

Національний технічний університет України
«Київський Політехнічний Інститут»
ім. І. Сікорського

Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра обчислювальної техніки

Лабораторна робота №5
З дисципліни «Комп'ютерна логіка»
Тема: **«Синтез цифрових автоматів на тригерах»**

Підготувала: студентка групи ІО-64
Бровченко Анастасія

Перевірів:
Верба Олександр Андрійович

Київ 2016

5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5.

СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ НА ТРИГЕРАХ

Ціль роботи

Вивчити методи структурного синтезу керуючих автоматів із жорсткою логікою, одержати навички в їх налагодженні та експериментальному дослідженні.

Теоретичні відомості

Цифровий автомат, що має два і більше станів, є послідовною схемою. Ознакою такої логічної схеми є наявність петель. Під петлею розуміється шлях з виходу логічного елемента на його вхід безпосередньо або через інші елементи.

Автомат може виконувати функцію управління для пристроїв обробки інформації.

Послідовність мікрооперацій, виконання яких призводить до виконання операції, називають мікроалгоритмом даної операції.

Один з підходів теорії цифрових автоматів до побудови структурних автоматів полягає в представленні будь-якого автомата у вигляді композиції елементарних автоматів Мура, що мають назву тригерів (рис. 5.1).

Автомат містить комбінаційну схему (КС) і пам'ять (П), що складається з тригерів T_i . Входами КС є виходи Q_1, \dots, Q_m тригерів і вхідні сигнали (логічні умови) x_1, \dots, x_k , що формуються в операційному пристрої. КС виробляє керуючі сигнали y_1, \dots, y_p для операційного пристрою і функції збудження тригерів q_1, \dots, q_m , що визначають перехід автомата з одного стану в інший. Кожній з безлічі станів $\{a_1, \dots, a_m\}$ відповідає визначений набір значень Q_i .

Якщо вихідні сигнали залежать тільки від стану, в якому знаходиться автомат, його називають автоматом Мура. Закон функціонування такого автомата визначається функціями переходів і виходів відповідно

$$a^{s+1} = \delta(a^s, x^s), \quad y^{s+1} = \lambda(a^s),$$

де $s = 0, 1, 2, \dots$ – моменти автоматного (дискретного) часу;

δ – функція переходів; λ – функція виходів;

$a \in \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – стан автомата;

$x = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – вектор значень вхідних сигналів;

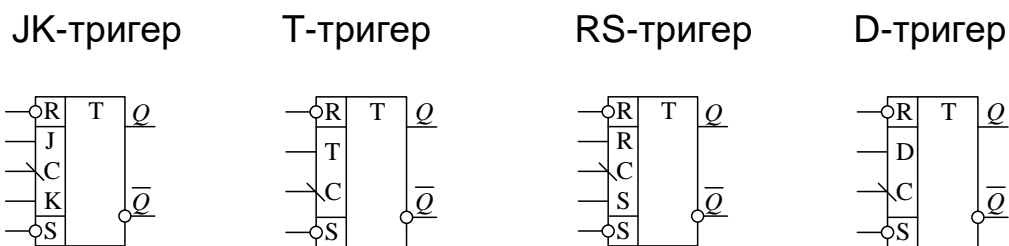
$y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ – вектор вихідних сигналів автомата.

Автомат, вихідні сигнали якого залежать як від стану, так і від вхідних сигналів, називають автоматом Мілі. Його функціонування визначається виразами:

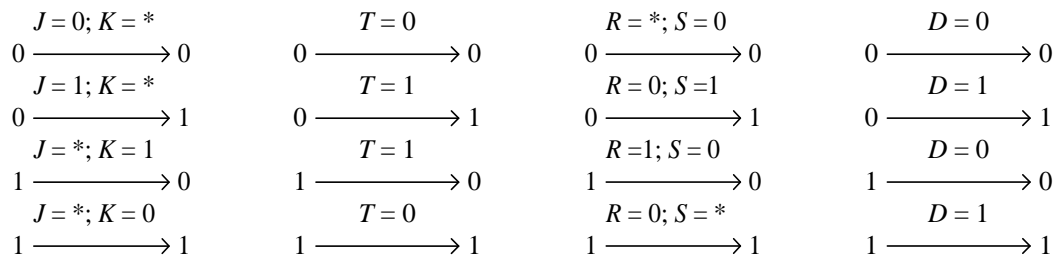
$$a^{s+1} = \delta(a^s, x^s), \quad y^{s+1} = \lambda(a^s, x^s).$$

Можна виділити чотири основні функціональні типи тригерів: RS-тригери, JK-тригери, D-тригери і T-тригери. Умовні графічні позначення синхронних тригерів і системи підграфів переходів, що пояснюють спосіб зміни стану тригерів, зображені на рис. 5.2. Тригери мають тільки два стани: нульовий стан – при $Q=0$ і $\bar{Q}=1$, та одиничний стан – при $Q=1$ і $\bar{Q}=0$. Перехід тригерів з одного стану в інший визначається інформаційними сигналами, а момент переходу – перепадом синхросигналу C (в даному випадку перепад з 1 в 0). Асинхронні входи тригерів R і S дозволяють встановлювати початковий стан тригерів.

