

## **Змістовий модуль 4. Елементарні цифрові автомати – елементи пам'яті.**

### **Лекція 7 Елементарні цифрові автомати**

Елементарним цифровим автоматом з пам'яттю є тригерний пристрій (тригер). Тригер – це пристрій послідовнісного типу з двома стійкими станами, призначений для запису і зберігання інформації. Під дією вхідних сигналів тригер може перемикатися з одного стійкого стану в інший. При цьому напруга на його виході стрибкоподібно змінюється.

Особливістю тригера як функціонального пристрою є властивість запам'ятовування двійкової інформації. Під пам'яттю тригера розуміють здатність залишатись в одному з двох станів після припинення дії сигналу перемикавання. Таким чином, тригер зберігає (пам'ятає) один розряд числа в двійковому коді.

При виготовленні тригерів застосовуються переважно напівпровідникові прилади. Логічні схеми, в тому числі з використанням тригерів, створюють в інтегрованих середовищах, розроблених під різні програмовані логічні інтегральні схеми. Тригери використовуються, в основному, в обчислювальній техніці для організації компонентів обчислювальних систем: регістрів, лічильників, процесорів,

Звичайно в тригерах виділяють два види вхідних сигналів (і відповідно входів): інформаційні і синхросигнали. Інформаційні сигнали визначають новий стан тригера і присутні в будь-яких тригерах. За типом інформаційних сигналів здійснюється класифікація тригерів: D, T, RS, JK, і т.д. Синхросигнал не є обов'язковим і вводиться в тригерах з метою фіксації моменту переходу тригера в новий стан, який задається інформаційними входами. При синтезі цифрових автоматів використовуються тригери із синхровходом. На синхровход тригера надходять імпульси тактового генератора, який синхронізує роботу цифрового автомата. Період проходження імпульсів відповідає одному такту автоматного часу цифрового автомата.

## 7.1 Елементи пам'яті структурного автомата

**D-тригер** – це електронний пристрій (елемент затримки) з двома стійкими вихідними станами  $Q$  і  $\bar{Q}$  та одним інформаційним входом  $D$ , який здійснює затримку на один такт сигналу, що надійшов на його вхід. Таблиця істинності, таблиця перемикань, словник переходів та умовне позначення D-тригера представлені на рисунку 7.1.

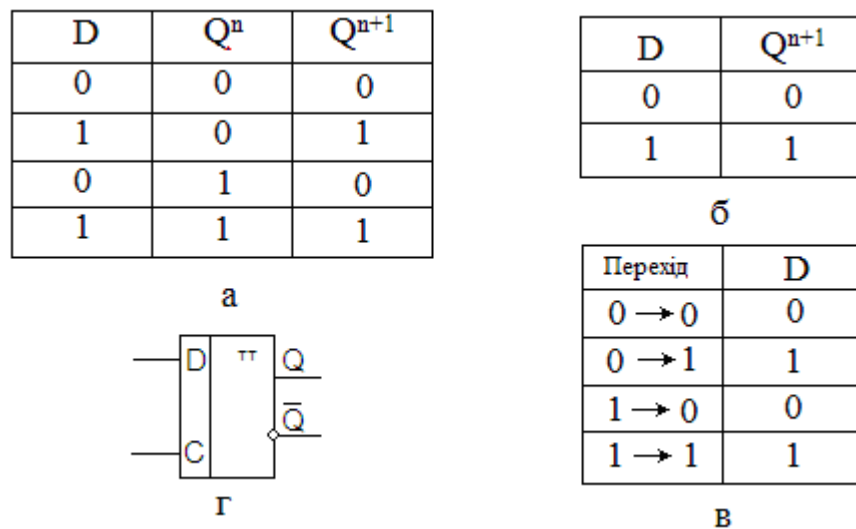


Рисунок 7.1 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), умовне позначення (г) D-тригера

Як видно з словника переходів, стан, в який переходить тригер, збігається з сигналами  $D(t)$ , які поступили на його вхід. У зв'язку з цим таблиця функцій збудження пам'яті синтезованого автомата з використанням D-тригера буде повністю збігатися з кодовою таблицею переходів цього автомата.

