

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проєкту
з дисципліни "Комп'ютерна схемотехніка" для студентів
спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни "Комп'ютерна схемотехніка" для студентів спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" усіх форм навчання / Укл. С.С. Грушко, І.Я. Зеленьова - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 27 с.

Укладачі: С.С. Грушко, доцент, к.т.н.
І.Я. Зеленьова, доцент, к.т.н.

Рецензент: Т.В. Голуб, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: С.С. Грушко, доцент, к.т.н.

Затверджено на
засіданні кафедри КСМ
Протокол № 6
від 1 лютого 2024 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФКНТ
Протокол № 8
від 27 березня 2024 р.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
1 ЗАВДАННЯ, ЗМІСТ ТА ЗАХИСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЦИФРОВІ АВТОМАТИ	5
2.1 Структура цифрового автомату	5
2.2 Види керуючих автоматів. Структури автоматів Мілі і Мура	6
3 СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО АВТОМАТА З ЖОРСТКОЮ ЛОГІКОЮ ...	7
3.1 Абстрактний синтез автомата	7
3.1.1 Задавання ЦА	7
3.1.2 Отримання позначеної ГСА	8
3.1.3 Побудова графа переходів або функціонування автомата ..	10
3.1.4 Побудова таблиці переходів і вихідних функцій	11
3.2 Структурний синтез автомата	12
3.2.1 Етапи структурного синтезу	12
3.2.2 Кодування внутрішніх станів	13
3.2.3 Формування функцій зовнішнього переходу або побудова графа автомата	13
3.2.4 Формування функцій збудження і виходів	14
3.2.5 Побудова функціональної схеми автомата	14
4 ПРИКЛАД СИНТЕЗУ АВТОМАТА ЗА ЗАДАНИМ АЛГОРИТМОМ	16
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	26
Додаток А Структура пояснювальної записки	27

1 ЗАВДАННЯ, ЗМІСТ ТА ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Згідно із завданням необхідно спроектувати керуючий автомат (КА) за заданою викладачем змістовною граф-схемою алгоритму. Проаналізувати різні варіанти побудови комбінаційної схеми КА і вибрати найбільш простий. Для заданого варіанту побудувати функціональну схему КА. Дати оцінку конструктивної складності ЦА. Надати рекомендації з вибору елементної бази для реалізації цифрового автомата.

Результати курсового проєкту повинні бути подані у формі пояснювальної записки і графічної частини, яка містить функціональну схему КА.

Загальні вимоги до оформлення пояснювальної записки та графічної частини курсового проєкту подані в «Методичні вказівки до оформлення пояснювальної записки до курсового проєкту для студентів спеціальності 123 “Комп’ютерна інженерія” /Укл.: Т.В. Голуб, С.С. Грушко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 36 с.» Структура курсового проєкту наведена у додатку А.

На захисті студент повинен коротко викласти основні результати кожного з виконаних етапів, після чого йому можуть бути задані питання щодо його роботи, на які повинні бути дані повні відповіді. Оцінка курсового проєкту складається з оцінки якості виконання роботи відповідно до виданого завдання і від знань, виявлених в процесі захисту.

Незадовільна оцінка з курсового проєкту може бути виставлена студенту в наступних випадках:

- пояснювальна записка до курсового проєкту не подана на захист;
- в пояснювальній записці відсутнє рішення поставленої задачі;
- на захист подана пояснювальна записка з чужим варіантом курсового проєкту;
- студент не може дати пояснення виконаним етапам курсового проєкту;
- пояснювальна записка не відповідає вимогам оформлення.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЦИФРОВІ АВТОМАТИ

2.1 Структура цифрового автомату

До складу будь-якого цифрового пристрою входять операційний автомат (ОА) і керуючий автомат (КА) (рис. 2.1).

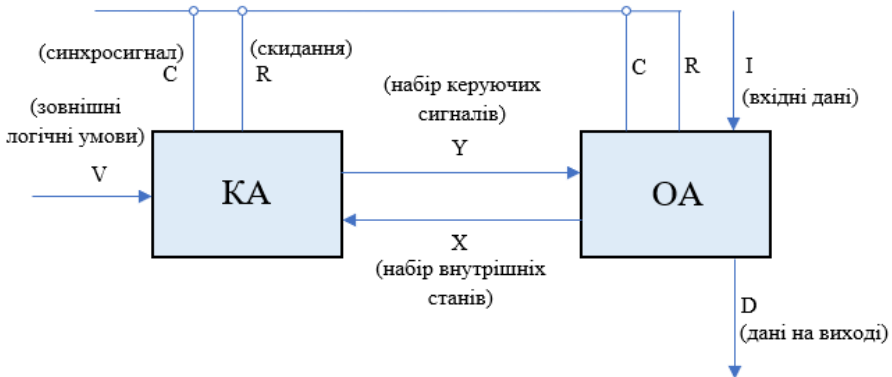


Рисунок 2.1 - Загальна функціональна схема цифрових пристроїв

Операційний автомат об'єднує функціональні модулі, які проводять обробку інформації, що надходить. Операційний автомат має інформаційні входи I і входи Y керування; інформаційні виходи D , а також виходи X , які сигналізують про результати виконання операцій. Сигнали, що формуються на цих виходах, називаються внутрішніми логічними умовами пристрою. Операційний автомат складається з типових функціональних модулів, таких, як паралельні і послідовні регістри, лічильники, комбінаційні суматори, схеми порівняння, мультиплексори, шифратори, дешифратори і ін.

Керуючий автомат формує сигнали Y керування операційним автоматом за заданою програмою з урахуванням значень внутрішніх X і зовнішніх V логічних умов, які для нього є вхідними змінними. Зовнішні логічні умови, задають одну з декількох можливих у даному пристрої мікропрограм. На виходах у керуючого автомата можуть бути сформовані сигнали для зовнішніх пристроїв, що несуть інформацію про стан цього цифрового автомату. Керуючий автомат

визначає логіку роботи пристрою, тобто послідовність і тип операцій, виконуваних операційним автоматом над вихідними даними.