Вихідними даними для синтезу автомата є схема операційного пристрою, що дає можливість зробити перелік керуючих сигналів для кожного вузла, і змістовний мікроалгоритм операції, що включає опис мікрооперацій і логічних умов. Побудова схеми і розробка мікроалгоритму є взаємозалежними процесами.



a)



б)

Рис. 5.2. Синхронні тригери: а – умовні графічні означення;
б – система підграфів переходів

Синтез автомата включає наступні етапи:

1) складання списку керуючих сигналів, що забезпечують виконання кожної мікрооперації;

2) визначення тривалості кожного керуючого сигналу (в числі тактів) і періоду тактуючих сигналів автомата;

3) одержання закодованого мікроалгоритму;

4) відмітка станів автомата;

5) складання графа автомата;

6) кодування станів автомата;

7) складання структурної таблиці автомата;

8) одержання МДНФ функцій збудження тригерів і керуючих сигналів;

9) представлення функцій збудження тригерів і керуючих сигналів в операторной формі;

10) побудова схеми керуючого автомата.

Розглянемо приклад синтезу автомата Мілі.

Розглянемо приклад синтезу автомата. Будемо вважати, що після виконання пунктів 1, 2 і 3 одержано закодований структурний мікроалгоритм (рис. 5.3), де

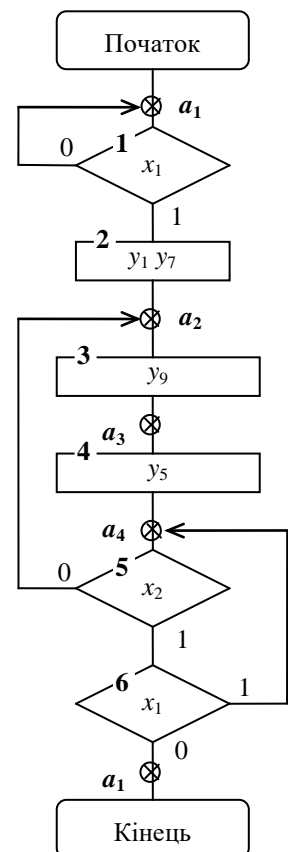


Рис. 5.3. Графічна
схема закодованого
мікроалгоритму
автомата Мілі

y_i ($i=1,5,7,9$) – управляючі сигнали, що подаються на операційний пристрій, а x_i – логічні умови (зовнішні для автомата вхідні сигнали). Для переходу до графа автомата треба зробити розмітку станів. Розмітка станів для циклічного автомата Мілі здійснюється наступним чином.

Символом a_i відзначається вхід вершини (логічної або операторної), наступної за початковою, а також вхід кінцевої вершини; входи всіх вершин, наступних за операторними, повинні бути відзначені різними символами a_i .

Відмітимо, що спосіб кодування впливає на правильність формування керуючих сигналів і складність автомата. Можливість формування сигналів, не передбачених графом автомата, при неоптимальному кодуванні станів обумовлена появою “гонок”, що пов'язано з розкидом часу переключення окремих тригерів автомата. Наприклад, при переході автомата зі стану 10 у стан 01 під час переключення тригерів можлива поява станів 00 або 11 (в залежності від того, який із тригерів раніш спрацює). Ці проміжні стани при використанні тригерів із внутрішньою затримкою не впливають на правильність переключення автомата, однак можуть привести до появи короточасних помилкових керуючих сигналів. Для усунення цього недоліку можна використовувати протигоночне сусіднє кодування. При сусіднім кодуванні перехід автомата з одного в будь-який інший припустимий для даного автомата стан здійснюється переключенням тільки одного тригера, внаслідок чого “гонки” не виникають. В автоматах, що не допускають сусіднього кодування, необхідно вводити додаткові стани.

Таблиця 5.1

Таблиця кодування станів автомата Мілі

| Стан | Код стану | |
|-------|-----------|-------|
| | Q_1 | Q_2 |
| a_1 | 0 | 0 |
| a_2 | 0 | 1 |
| a_3 | 1 | 1 |
| a_4 | 1 | 0 |

Крім станів, визначених таким чином, може виникнути необхідність введення додаткових станів. Наприклад, якщо мікрооперація виконується по перепаду керуючого сигналу і мікроалгоритм має петлю, яка охоплює операторну вершину з таким сигналом, або кілька вершин, що слідують підряд, то для забезпечення перепадів керуючого сигналу при кожному черговому

виконанні мікрооперації необхідно вводити додаткові стани. В цих станах автомат не повинний виробляти керуючі сигнали.

Додаткові стани можуть знадобитися для забезпечення протигончного кодування (див. далі).

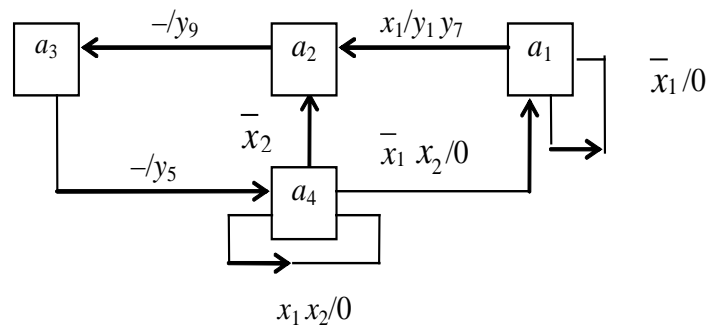


Рис. 5.4. Граф автомата Мілі

Мікроалгоритм на рис. 5.3 відзначений чотирма різними станами (a_1 , a_2 , a_3 , a_4). Граф розглянутого автомата Мілі зображений на рис. 5.4.

