнал.

З порівняння законів функціонування видно, що, на відміну від автомата Мілі, вихідний сигнал в автоматі Мура залежить лише від поточного стану автомата і в явному вигляді не залежить від вхідного сигналу. Для повного завдання автомата Мілі або Мура додатково до законів функціонування, необхідно вказати початковий стан і визначити внутрішні, вхідні і вихідні множини попарно різних символів.

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

При табличному способі завдання автомата Мілі таблиця переходів задає функцію  $Q^{n+1} = f(Q^n(t), x(t))$ , таблиця виходів – функцію  $y(t) = f(Q^n(t), x(t))$ .

Таблиця 3.1 – Таблиця переходів відображає функцію переходів

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

Таблиця переходів має однаковий вигляд як для автомата Мура, так і для автомата Мілі.

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 яке перейде ЦА під впливом вхідного сигналу  $x_m$  (якому відповідає  $m$ -рядок) із стану  $Q_i$  (якому відповідає  $i$ -стовпець).

Таблиця 3.2 – Таблиця виходів для автомата Мілі

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

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).

Таблиця 3.3 – Таблиця виходів для автомата Мура

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



При графічному способі автомат задається у вигляді орієнтованого графа, вершини якого відповідають станам, а дуги – переходам між ними (рис. 3.3). 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  $x_i$ , що викликає даний перехід  $Q_s = f(Q_m, x_i)$ .

Для графа автомата Мілі вихідний сигнал  $y_n$ , що формується на переході, записується в кінці дуги, а для автомата Мура – поряд з вершиною  $Q_m$ , відміченою станом  $Q_m$  в якому він формується.

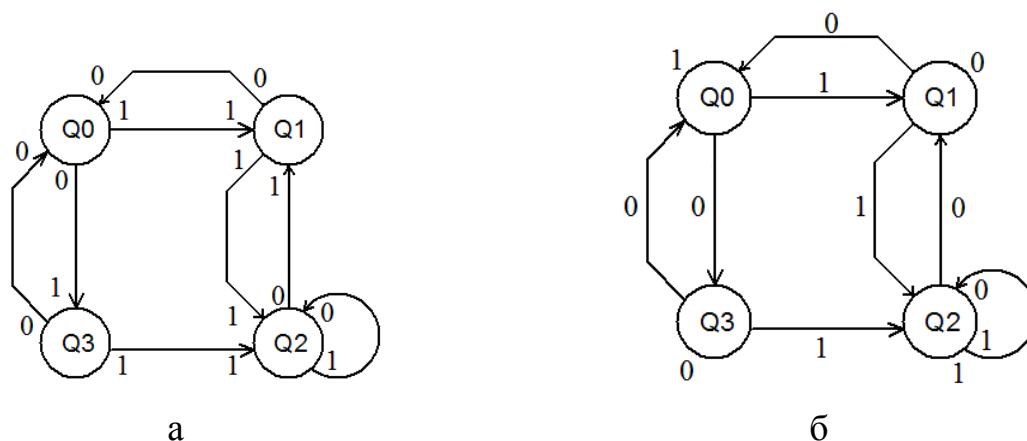


Рисунок 3.3 – Графи автомата Мілі (а) і Мура (б)

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, що 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, що формує вихідні сигнали автомата.

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, що формує вихідні сигнали  $y$  автомата, використовуючи таблицю виходів.

### 3.6 Синтез послідовнісного цифрового автомата

Заданий за умовами завдання автомат має чотири стани, отже для його реалізації достатньо двох тригерів, тобто  $m = 2$ . Потім кожній комбінації станів тригерів потрібно поставити у відповідність певний стан автомата. Кодування станів автомата може вироблятися різними способами. Для автомата, що синтезується, кодування його станів виконаємо відповідно до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Кодування станів автомата Мілі

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

Оберемо для синтезу цифрового автомата JK-тригери (рис. 3.3).

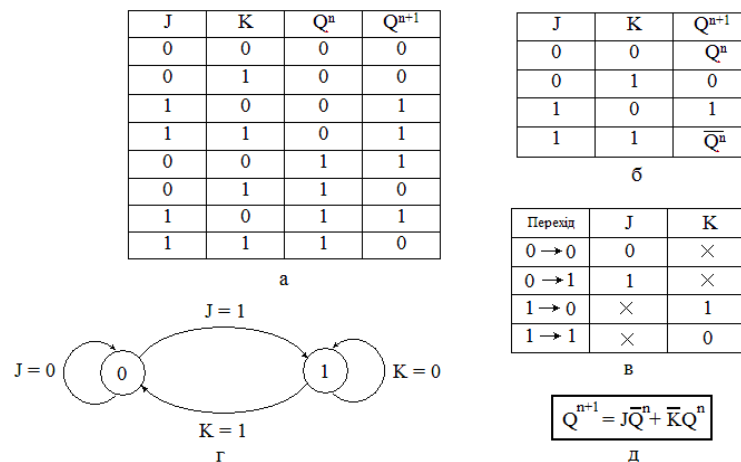


Рисунок 3.4 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) JK – тригера, рівняння функціонування (д)

Далі заповнимо таблицю 3.5 функціонування автомата, заданого графом, представленим на рисунку 3.3 (а).