Спільними керуючими входами автомата є вхід синхронізації C і вхід скидання R . По входу C здійснюється синхронізація роботи операційного та керуючого автомата. По входу R відбувається установка внутрішніх елементів пам'яті автоматів в стан, який вважається вихідним (початковим).

Керуючий автомат можна будувати двома способами: як автомат з жорсткою логікою, або як автомат зі спеціальною вбудованою пам'яттю мікропрограм. Обидва принципи формування керуючого автомата застосовуються в комп'ютерних системах, причому при реалізації складних алгоритмів використовується мікропрограмне керування, а при реалізації простих алгоритмів - схемна логіка.

Дана курсова робота передбачає розробку керуючого автомата з жорсткою логікою.

2.2 Види керуючих автоматів. Структури автоматів Мілі і Мура

Для побудови обох типів автоматів, але перш за все, автоматів із жорсткою логікою, використовується теорія абстрактних скінченних автоматів. Існують дві базові моделі КА, функціонально аналогічні: автомат Мура і автомат Мілі.

Будь-який КА описується наступним кортежем:

$$M = \{X, Y, S, \delta, \lambda, s_0\},$$

де X, Y, S - відповідно множини вхідних, вихідних значень КА і внутрішніх станів.

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$$

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$$

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_k\} \text{ де } m, n, k - \text{скінченні значення.}$$

Якщо m, n, k скінченні, то автомат називають скінченим.

Стан ЦА визначається станом елементів пам'яті δ, λ - відповідно характеристичні функції переходу з одного стану в інший (δ) і функція виходу ЦА (λ), s_0 - початковий стан КА.

За законом функціонування або за видом вихідної функції КА поділяються на: автомати 1-го роду (автомати Мілі) і автомати 2-го роду (автомати Мура).

Закон функціонування КА першого роду (автомата Мілі) є:

$$s(t) = \delta(s(t-1), x(t)), y(t) = \lambda(s(t-1), x(t)), \text{ де}$$

$s(t)$ - стан автомата в даний момент;

$s(t-1)$ - стан автомата в попередній момент. Якщо $t=0$, то $s(t-1)=s_0$;

$x(t)$ - вхідний сигнал в поточний момент;

δ - оператор формування даного стану s ;

λ - оператор формування даного вихідного сигналу y .

Тобто, закон функціонування являє собою сукупність двох функцій: функції переходу δ і функції виходу λ . Даний стан $s(t)$ залежить від попереднього стану $s(t-1)$ і вхідного сигналу в даний момент часу. Вихідний сигнал в даний момент часу визначається попереднім станом і вхідним сигналом в даний момент часу.

Функція виходу КА 2-го роду відрізняється від такої функції КА 1-го роду тим, що використовується стан в даний момент часу $s(t)$. Таким чином, закон функціонування ЦА 2-го роду є:

$$s(t)=\delta(s(t-1), x(t)), y(t)=\lambda(s(t),x(t)).$$

У КА Мілі вихідний сигнал є тільки тоді, коли є вхідний сигнал, а у КА Мура вихідний сигнал є завжди.

3 СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО КЕРУЮЧОГО АВТОМАТА З ЖОРСТКОЮ ЛОГІКОЮ

3.1 Абстрактний синтез автомата

3.1.1 Задавання ЦА

При синтезі КА з жорсткою логікою виділяються етапи абстрактного і структурного синтезу.

На етапі абстрактного синтезу за алгоритмом, визначеним на початковому етапі, будується таблиця переходів, записуються системи канонічних рівнянь (СКР) та системи вихідних функцій.

Функціонування автомата задається кодовою граф-схемою алгоритму (ГСА), тобто мікропрограмою керування на апаратному рівні. Кодовану ГСА (рис. 3.1, б) отримують шляхом заміни в змістовній ГСА (рис. 3.1, а) мікрооператорів (наборів сумісних мікрооперацій) на коди мікрокоманд, а також заміни логічних умов на їх ідентифікатори.

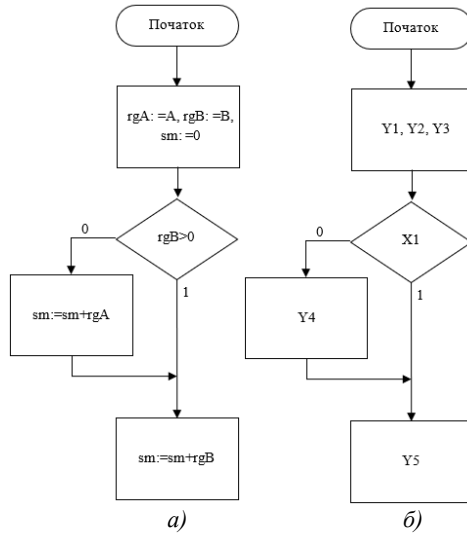


Рисунок 3.1- Фрагмент змістовної (а) і кодової (б) ГСА

3.1.2 Отримання позначеної ГСА

Абстрактний синтез автомата починається з позначення внутрішніх станів кодової ГСА. Відмітка станів повинна відповідати закону функціонування автомата Мура чи Мілі, тобто виконується для них різним чином.

Будемо вважати, що автомат починає роботу зі стану S_0 , в якому він не виробляє жодних вихідних сигналів, і після виконання мікропрограми знову опиняється у цьому ж стані. Потім автомат переходить в наступний стан, який є визначений законом функціонування, і формує мікрокоманди u , відповідні поточним значенням сигналів x . Момент закінчення виконання мікропрограми відзначається поверненням автомата в початковий стан S_0 .

Якщо для інтерпретації закодової ГСА використовується автомат Мілі, то позначення граф-схеми проводиться в наступному порядку:

- символом S_0 відзначається вихід початкової і вхід кінцевої вершини;
- символами $S_1, S_2, \dots$ відзначаються входи вершин, які слідують за операторними вершинами;

- входи двох різних вершин не можуть бути відзначені однаковими символами;
- входи вершин можуть зазначатися тільки одним символом стану.