Число вершин графа дорівнює числу станів a_i автомата. Кожному переходові автомата з одного стану в інший відповідає дуга графа. Дузі приписується набір логічних умов, при якому здійснюється перехід автомата з одного стану в інший, а також набір керуючих сигналів, що відповідають даному переходові.

Кількість тригерів, необхідних для організації пам'яті автомата (див. рис. 5.1) визначається із співвідношення $m \geq \lceil \log_2 M \rceil$, де M – число станів автомата. Кожному станові a_i повинна відповідати одна визначена комбінація значень Q_1, \dots, Q_m . Для розглянутого приклада вибираємо коди станів відповідно до табл. 5.1. Для організації пам'яті будемо використовувати JK-тригери.

Структурна таблиця автомата складається по його графу. Кожен рядок (табл. 5.2) відповідає визначеному переходові автомата з одного стану в інший. В ній записують вихідний стан, стан переходу, коди цих станів, значення логічних умов, що забезпечують перехід, необхідні значення керуючих сигналів і функцій збудження тригерів. Значення функції збудження визначаються відповідно до таблиці переходів тригера відповідного типу. В кожному рядку для i -го тригера розглядаються переходи $Q_i^S \rightarrow Q_i^{S+1}$ з попереднього (ПС) в наступний (НС) стан. Довільні значення (0 або 1) сигналів позначаються в таблиці знаком *. Збільшення невизначених станів, як правило, спрощує схему автомата.

Структурна таблиця автомата

| ПС | Код ПС | | НС | Код НС | | Логічні умови | | Керуючі Сигнали | | | | Функції збудження тригерів | | | |
|-------|---------|---------|-------|-------------|-------------|---------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | Q_1^S | Q_2^S | | Q_1^{S+1} | Q_2^{S+1} | x_1 | x_2 | y_1 | y_7 | y_5 | y_9 | J_1 | K_1 | J_2 | K_2 |
| a_1 | 0 | 0 | a_1 | 0 | 0 | 0 | * | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | * | 0 | * |
| a_1 | 0 | 0 | a_2 | 0 | 1 | 1 | * | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | * | 1 | * |
| a_2 | 0 | 1 | a_3 | 1 | 1 | * | * | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | * | * | 0 |
| a_3 | 1 | 1 | a_4 | 1 | 0 | * | * | 0 | 0 | 1 | 0 | * | 0 | * | 1 |
| a_4 | 1 | 0 | a_3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | * | 0 | 0 | * |
| a_4 | 1 | 0 | a_2 | 0 | 1 | * | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | * | 1 | 1 | * |
| a_4 | 1 | 0 | a_1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | * | 1 | 0 | * |

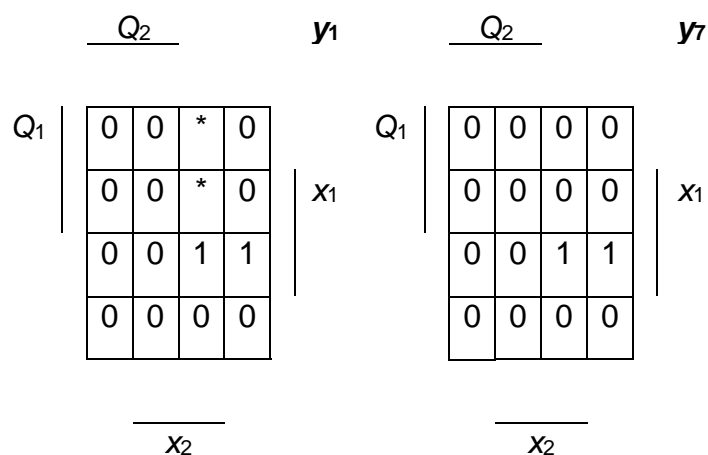
На підставі структурної таблиці автомата визначаємо МДНФ функцій збудження і керуючих сигналів. Аргументами функцій J_i , K_i та y_i є значення Q_1^S , Q_2^S , x_1 і x_2 .

Використовуючи діаграми Вейча (рис. 5.5), одержуємо:

$$y_1 = y_7 = \overline{Q_1} \overline{Q_2} x_1; \quad y_5 = Q_1 Q_2; \quad y_9 = \overline{Q_1} Q_2; \quad K_2 = Q_1; \quad J_1 = Q_2;$$

$$K_1 = \overline{Q_2} x_2 \vee \overline{Q_2} x_1 = \overline{Q_2} (x_2 \vee x_1); \quad J_2 = \overline{Q_1} x_1 \vee Q_1 \overline{x_2}.$$

Функціональна схема автомата зображена на рис. 5.6, де УПС – установлення початкового стану, ТС – тактуючі сигнали.