Таблиця 3.5 – Таблиця функціонування цифрового автомата Мілі

Вхідний сигнал x	Попередній стан		Сигнал стану		Сигнали керування тригерами				Вихідний сигнал y
	F2 <sup>n</sup> (t)	F1 <sup>n</sup> (t)	F2 <sup>n+1</sup> (t)	F1 <sup>n+1</sup> (t)	J2	K2	J1	K1	
0	0	0	1	1	1	×	1	×	1
0	0	1	0	0	0	×	×	1	0
0	1	0	0	1	×	1	1	×	1
0	1	1	0	0	×	1	×	1	0
1	0	0	0	1	0	×	1	×	1
1	0	1	1	0	1	×	×	1	1
1	1	0	1	0	×	0	0	×	0
1	1	1	1	0	×	0	×	1	1

Розглянемо детальніше заповнення таблиці функціонування автомата Мілі. В перших трьох її стовпцях записуються всі можливі комбінації коду вхідного сигналу і стану автомата. Для заданого вхідного сигналу і стану автомата по графу знаходиться значення вихідного сигналу, яке записується в останньому стовпці таблиці, і наступний стан автомата, в який 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 K) і установки «1» (вхід J). У випадках коли логічний рівень сигналу управління байдужий («0» або «1»), відповідні клітки таблиці залишаються порожніми або в них заноситься символ «×».

Для побудови комбінаційного пристрою, що формує сигнали управління тригерами, складемо для цих сигналів (J2, K2, J1, K1) таблиці істинності у формі карт Карно (рис. 3.5).

Розглядаючи J2, K2, J1 і K1 як неповністю визначені логічні функції аргументів x, F2 і F1 запишемо МДНФ цих функцій:

$$J1 = \bar{x} + \bar{F2}^n; K = 1; J2 = \bar{x} \cdot \bar{F1}^n + x \cdot F1^n; K2 = \bar{x}.$$

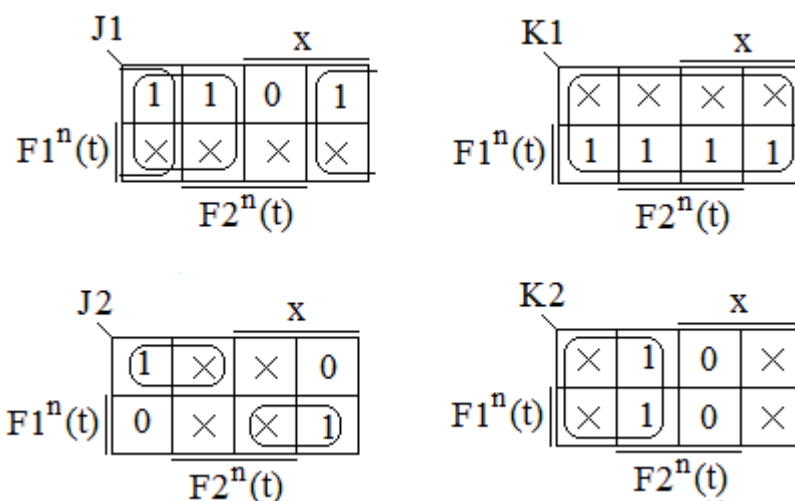


Рисунок 3.5 – Карты Карно для комбінаційного пристрою, що формує сигнали управління тригерами

Для побудови комбінаційного пристрою, що формує вихідний сигнал автомата, будемо таблицю істинності у формі карти Карно для  $y$  (рис. 3.6).

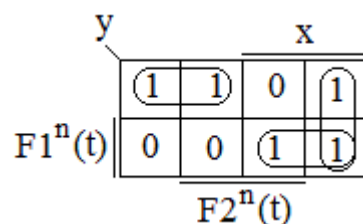


Рисунок 3.6 – Карта Карно для комбінаційного пристрою, що формує сигнал виходу

МДНФ функції вихідного сигналу:  $y = \bar{x} \cdot \bar{F1}^n + x \cdot F1^n + x \cdot F2^n$ .

Використовуючи отримані логічні вирази і вибравши як базис логічні елементи І, АБО, НІ, побудуємо структурну схему автомата, який синтезується (рис. 7.6).

Для забезпечення правильної роботи схеми автомата необхідно передбачити синхронізацію її функціонування в часі, тобто формування тактів (часових інтервалів)  $1, 2, \dots, t, t+1, \dots$ , під час дії яких здійснюються всі логічні залежності. На схемі (рис. 3.7) передбачений сигнал управління  $F_{упр.}$ , що виробляється комбінаційним цифровим автоматом, розрахованим в завданні №1, який в довільний момент часу  $t$  вирішує подачу управляючих сигналів з виходу комбінаційного пристрою на входи тригерів.