Оскільки в автоматі Мура вихідні сигнали пов'язані тільки зі станом автомата, то кожній операторній вершині має відповідати один зі станів автомата. Правило позначання станів автомата на ГСА мікропрограми буде виглядати наступним чином:

- символом s_0 відмічаються початкова і кінцева вершини ГСА;
- кожна операторна вершина відзначається єдиним символом з набору $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 \dots$;
- дві різні операторні вершини не можуть бути позначені однаковими символами.

На рис. 3.2, б) подана ГСА, позначена за наведеним вище правилом. В кожному такті автомат Мура, що інтерпретує дану мікропрограму, переходить з одного стану в інший і видає відповідні вихідні сигнали y_i . Порядок видачі вихідних сигналів y_i визначається значеннями вхідних сигналів x_i .

Спочатку автомат зі стану s_0 перейде в стан s_1 і сформує вихідний сигнал y_1 . У наступному такті роботи під впливом вхідного сигналу $x_1=1$ автомат з стану s_1 перейде в стан s_3 з формуванням вихідних сигналів y_2 і y_3 . У разі, якщо $x_1=0$, КА перейде в стан s_2 із формуванням вихідного сигналу y_2 .

Наведені правила означають, що якщо вершина має кілька входів, то символом стану зазначається їх підмножина, що складається з входів, що слідує тільки за початковою або за операторними вершинами. Це стосується закрема Автомата Мілі.

Якщо один з входів кінцевої вершини з'єднаний з виходом операторної вершини, то між ними необхідно ввести порожню операторну вершину, інакше автомати Мура та Мілі, побудовані за однією ГСА не будуть еквівалентними.

На рис. 3, а) подана ГСА, позначена за наведеним вище правилом.

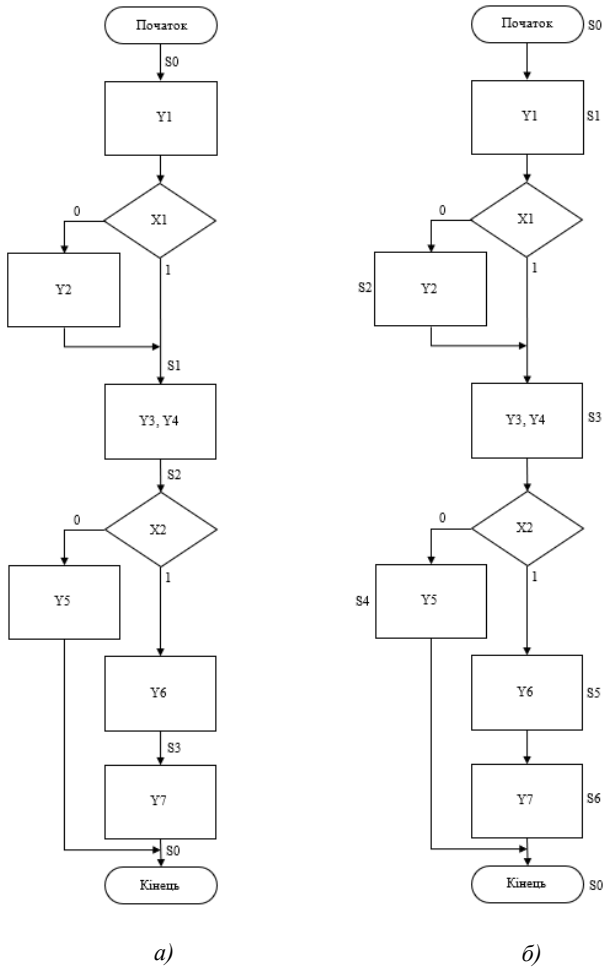


Рисунок 3.2 - Позначені граф-схеми а) для автомата Мілі, б) для автомата Мура

3.1.3 Побудова графа переходів або функціонування автомата

Для автоматів Мілі та Мура їх внутрішні стани подаються вершинами графа. Внутрішні переходи від одного стану до іншого зображуються спрямованими дугами. Для автоматів Мілі і Мура значення вхідного сигналу, що викликає цей перехід з поточного стану $s(t)$ в подальший $s(t+1)$, приписується відповідній дузі.

При формуванні графа для автомата Мілі необхідно враховувати, що значення вихідних сигналів $y(t)$, які визначаються значеннями поточного стану $s(t)$ і вхідних сигналів $x(t)$, ставляться у відповідність самій дузі. Граф автомата Мілі наведено на рисунку 3.3, а).

Для автомата Мура значення вихідних сигналів залежать тільки від внутрішнього стану і тому приписуються відповідній вершині. Таким чином, на графах відображаються обидві характеристичні функції автомата. Граф автомата Мура, побудований за ГСА, поданий на рис. 3.3, б).

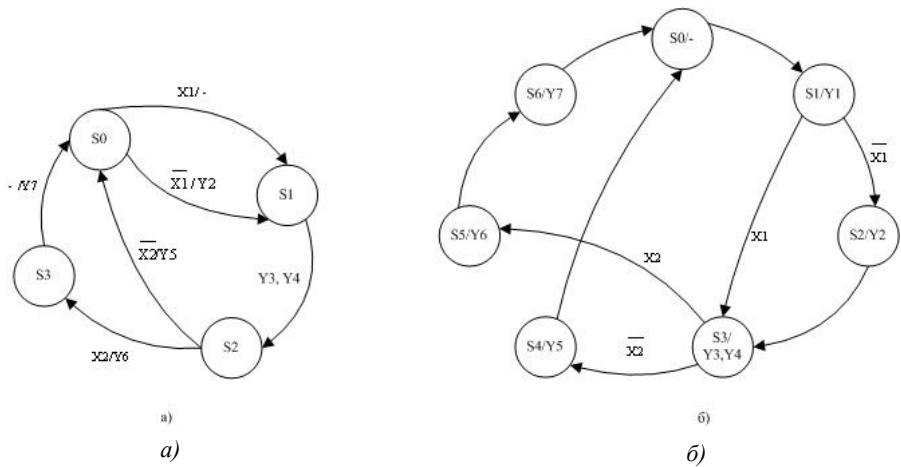


Рисунок 3.3 - Графи автоматів: а) Мілі, б) Мура

3.1.4 Побудова таблиці переходів і вихідних функцій

Для автомата Мілі в комірках таблиці переходів-виходів для кожної пари значень аргументів проставляються наступні внутрішні стани та поточні значення вихідних сигналів. Приклад табличного подання функцій автомата Мілі наведено у табл. 3.1.