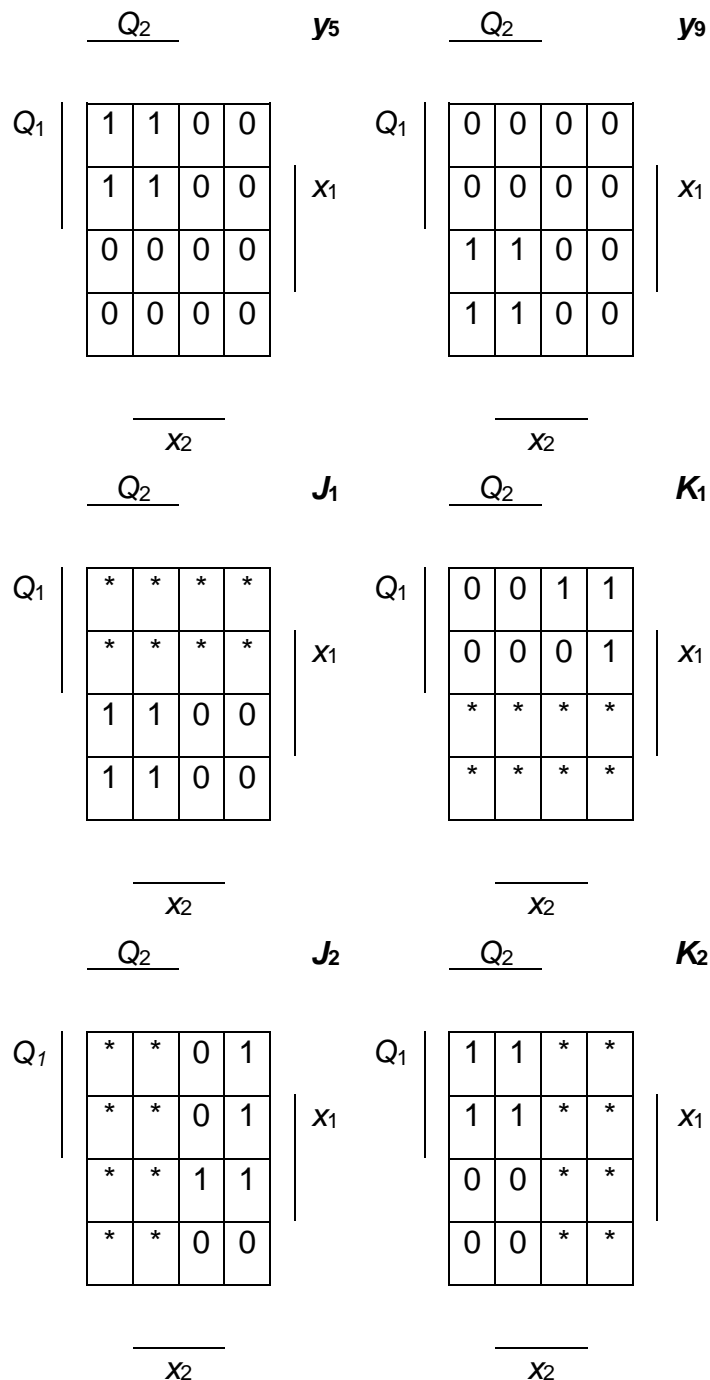


Рис. 5.5. Діаграми Вейча керуючих сигналів і функцій збудження тригерів

Відмінність синтезу автомата Мура полягає в наступному. Розмітка станів автомата в цьому випадку здійснюється іншим чином. Символом a_1 відзначаються початкова і кінцева вершини; всі операторні вершини відзначаються різними символами a_j .

В даному випадку, як і при оцінці станів автомата Мілі, може виникнути необхідність введення додаткових станів.