Промисловість випускає D-тригери в інтегральному виконанні. Наприклад K155TM2 (рис. 7.2). Таких тригерів два в одному корпусі. Вхід  $C$  - вхід синхронізації,  $Q$  - прямий вихід,  $\bar{Q}$  - інверсний вихід.  $\bar{R}$ ,  $\bar{S}$  - входи установки в 0 і 1 відповідно. При подачі на вхід  $\bar{R}$  і  $\bar{S}$  логічного нуля тригер встановлюється у відповідні стани незалежно від сигналу на входах  $D$  і  $C$ .

Тактований D-тригер встановлюється в стан  $Q^{n+1} = D^n$  лише з приходом тактового імпульсу  $C = 1$ , тому затримка тактового D-тригера визначається часом приходу тактового імпульсу. Характеристичне рівняння тригера:

$$Q^{n+1} = D_n.$$

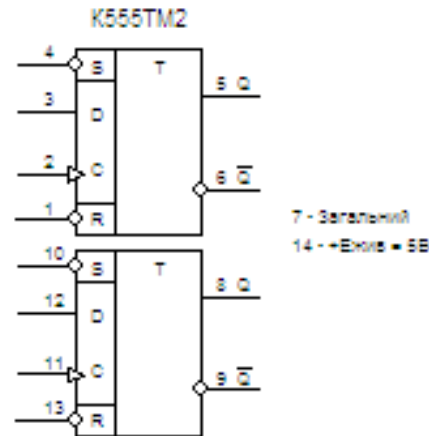


Рисунок 7.2 – Мікросхема K555TM2

**T-тригер** – елемент пам'яті з рахунковим входом - має один інформаційний вхід T і один вихід Q і здійснює підсумовування по модулю два значень сигналу T і стану Q в заданий момент часу.

Повна таблиця функціонування T-тригера приведена на рисунку 7.3, у якій попередній стан тригера  $Q^n$  – стан до подачі вхідних сигналів, T вхідний сигнал. Вихідний стан тригера після подачі вхідних сигналів позначений символом  $Q^{n+1}$ .

Відповідно до таблиці функціонування:

		$T$	
		0	1
$Q^n$	0	0	1
	1	1	0

Рівняння функціонування T-тригера:

$$Q^{n+1} = T\bar{Q}^n + \bar{T}Q^n$$

З рівняння випливає, що T-тригер кожного разу змінює свій стан на протилежний з приходом на рахунковий вхід T чергового тактуючого імпульсу. Для надійної роботи тригера, з метою збереження інформації про по-

передній стан тригера у момент його перемикання, в схему вводять елементи затримки. З розгляду принципу роботи Т-тригера виходить, що при  $T = 1$  спадаючий фронт сигналу на вході Т переводить тригер в протилежний стан (рис. 7.4).