Для автомата Мура в комірках таблиці переходів-виходів для кожної пари значень аргументів $x(t)$, $s(t)$ проставляються наступні внутрішні стани $s(t+1)$. Значення вихідних сигналів $y(t)$ подаються в окремому стовпці. Приклад табличного подання функцій автомата Мура наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.1 - Табличне подання функцій автомата Мілі

	X ₁ X ₂				Y
	00	01	10	11	
S ₀	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	-
S ₁	S ₂	S ₂	S ₃	S ₃	Y ₁
S ₂	S ₃	S ₃	S ₃	S ₃	Y ₂
S ₃	S ₄	S ₅	S ₄	S ₅	Y ₃ , Y ₄
S ₄	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	Y ₅
S ₅	S ₆	S ₆	S ₆	S ₆	Y ₆
S ₆	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	Y ₇

Таблиця 3.2 - Табличне подання функцій автомата Мура

	X ₁ X ₂			
	00	01	10	11
S ₀	S ₁ /Y ₂	S ₁ /Y ₂	S ₁ / -	S ₁ / -
S ₁	S ₂ /Y ₃ Y ₄	S ₂ /Y ₃ Y ₄	S ₂ /Y ₃ Y ₄	S ₂ /Y ₃ Y ₄
S ₂	S ₀ /Y ₅	S ₃ /Y ₆	S ₀ /Y ₅	S ₃ /Y ₆
S ₃	S ₀ /Y ₇	S ₀ /Y ₇	S ₀ /Y ₇	S ₀ /Y ₇

3.2 Структурний синтез автомата

3.2.1 Етапи структурного синтезу

На етапі структурного синтезу будується логічна схема цифрового автомата.

При заданих типах елементів пам'яті структурний синтез автомата зводиться до виконання наступних проектних операцій:

- кодування внутрішніх станів;
- формування функцій зовнішнього переходу;
- формування і мінімізація функцій збудження елементів пам'яті і функцій виходів;
- побудова комбінаційної схеми автомата в обраному базисі логічних елементів і функціональної схеми автомата.

Якщо тип елементів не заданий, необхідно його обрати, враховуючи складність отриманої схеми, її вартість і технічні характеристики самих елементів.

3.2.2 Кодування внутрішніх станів

Структурний синтез починається з двійкового кодування внутрішніх станів автомата - встановлення взаємно-однозначної відповідності між станами автомата і комбінаціями станів елементів пам'яті.

Аналіз структурного синтезу автоматів показує, що різні варіанти кодування станів автомата приводять до різних виразів функцій збудження і функцій виходів, у результаті чого виявляється, що складність комбінаційної схеми автомата істотно залежить від обраного кодування. Як правило, знаходження варіантів кодування станів, які забезпечують ослаблену функціональну залежність для функцій збудження, дає більш економічну схему, ніж при інших типах кодування.

При кодуванні станів кожному стану пристрою повинна бути поставлена у відповідність деяка кодова комбінація. Число розрядів коду вибирається з наступних міркувань: якщо число станів дорівнює S , то для забезпечення s кодових комбінацій потрібно k -розрядний код, де k - мінімальне ціле число, при якому виконується нерівність $S \leq 2^k$.

При двійковому кодуванні станів автомата число тригерів у його схемі дорівнює числу розрядів коду і обчислюється за формулою:

$$k = \lceil \log_2 S \rceil, \text{ де}$$

S - число станів автомата;

$\lceil \rceil$ - округлення в більшу сторону.

Зазвичай виконують економічне кодування станів, яке забезпечує найбільш просту реалізацію комбінаційної схеми (КС) автомата. Використовується метод сусіднього кодування, заснований на пошуку сусідніх станів і призначення їм сусідніх кодів.

3.2.3 Формування функцій зовнішнього переходу або побудова графа автомата

Функції зовнішнього переходу визначають зміну станів кожного з елементів пам'яті в залежності від зміни стану всіх елементів пам'яті і приходять на автомат вхідних сигналів.

Щоб кожен елемент пам'яті працював у відповідності зі своєю функцією зовнішніх переходів, необхідно, щоб на його входи приходили строго визначені сигнали керування. Ці сигнали формуються за логічними виразами, які називають функціями збудження елементів пам'яті.

3.2.4 Формування функцій збудження і виходів

Табличні форми подання функцій зовнішнього переходу, функцій збудження і виходів можна отримати безпосередньо з таблиці переходів-виходів і таблиці кодів станів. Для цього символи станів необхідно замінити відповідними кодами і встановити порядок проходження рядків і стовпців.

Для наочності виконуваних перетворень будується структурна таблиця автомата, яка заповнюється з урахуванням функціонування заданого елемента пам'яті.

Таблиця 3.3 - Таблиця переходів тригерів

$Q(t) \rightarrow Q(t+1)$	D	T	S	R	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	0	0	x	0	x
$0 \rightarrow 1$	1	1	1	0	1	x
$1 \rightarrow 0$	0	1	0	1	x	1
$1 \rightarrow 1$	1	0	x	0	x	0

В структурній таблиці автомата відображаються значення функцій збудження і виходів для всіх робочих наборів. З метою спрощення їх аналітичного подання використовують карти Карно та виконують їх мінімізацію.

Мінімізацію функцій доцільно виконувати за критеріями оптимальності спільної мінімізації: мінімум числа різних термів (кон'юнкцій або диз'юнкцій), які використовуються для покриття всіх функцій системи і мінімум рангів цих термів. При цьому один і той же терм може входити в покриття кількох функцій.