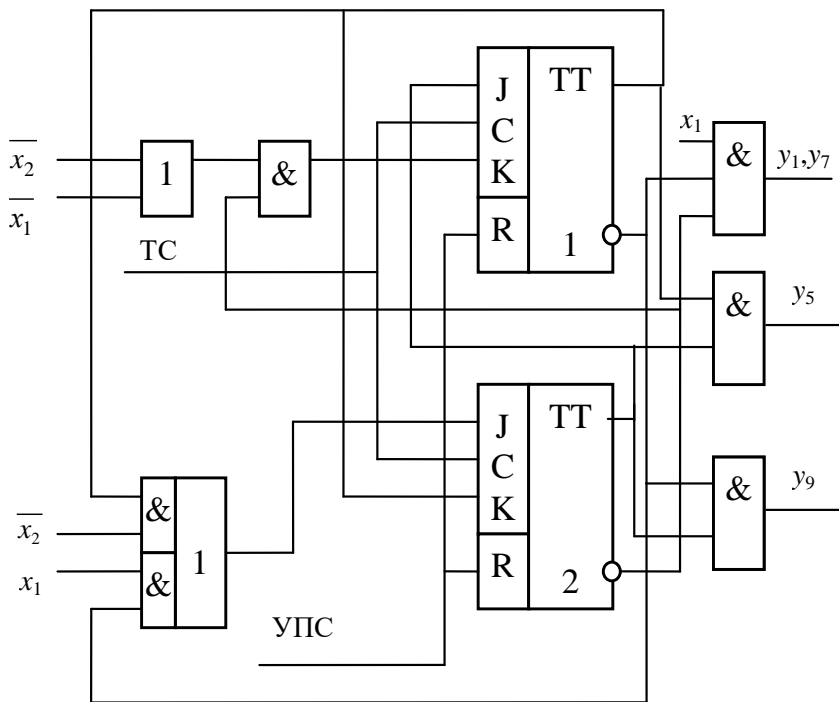


Рис. 5.6. Функціональна схема автомата

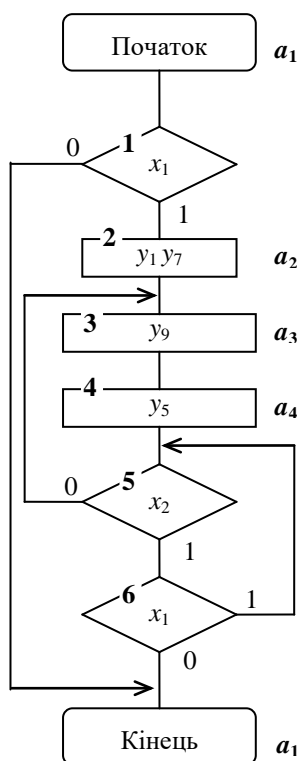


Рис. 5.7. Графічна
схема закодованого
мікроалгоритму
автомата Мура

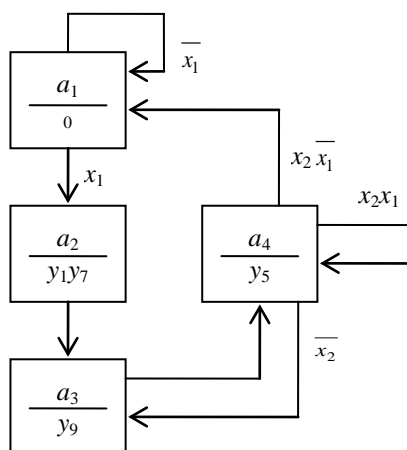


Рис. 5.8. Граф
автомата Мура

На графі автомата Мура дугам приписують набори логічних умов, що забезпечують відповідний перехід автомата. Керуючі сигнали записують у вершинах графа, тому що вони не залежать від логічних умов.

Кодування станів автомата Мура можна виконувати так само, як і для автомата Мілі. Однак при відповідному кодуванні керуючі сигнали можна знімати і безпосередньо з виходів тригерів автомата Мура (комбінаційна схема для формування функцій y_j не потрібна). При цьому число тригерів повинне бути не менше числа керуючих сигналів, які не повторюють один одного і не є константами.

Таблиця 5.3

Таблиця кодування
станів автомата
Мура

| Стан | Код станів | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Q ₁ | Q ₂ | Q ₃ |
| a ₁ | 0 | 0 | 0 |
| a ₂ | 1 | 0 | 0 |
| a ₃ | 0 | 0 | 1 |
| a ₄ | 0 | 1 | 0 |

В цьому випадку відповідний рівень керуючих сигналів після спрацювання тригерів устанавлюється швидше, ніж в автомата Мілі. Крім того при будь-якому переході виключається можливість короткочасного формування помилкових керуючих сигналів. Приклад такого кодування станів автомата, що відповідає графові на рис. 5.8, приведений в табл. 5.3.

В даному випадку автомат має три тригери, причому $y_1=Q_1$, $y_7=Q_1$, $y_5=Q_2$, $y_9=Q_3$.

Співпадаючі сигнали y_1 і y_7 знімаються з одного тригера.

Підготовка до роботи

1. Для визначення варіанту завдання перевести в двійкову систему числення десятковий номер залікової книжки студента і виділити дев'ять молодших розрядів одержаного числа $h_9, h_8, h_7, \dots, h_1$.

Згідно з табл. 5.4 і рис. 5.9 побудувати структурний мікроалгоритм за своїм варіантом. Для цього необхідно з'єднати послідовно зверху вниз фрагменти блок-схеми алгоритму (рис. 5.9) в порядку, зазначеному в таблиці варіантів (табл. 5.4). У відповідності з таблицею варіантів в кожну логічну вершину отриманої графічної схеми мікроалгоритму, починаючи з верхньої, переписати в зазначеному порядку по одному вхідному структурному сигналу. Потім в зазначеному порядку зверху вниз і зліва направо записати в операторні вершини вихідні структурні керуючі сигнали.

2. Виконати синтез і побудувати функціональну схему керуючого автомата в заданому елементному базисі. Тип тригерів, набір логічних елементів, які можна використовувати для побудови автомата, а також тип автомата зазначені в табл. 5.4.

3. Побудувати часову діаграму роботи автомата в умовних одиницях часу для кожної комбінації значень вхідних сигналів. Затримка сигналів логічними елементами складає 1, а тригерами – 6 умовних одиниць часу t . Визначити тривалість такту t .

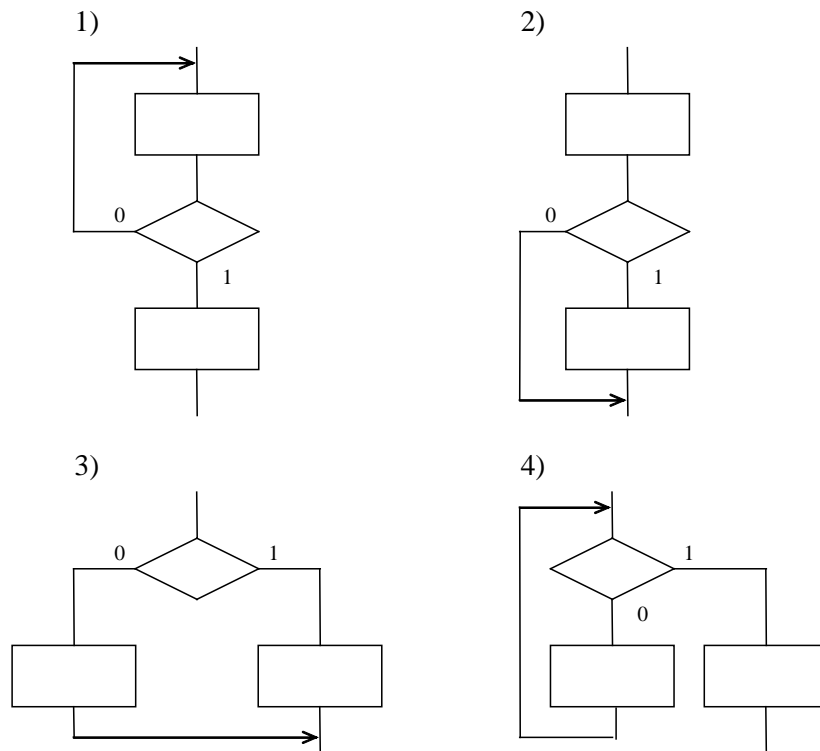


Рис.5.9. Фрагменти графічної схеми мікроалгоритму

Порядок виконання роботи

1. Побудувати та налагодити схему автомата, за допомогою програмного комплексу ПРОГМОЛС 2.0 (AFDK).
2. Дослідити часові параметри схеми.