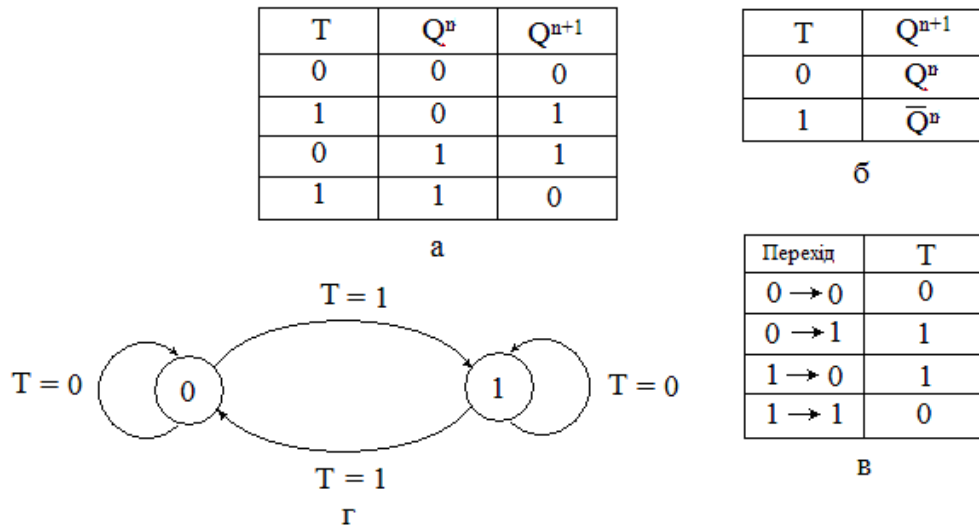


Рисунок 7.3 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) Т – тригера

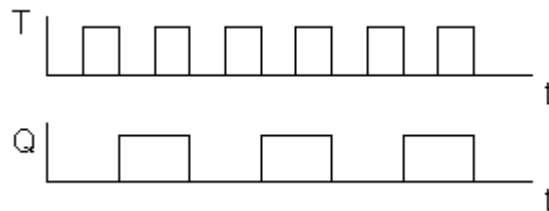


Рисунок 7.4 – Діаграма функціонування Т – тригера

Частота зміни потенціалу на виході Т – тригера в два рази менше частоти імпульсів на вході Т. Ця властивість Т – тригерів дозволяє будувати на їх основі двійкові лічильники. Тому ці тригери і називають рахунковими.

На підставі словника переходів можна отримувати функцію збудження елементів пам'яті при синтезі автомата на базі Т-тригера. Наприклад, якщо автомат перейшов зі стану  $F_i = 010$  у стан  $F_{i+1} = 110$ , то для забезпечення цього переходу функції збудження повинні бути:

- для першого тригера при переході з 0 у 1  $T_1 = 1$ ;
- для другого тригера при переході з 1 у 1  $T_2 = 0$ ;
- для третього тригера при переході з 0 у 0  $T_3 = 0$ .

У чистому вигляді промисловість не випускає Т-тригер.

Рахунковий Т – тригер може бути побудований на основі D – тригера з'єднанням інверсного виходу  $\bar{Q}$  з входом D, як показано на рисунку 7.5. У такій схемі кожен перехід «1 → 0» на вході С буде призводити до переходу тригера в протилежний стан.

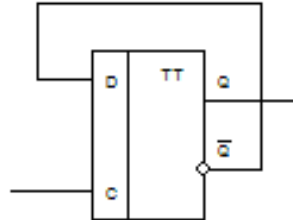


Рисунок 7.5 – Т – тригер на основі D – тригера

Наприклад, якщо  $Q^n = 1$ , то  $D^n = \bar{Q}^n = 0$ , і тому черговий тактовий імпульс переведе тригер в новий стан, тобто встановить  $Q^{n+1} = D^n = 0$ . Для правильної роботи Т – тригера тактовий імпульс має бути коротким.

**RS-тригер** - тригер з роздільними входами. Даний тригер має два вхідних канала R і S і один вихідний Q. Вхід S (Set) називається входом установки в одиницю, вхід R (Reset) - входом установки в нуль. Таблиця істинності, таблиця перемикачів, словник переходів та умовне позначення RS-тригера представлені на рисунку 7.6.

У таблиці переходів при подачі комбінації  $S = R = 1$  стан переходу  $Q_{t+1}$  не визначено і ця комбінація сигналів є забороненою для RS-тригера.

Рівняння функціонування RS – тригера:  $Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n$ .

На підставі словника переходів можна отримати функцію збудження пам'яті автомата при синтезі на базі RS-тригера. Наприклад, якщо автомат переходить зі стану  $F_i = 010$  у стан  $F_{i+1} = 110$ , то для забезпечення такого переходу функції збудження повинні бути:

- для першого тригера при переході з 0 у 1  $S_1 = 1, R_1 = 0$ ;