3.2.5 Побудова функціональної схеми автомата

На основі отриманих функцій збудження і функцій виходів

можна побудувати функціональну схему мікропрограмного автомата. На практиці найчастіше використовують базиси Буля (елементи І, АБО, НЕ), Шеффера (елементи І-НЕ) і Пірса (елементи АБО-НЕ). Якість вирішення задачі синтезу комбінаційної схеми оцінюють за витратами обладнання та швидкодією.

При розробці схем на основі конкретної елементної бази кількість устаткування зазвичай вимірюється числом корпусів (модулів), що використовуються у схемі. У теоретичних розробках орієнтуються на довільну елементну базу і тому для оцінки затрат обладнання використовується оцінка складності схем за Квайном. Складність (ціна) схеми за Квайном визначається сумарним числом входів логічних елементів у складі схеми. При такій оцінці одиниця складності, тобто одиниця обладнання - один вхід логічного елемента. При цьому ціна інверсного входу зазвичай приймається рівній двом.

Такий підхід до оцінки складності схем є результативним з наступних причин. По-перше, складність схеми легко обчислюється за булевими функціями, на основі яких будується схема: складність схеми дорівнює сумі кількості літер у диз'юнктивній нормальній формі, при цьому літері зі знаком заперечення відповідає ціна два, і кількості знаків диз'юнкції, збільшеної на одиницю для кожного диз'юнктивного виразу. По-друге, всі класичні методи мінімізації булевих функцій забезпечують мінімальність схеми саме в сенсі ціни схеми за Квайном.

Схема, мінімальна в сенсі ціни за Квайном, зазвичай реалізується найменшим числом конструктивних елементів - корпусів.

Швидкодія схеми оцінюється максимальною затримкою сигналу при проходженні його від входу схеми до виходу, тобто визначається проміжком часу від моменту надходження вхідних сигналів до моменту встановлення відповідних значень вихідних сигналів. Затримка сигналу кратна числу елементів, через які проходить сигнал від входу до виходу схеми. Тому швидкодія схеми характеризується значенням $d\tau$, де τ - затримка сигналу на одному логічному елементі. Значення d визначається кількістю рівнів комбінаційної схеми, яка розраховується наступним чином. Входам комбінаційної схеми присвоюється рівень 0. Елементи, зв'язані тільки з входами схеми, відносяться до рівня 1. Елемент відноситься до рівня d , якщо він пов'язаний входами з елементами рівнів $d-1$, $d-2$, ..., 0. Максимальний рівень елементів визначає кількість рівнів комбінаційної схеми.

4 ПРИКЛАД СИНТЕЗУ АВТОМАТА ЗА ЗАДАНИМ АЛГОРИТМОМ

За заданою в мікроопераціях змістовною схемою алгоритму (рис. 4.1), необхідно розробити функціональну схему автомата Мілі (Мура) в якості елементів пам'яті використовувати D-тригери, комбінаційну схему реалізувати на логічних елементах. Дати оцінку конструктивної складності ЦА.

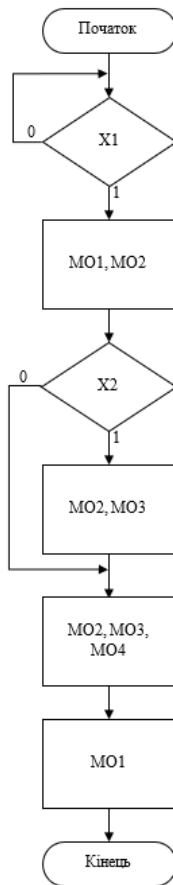


Рисунок 4.1 - Схема алгоритму, позначена в мікроопераціях (змістовний алгоритм)

Замінімо набори мікрооперацій MO1, MO2, MO3, MO4 на коди мікрокоманд Y1, Y2, Y3, Y4. В результаті отримаємо кодовану в мікрокомандах граф-схему алгоритму (ГСА).

Побудуємо кодовану (ГСА) автомата Мілі (Мура).

Відповідно до вимог що пред'являються до розмітки станів цифрового автомата Мілі (Мура) отримуємо кодовану ГСА цифрового автомата (рис. 4.2).

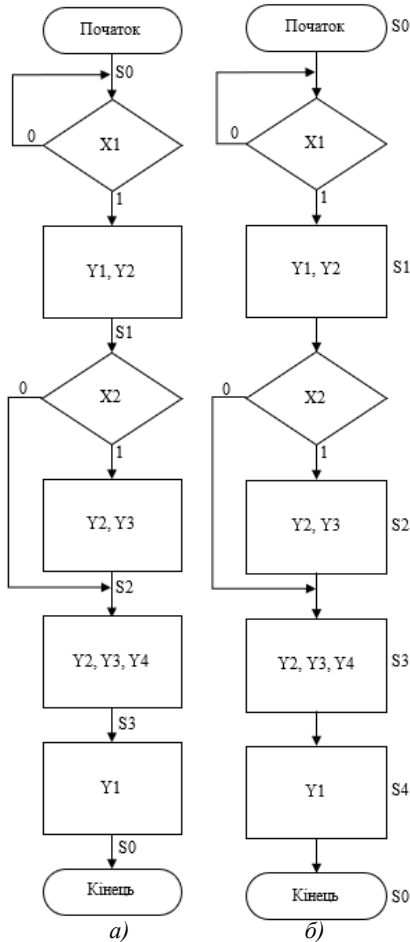


Рисунок 4.2 - Позначені граф-схеми

Згідно кодової граф-схеми алгоритму автомата Мілі (Мура) будемо граф функціонування автомата (рис. 4.3).