| h_8 | h_4 | h_2 | Порядок з'єднання фрагментів |
|-------|-------|-------|--|
| 0 | 0 | 0 | 1, 2, 3 |
| 0 | 0 | 1 | 1, 4, 2 |
| 0 | 1 | 0 | 2, 3, 1 |
| 0 | 1 | 1 | 2, 1, 3 |
| 1 | 0 | 0 | 3, 1, 4 |
| 1 | 0 | 1 | 3, 4, 2 |
| 1 | 1 | 0 | 4, 2, 1 |
| 1 | 1 | 1 | 4, 3, 2 |
| h_8 | h_7 | h_3 | Послідовність логічних умов |
| 0 | 0 | 0 | x_1, x_2, x_1 |
| 0 | 0 | 1 | $x_1, x_2, \overline{x_1}$ |
| 0 | 1 | 0 | $x_1, \overline{x_2}, x_2$ |
| 0 | 1 | 1 | $x_1, \overline{x_2}, \overline{x_2}$ |
| 1 | 0 | 0 | $\overline{x_1}, x_2, x_2$ |
| 1 | 0 | 1 | $\overline{x_1}, x_2, \overline{x_2}$ |
| 1 | 1 | 0 | $\overline{x_1}, \overline{x_2}, x_1$ |
| 1 | 1 | 1 | $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \overline{x_1}$ |
| h_9 | h_4 | h_1 | Послідовність вихідних сигналів |
| 0 | 0 | 0 | $y_1, y_2, y_3, y_4, y_1, y_2$ |
| 0 | 0 | 1 | $y_1, y_2, y_3, y_4, y_2, y_1$ |
| 0 | 1 | 0 | $y_1, y_2, y_4, y_3, y_1, y_2$ |
| 0 | 1 | 1 | $y_1, y_2, y_4, y_3, y_2, y_1$ |
| 1 | 0 | 0 | $y_1, y_3, y_2, y_4, y_1, y_2$ |
| 1 | 0 | 1 | $y_1, y_3, y_2, y_4, y_2, y_1$ |
| 1 | 1 | 0 | $y_2, y_2, y_3, y_4, y_1, y_2$ |
| 1 | 1 | 1 | $y_3, y_2, y_3, y_4, y_1, y_2$ |

Таблиця варіантів (Табл. 5.4)

| $h_6 \ h_2$ | | Сигнал, тривалістю $2t$ | |
|-------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| 0 | 0 | y_1 | |
| 0 | 1 | y_2 | |
| 1 | 0 | y_3 | |
| 1 | 1 | y_4 | |
| $h_9 \ h_4$ | | Тип тригерів | |
| 0 | 0 | RS | |
| 0 | 1 | D | |
| 1 | 0 | JK | |
| 1 | 1 | T | |
| h_1 | Тип автомата | | |
| 0 | Мілі | | |
| 1 | Мура | | |
| $h_3 \ h_2 \ h_1$ | Логічні елементи | | |
| 0 | 0 | 0 | 3І-НЕ, 2І |
| 0 | 0 | 1 | 3І, 4І-НЕ |
| 0 | 1 | 0 | ЗАБО, 4І, НЕ |
| 0 | 1 | 1 | 3І, 2АБО, НЕ |
| 1 | 0 | 0 | 2АБО-НЕ, 4І |
| 1 | 0 | 1 | 2І-НЕ, 4АБО |
| 1 | 1 | 0 | ЗАБО-НЕ, 3І |
| 1 | 1 | 1 | 3І-НЕ, ЗАБО-НЕ |