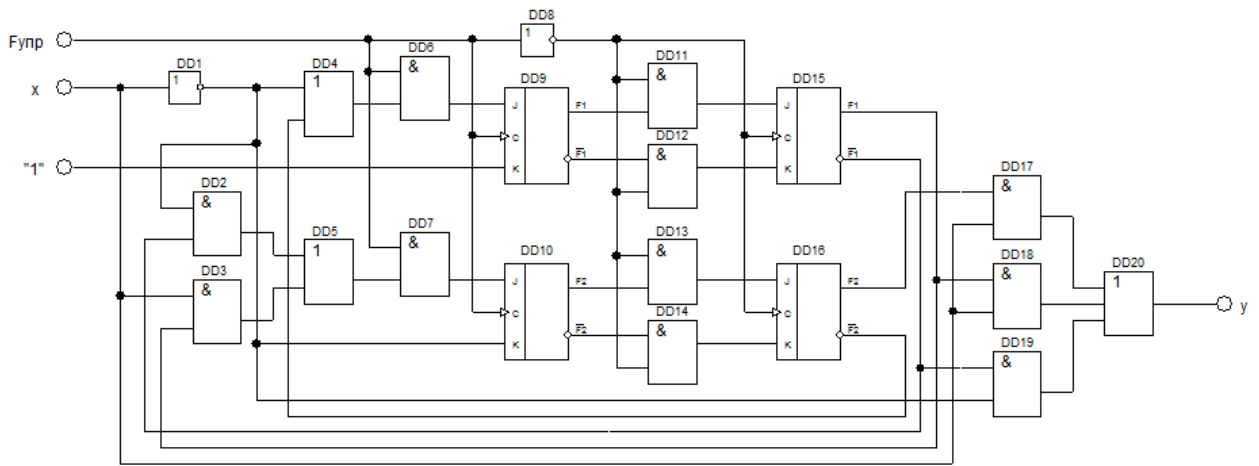


Рисунок 3.7 – Структурна схема синтезованого цифрового послідовнісного автомата Мілі

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 входним 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 входного сигналу і попереднього запам'ятовування нового стану автомата, а допоміжний рівень (S) – для переходу автомата в новий стан і подальшого його зберігання.

## Література

Основна.

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6
2. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.
3. Задерейко О.В., Логінова Н.І., Трофименко О.Г., Троянський О.В., Толочков А.А. Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів : навч. посіб. [Електронне видання]. Одеса : Фенікс, 2021. 163 с.  
<https://hdl.handle.net/11300/14473>
4. Мірошник М. А., Клименко Л. А., Корольова Я. Ю. Технології та автоматизація проєктування цифрових пристроїв складних комп'ютерних систем на ПЛІС: Навч. посібник. Харків : УкрДУЗТ, 2021. 220 с.
5. Цифрова схемотехніка : підручник / О. А. Борисенко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 200 с. ISBN 978-966-657-642-5

Додаткова:

1. Багрій В.В. Конспект лекцій з дисципліни "Цифрова схемотехніка" для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальностей 171 «Електроніка» та 153 «Мікро-та наносистемна техніка». Кам'янське : ДДТУ, 2019. 238 с.
2. Гавриленко С.Ю., Клименко А.М., Носков В.І. Логіка дискретних автоматів: навч.-метод.посіб. Харків : НТУ "ХП", 2014. 129 с. ISBN 978-966-8944-74-1
3. Гавриленко С.Ю., Клименко А.М., Любченко Н.Ю. Теорія цифрових автоматів та формальних мов: навч. посіб. Х. : НТУ "ХП", 2010. 176 с.
4. Гавриленко С.Ю., Клименко А.М., Гоготов В.В. Основи комп'ютерної техніки. Х. : НТУ "ХП", 2008. 272 с.
5. Матвієнко М.П. Комп'ютерна логіка. К. : Ліра-К, 2012. 288 с.

6. Самофалов К.Г. Прикладна теорія цифрових автоматів. Київ : Вища школа, 1987. 344 с.
7. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Дискретна математика: Підручник. Львів : “Магнолія 2006”, 2007. 608с.
8. Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах: Навчальний посібник. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Ч. 2. 172 с.
9. Бондаренко М.Ф., Білоус Н.В., Руткас А.Г. Комп'ютерна дискретна математика: Підручник. Харків : Компанія СМІТ, 2004. 480 с.
10. Czerwinski R. Finite State Machine Logic Synthesis for Complex Programmable Logic Devices R. Czerwinski, D. Kania. Berlin: Springer, 2013. 172 p.
11. Grzes T.N., Solov'ev V.V. Minimization of power consumption of finitestate machines by splitting their internal states : Journal of Computer and Systems Sciences International, 2015. 367 p.