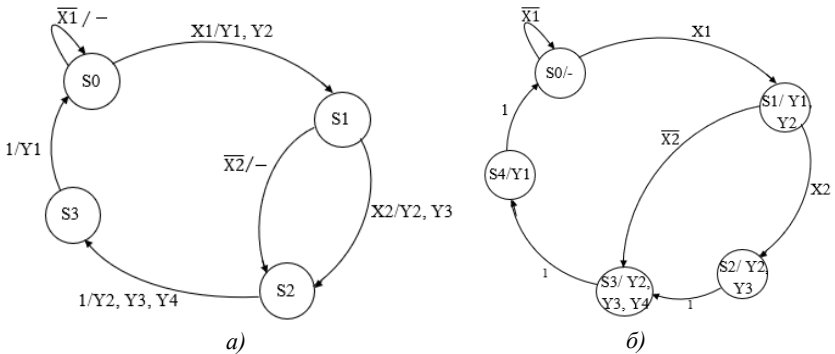
Проводимо кодування станів пристрою.

Число розрядів коду стану відповідає числу елементів пам'яті і визначається за формулою: $k = \lceil \log_2 S \rceil$, де

k - число розрядів (число елементів пам'яті);

S - число внутрішніх станів;

$\lceil \rceil$ - округлення у більшу сторону.



а) Мілі б) Мура

Рисунок 4.3 - Графи функціонування автоматів

У нашому випадку для автомата Мілі число станів $S=4$. Кількість розрядів коду стану (число елементів пам'яті):

$$k = \lceil \log_2 S \rceil = \lceil \log_2 4 \rceil = 2.$$

Для автомата Мура число станів $S = 5$. Кількість розрядів коду стану (число елементів пам'яті):

$$k = \lceil \log_2 S \rceil = \lceil \log_2 5 \rceil = 3.$$

Таблиці кодування станів автомата Мілі і автомата Мура наведені в табл. 4.1, 4.2 відповідно.

Таблиця 4.1 – Таблиця кодування станів автомата Мілі

Стан	Код стану
S_0	00
S_1	01
S_2	10
S_3	11

Таблиця 4.2 – Таблиця кодування станів автомата Мура

Стан	Код стану
S_0	000
S_1	001
S_2	010
S_3	011
S_4	100

На наступному етапі формуємо функції переходу, збудження і виходів пристрою. За кодованою ГСА або графом функціонування автомата, таблицею кодування станів автомата та таблицею переходів тригерів будуюмо таблиці (або таблицю) функцій переходу, збудження і виходів пристрою.

Таблиця 4.3 – Таблиця функцій виходів, переходів і збудження для автомата Мілі

Початковий стан			Умови переходу	Наступний стан			Функції виходу	Функції збудження	
Позначка	Код			Позначка	Код			D ₁	D ₀
	Q ₁	Q ₀			Q ₁	Q ₀			
S ₀	0	0	$\bar{X}_1$	S ₀	0	0	—	0	0
S ₀	0	0	X ₁	S ₁	0	1	Y ₁ ,Y ₂	0	1
S ₁	0	1	X ₂	S ₂	1	0	Y ₂ ,Y ₃	1	0
S ₁	0	1	$\bar{X}_2$	S ₂	1	0	—	1	0
S ₂	1	0	1	S ₃	1	1	Y ₂ ,Y ₃ ,Y ₄	1	1
S ₃	1	1	1	S ₀	0	0	Y ₁	0	0

Таблиця 4.4 - Таблиця функцій виходів для автомата Мура

Стан	Код стану			Функції виходу			
	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
S ₀	0	0	0	0	0	0	0
S ₁	0	0	1	1	1	0	0
S ₂	0	1	0	0	1	1	0
S ₃	0	1	1	0	1	1	1
S ₄	1	0	0	1	0	0	0

Далі проводимо мінімізацію функцій збудження елементів пам'яті і функцій виходів.

З таблиці функцій переходу, збудження і виходів автомата Мілі (Мура) отримуємо систему логічних рівнянь для цифрового автомата Мілі (Мура).

Таблиця 4.5 - Таблиця функцій переходу і збудження для автомата Мура

Початковий стан				Стан переходу	Наступний стан				Функції збудження		
Позначка	код				Позначка	код			D ₂	D ₁	D ₀
	Q ₂	Q ₁	Q ₀			Q ₂	Q ₁	Q ₀			
S ₀	0	0	0	$\bar{X}_1$	S ₀	0	0	0	0	0	0
S ₀	0	0	0	X ₁	S ₁	0	0	1	0	0	1
S ₁	0	0	1	X ₂	S ₂	0	1	0	0	1	0
S ₁	0	0	1	$\bar{X}_2$	S ₃	0	1	1	0	1	1
S ₂	0	1	0	1	S ₃	0	1	1	0	1	1
S ₃	0	1	1	1	S ₄	1	0	0	1	0	0
S ₄	1	0	0	1	S ₀	0	0	0	0	0	0

Система логічних рівнянь для цифрового автомата Мілі:

$$D_1 = \bar{Q}_1 Q_0 X_2 \vee \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 \bar{X}_2 \vee Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_1 Q_0 (X_2 \vee \bar{X}_2) \vee Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_1 Q_0 \vee Q_1 \bar{Q}_0$$

$$D_0 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 X_1 \vee Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_0 (\bar{Q}_1 X_1 \vee Q_1) = \bar{Q}_0 (X_1 \vee Q_1) = \bar{Q}_0 X_1 \vee Q_1 \bar{Q}_0$$

$$Y_1 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 X_1 \vee Q_1 Q_0$$

$$Y_2 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 X_1 \vee \bar{Q}_1 Q_0 X_2 \vee Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_0 (\bar{Q}_1 X_1 \vee Q_1) \vee \bar{Q}_1 Q_0 X_2 = \bar{Q}_0 (X_1 \vee Q_1) \vee \bar{Q}_1 Q_0 X_2 = \bar{Q}_0 X_1 \vee Q_1 \bar{Q}_0 \vee \bar{Q}_1 Q_0 X_2$$

$$Y_3 = \bar{Q}_1 Q_0 X_2 \vee Q_1 \bar{Q}_0$$

$$Y_4 = Q_1 \bar{Q}_0$$

Система логічних рівнянь для цифрового автомата Мура:

$$D_2 = \bar{Q}_2 Q_1 Q_0$$

$$D_1 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 X_2 \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \bar{X}_2 \vee \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 (X_2 \vee \bar{X}_2) \vee \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \vee \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0$$