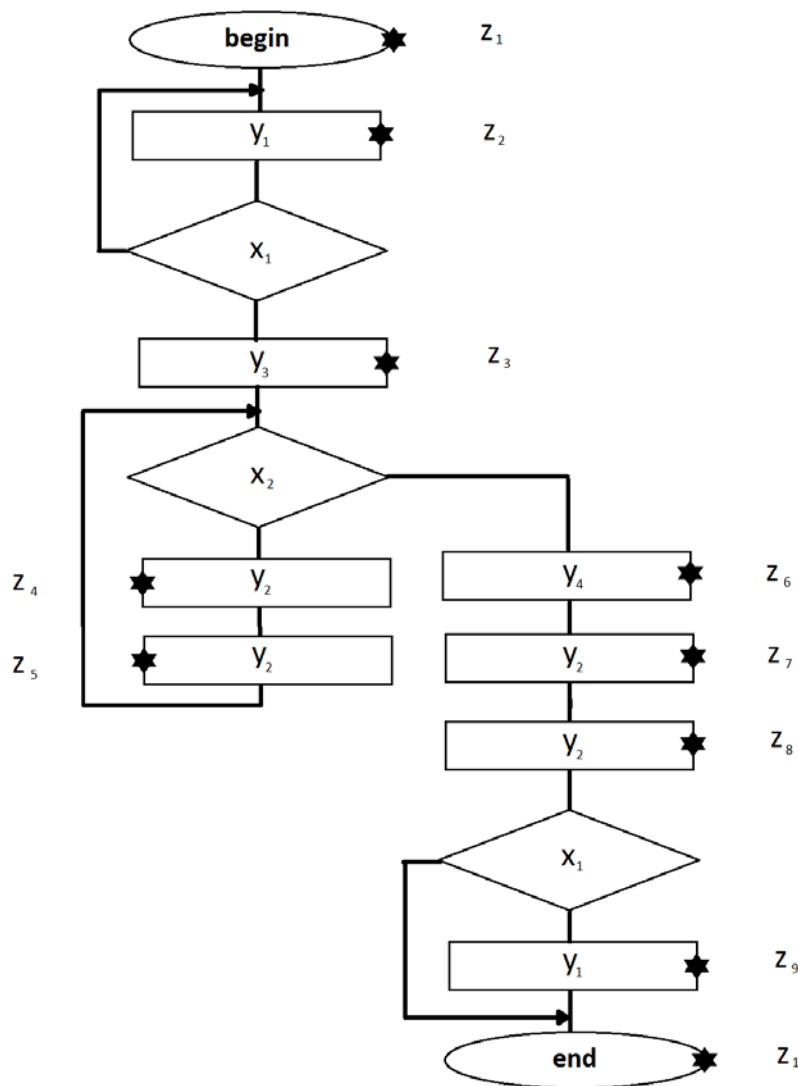
Виконання роботи

Вхідні дані:

Варіант 3: 1100100000011

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Порядок з'єднання фрагментів | 1, 4, 2 |
| Послідовність логічних умов | x_1, x_2, x_1 |
| Послідовність вихідних сигналів | $y_1, y_3, y_2, y_4, y_2, y_1$ |
| Сигнал, тривалістю $2t$ | y_2 |
| Тип тригерів | JK |
| Тип автомата | Мура |
| Логічні елементи | 3І, 2АБО, НЕ |

Алгоритм:



Граф автомату:

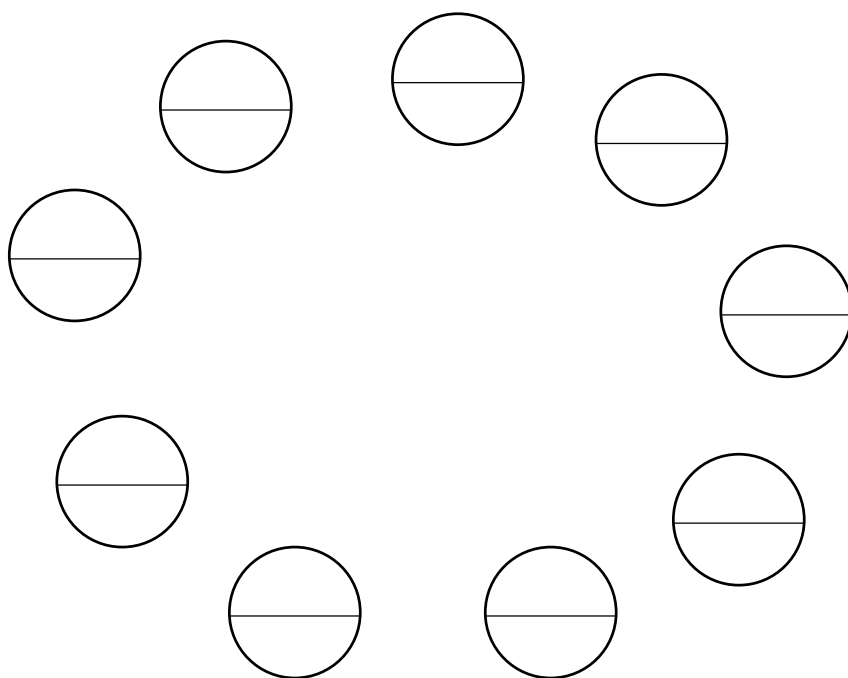
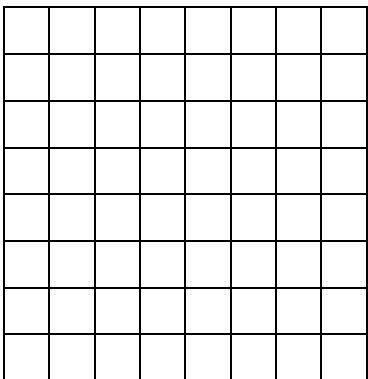
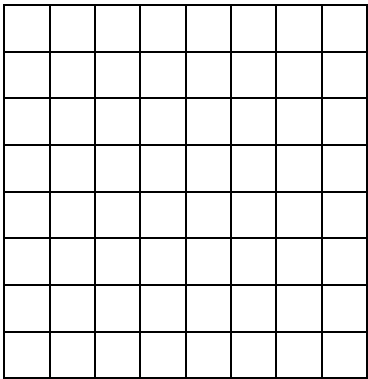
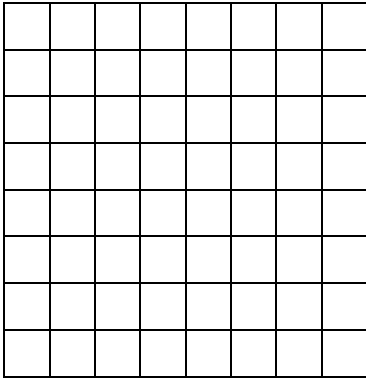
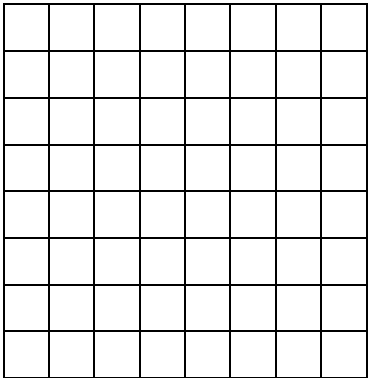
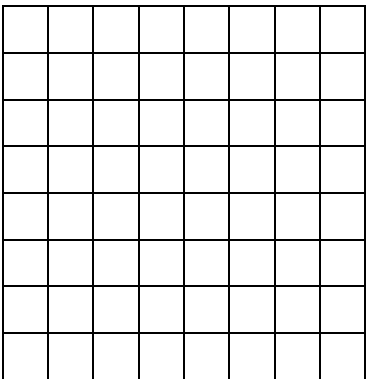
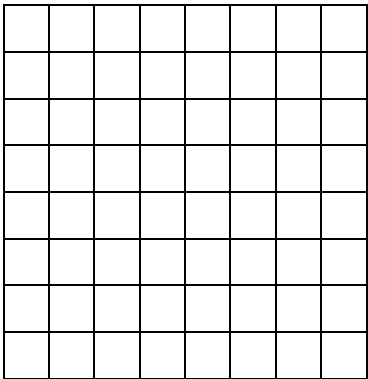
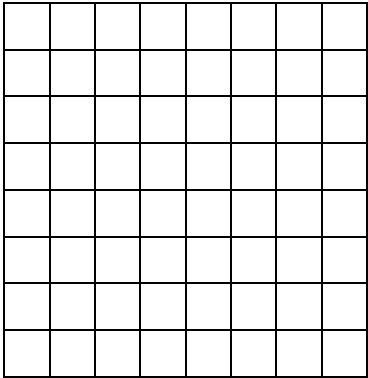
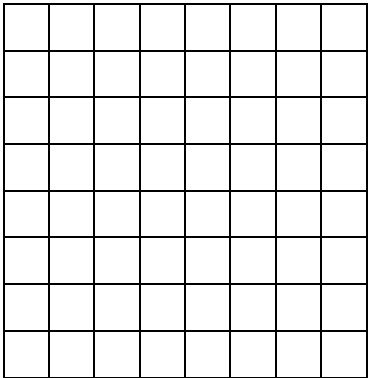
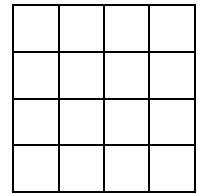
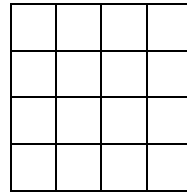
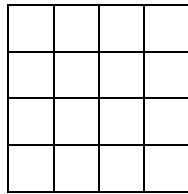
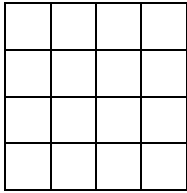


Таблица автомату:

| $z_1z_2z_3z_4^t$ | $z_1z_2z_3z_4^{t+1}$ | x_1x_2 | $y_1y_2y_3y_4$ | J_1K_1 | J_2K_2 | J_3K_3 | J_4K_4 |
|------------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------|----------|----------|
| 0000 | 0001 | -- | 0000 | 0- | 0- | 0- | 1- |
| 0001 | 0001 | 0- | 1000 | 0- | 0- | 0- | -0 |
| 0001 | 0010 | 1- | 1000 | 0- | 0- | 1- | -1 |
| 0010 | 0011 | -0 | 0010 | 0- | 0- | -0 | 1- |
| 0010 | 0101 | -1 | 0010 | 0- | 1- | -1 | 1- |
| 0011 | 0100 | -- | 0100 | 0- | 1- | -1 | -1 |
| 0100 | 0011 | -0 | 0100 | 0- | -1 | 1- | 1- |
| 0100 | 0101 | -1 | 0100 | 0- | -0 | 0- | 1- |
| 0101 | 0110 | -- | 0001 | 0- | -0 | 1- | -1 |
| 0110 | 0111 | -- | 0100 | 0- | -0 | -0 | 1- |
| 0111 | 0000 | 0- | 0100 | 0- | -1 | -1 | -1 |
| 0111 | 1000 | 1- | 0100 | 1- | -1 | -1 | -1 |
| 1000 | 0000 | -- | 1000 | -1 | 0- | 0- | 0- |

Діаграми Вейча:





$$J_1 =$$

$$J_2 =$$

$$J_3 =$$

$$J_4 =$$

$$K_1 =$$

$$K_2 =$$

$$K_3 =$$

$$K_4 =$$

$$y_1 =$$

$$y_2 =$$

$$y_3 =$$

$$y_4 =$$

Найдовший шлях у схемі: 2 елемента І, 3 елемента АБО, тригер і фільтр з 2х елементів, тобто тривалість такту = $2 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 6 + 2 \cdot 1 = 13$

Висновок: синтез автомату досить складна і трудомістка операція, яка потребує значної уваги. Навіть невелика помилка може перекреслити всю працю і забрати дуже багато часу.