$$D_0 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 X_1 \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \bar{X}_2 \vee \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_0 (\bar{Q}_1 X_1 \vee Q_1) \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \bar{X}_2 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_0 (X_1 \vee Q_1) \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \bar{X}_2 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_0 X_1 \vee \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \bar{X}_2$$

$$Y_1 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \vee Q_2 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0$$

$$Y_2 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \vee \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 \vee \bar{Q}_2 Q_1 Q_0 = \bar{Q}_2 Q_1 (\bar{Q}_0 \vee Q_0) \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 = \bar{Q}_2 Q_1 \vee \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 = \bar{Q}_2 (Q_1 \vee \bar{Q}_1 Q_0) = \bar{Q}_2 (Q_1 \vee Q_0) = \bar{Q}_2 Q_1 \vee \bar{Q}_2 Q_0$$

$$Y_3 = \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 \vee \bar{Q}_2 Q_1 Q_0 = \bar{Q}_2 Q_1 (\bar{Q}_0 \vee Q_0) = \bar{Q}_2 Q_1$$

$$Y_4 = \bar{Q}_2 Q_1 Q_0$$

З системи логічних рівнянь для цифрового автомата Мілі отримуємо повну множину кон'юнкцій для даного автомата:

$$K_1 = \bar{Q}_1 Q_0$$

$$K_2 = Q_1 \bar{Q}_0$$

$$K_3 = \bar{Q}_0 X_1$$

$$K_4 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 X_1$$

$$K_5 = Q_1 Q_0$$

$$K_6 = \bar{Q}_1 Q_0 X_2$$

З системи логічних рівнянь для цифрового автомата Мура отримуємо повну множину кон'юнкцій для даного автомата:

$$K_1 = \bar{Q}_2 Q_1 Q_0$$

$$K_2 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0$$

$$K_3 = \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0$$

$$K_4 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_0 X_1$$

$$K_5 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 \bar{X}_2$$

$$K_6 = Q_2 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0$$

$$K_7 = \bar{Q}_2 Q_1$$

$$K_8 = \bar{Q}_2 Q_0$$

З повної множини кон'юнкцій отримуємо таблицю покриття кон'юнкціями системи логічних рівнянь.

Таблиця 4.6 - Таблиця покриття кон'юнкціями для цифрового автомата Мілі

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
D ₁	+	+				
D ₀		+	+			
Y ₁				+	+	
Y ₂		+	+			+
Y ₃		+				+
Y ₄		+				

Таблиця 4.7 – Таблиця покриття кон'юнкціями для цифрового автомата Мура

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
D ₂	+							
D ₁		+	+					
D ₀			+	+	+			
Y ₁		+				+		
Y ₂							+	+
Y ₃							+	
Y ₄	+							

На основі отриманих функцій збудження і функцій виходів будуємо функціональну схему автомата Мілі (Мура) (рис. 4.4, 4.5 відповідно).

Проводимо оцінку конструктивної складності автомата Мілі (Мура).

- визначення конструктивної складності автомата Мілі методом Квайна - число входів логічних елементів: 29.

- число ярусів сигналу на самому довгому шляху від входу до виходу: 3.

- кількість логічних елементів необхідних для побудови функціональної схеми подана у табл. 4.8.

Таблиця 4.8 — Обладнання для реалізації автомата Мілі

Автомат	Логічні елементи	На 2 входи	На 3 входи	D-тригерів	Всього
Мілі	I	4	2	2	13
	АБО	4	1		

- визначення конструктивної складності автомата Мура методом Квайна - число входів логічних елементів: 40.

- число ярусів сигналу на самому довгому шляху від входу до виходу: 4.

- кількість елементів, необхідних для побудови функціональної

схеми, подана у табл. 4.9.

Таблиця 4.9 - Обладнання для реалізації автомата Мура

Автомат	Логічні елементи	На 2 входи	На 3 входи	На 4 входи	D-тригерів	Всього
Мура	НЕ	2			3	17
	I	2	5	1		
	АБО	3	1	0		

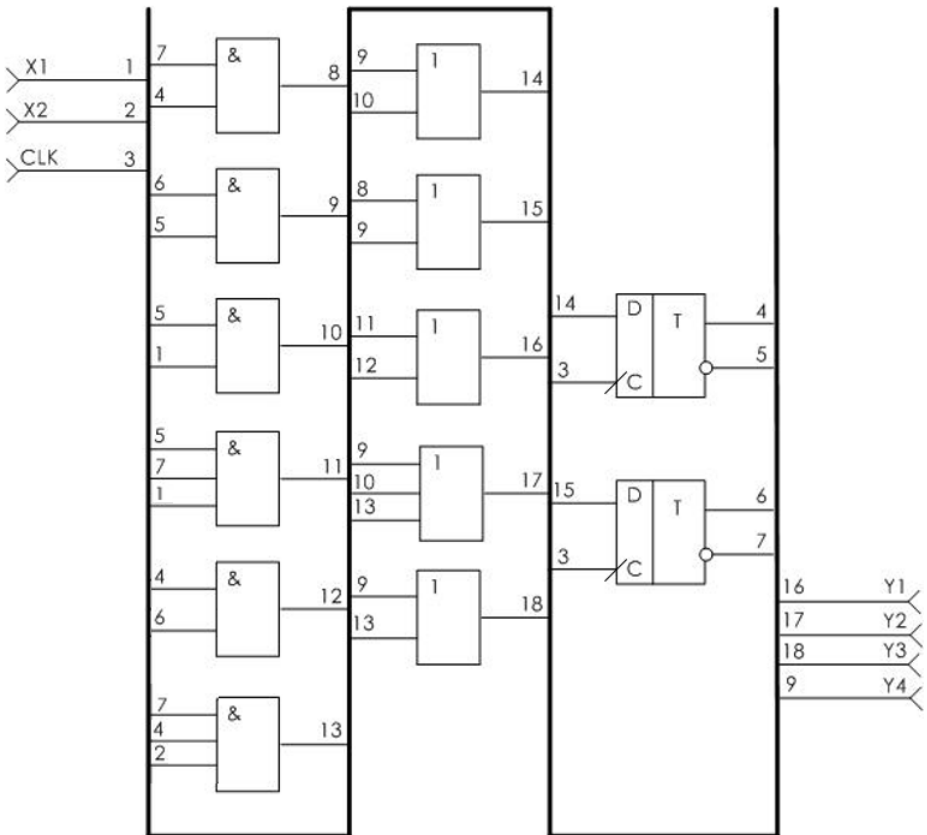


Рисунок 4.4 – Приклад функціональної схеми автомата Мілі

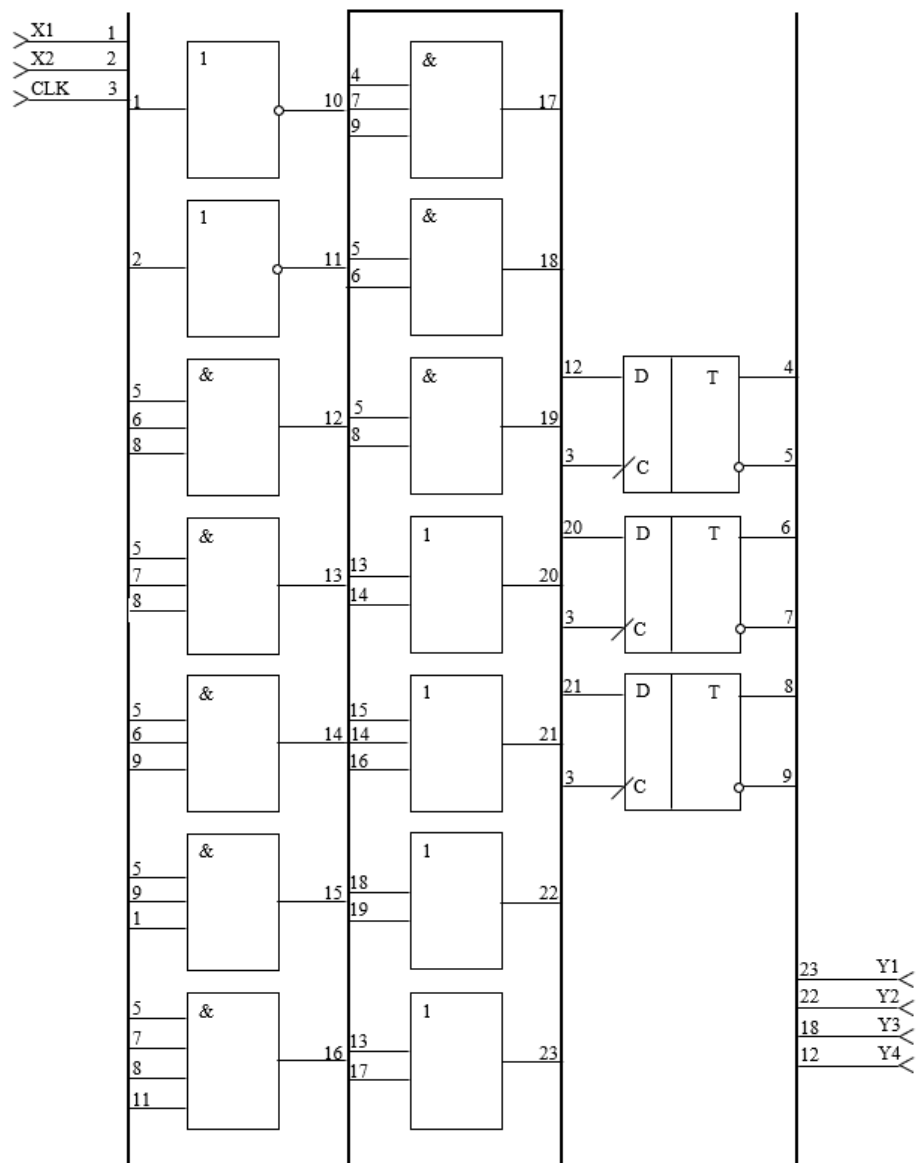


Рисунок 4.5 – Приклад функціональної схеми автомата Мура

В пояснювальній записці наводяться також скріни схеми і часових діаграм з середи моделювання, що підтверджують правильність роботи КА.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудерметов Р.К. «Прикладна теорія цифрових автоматів. Частина 1» / Р.К. Кудерметов, А.Н. Щербаков, М.П. Проскурін, С.С. Грушко. ЗНТУ, 2010. – 196 с.
2. Матвієнко М.П. Комп'ютерна логіка / М.П. Матвієнко. – Київ: Ліра-К, 2012. – 288 с.
3. Бабич М.П. Комп'ютерна схемотехніка: Навчальний посібник / М.П. Бабич, І.А. Жуков. – Київ.: «МК-Прес», 2004. – 412 с.
4. Комп'ютерна логіка. Тексти лекцій для студентів усіх форм навчання спеціальностей 8.091501 - "Комп'ютерні системи і мережі" і 7.091503 - "Спеціалізовані комп'ютерні системи" кафедри "Комп'ютерні системи і мережі" / Укл. М.П. Проскурін, С.С. Грушко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015.

Додаток А

Структура пояснювальної записки

Титульний лист

Лист завдання

Реферат

Зміст

Вступ

1 Постановка задачі

2 Синтез автомата Мілі (Мура)

2.1 Змістовна граф-схема алгоритму цифрового автомата

2.2 Кодування та зазначена граф-схема алгоритму ЦА

2.3 Побудова графа-переходів цифрового автомата

2.4 Обчислення кількості елементів пам'яті для цифрового автомата

2.5 Кодування станів цифрового автомата Мілі (Мура)

2.6 Побудова таблиці переходів та вихідних функцій цифрового автомата

2.7 Формування та мінімізація функцій збуджених елементів пам'яті і функцій виходів

2.8 Побудова таблиці покриття кон'юнкціями системи логічних рівнянь

2.9 Визначення елементної бази та оцінка конструктивної складності та швидкодії схеми

Висновки

Список використаних джерел