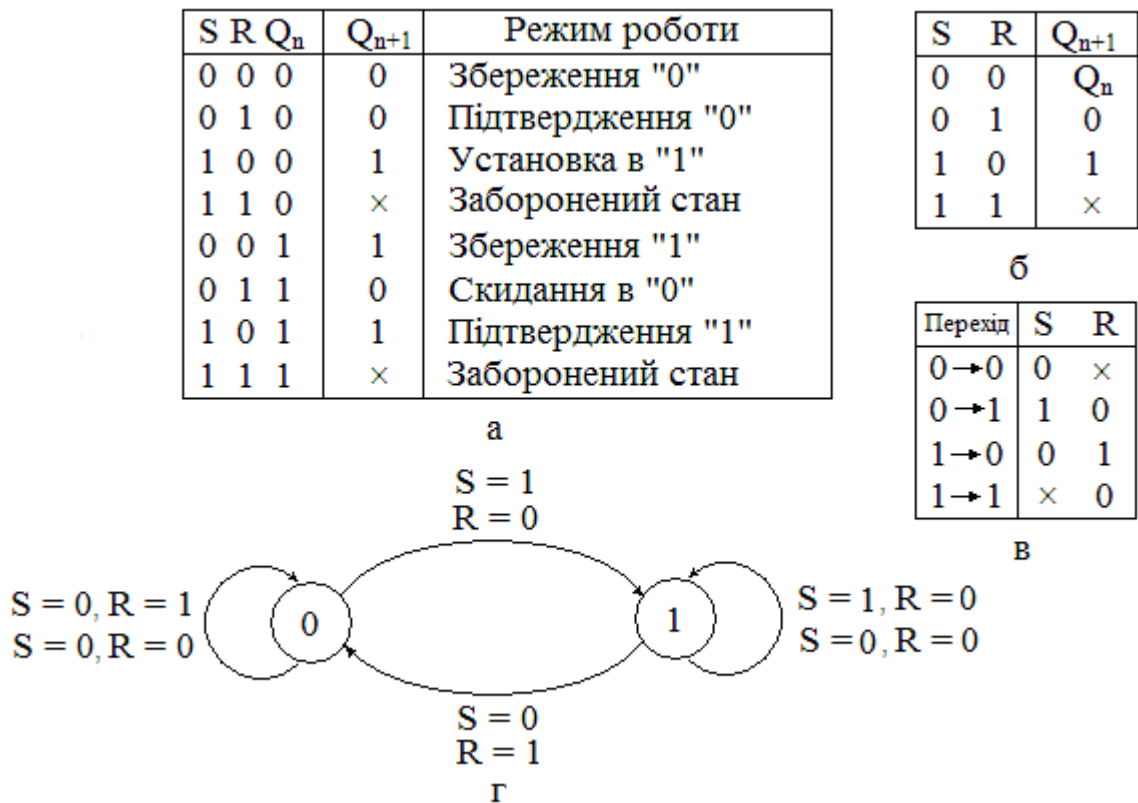


Рисунок 7.6 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) RS – тригера

- для другого тригера при переході з 1 у 1  $S_2 = \times$ ,  $R_2 = 0$ ;

- для третього тригера при переході з 0 у 0  $S_3 = 0$ ,  $R_3 = \times$ .

Аналогічно для будь-якого іншого переходу автомата.

Для роботи в схемах з синхронізацією режиму розроблені синхронні RS – тригери (RST– тригери).

Рівняння функціонування RST– тригера:  $Q^{n+1} = C(S + \bar{R}Q^n)$

Використання синхронізації не усуває невизначений стан тригера, що виникає при одночасній подачі одиничних сигналів на всі три входи. Тому умовою нормального функціонування є наступна нерівність:  $SRC \neq 1$ .

У чистому вигляді синхронний RS - тригер, який використовується для синтезу ЦА, промисловістю не випускається.

Мікросхема K555TP2 представляє собою чотири RS-тригера (рис. 7.7).

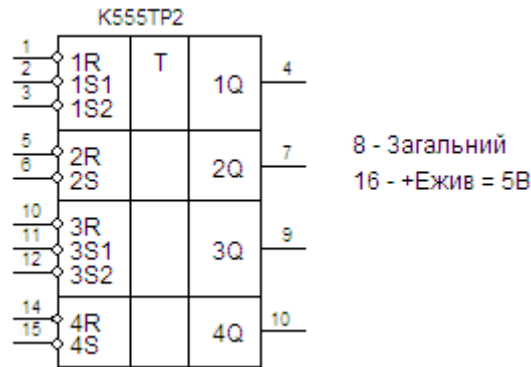


Рисунок 7.7 – Мікросхема K555TP2

**JK- тригер** - має два інформаційних входи J і K і один вихід Q. Вхід J - вхід установки в 1, вхід K - вхід установки в 0. Ці входи аналогічні відповідним входам RS-тригера: J - відповідає S, K - відповідає R. Однак, на відміну від RS-тригера, вхідна комбінація  $J = 1, K = 1$  не є забороненою.

Таблиця істинності, таблиця перемикань, словник переходів та умовне позначення JK-тригера представлені на рисунку 7.8.

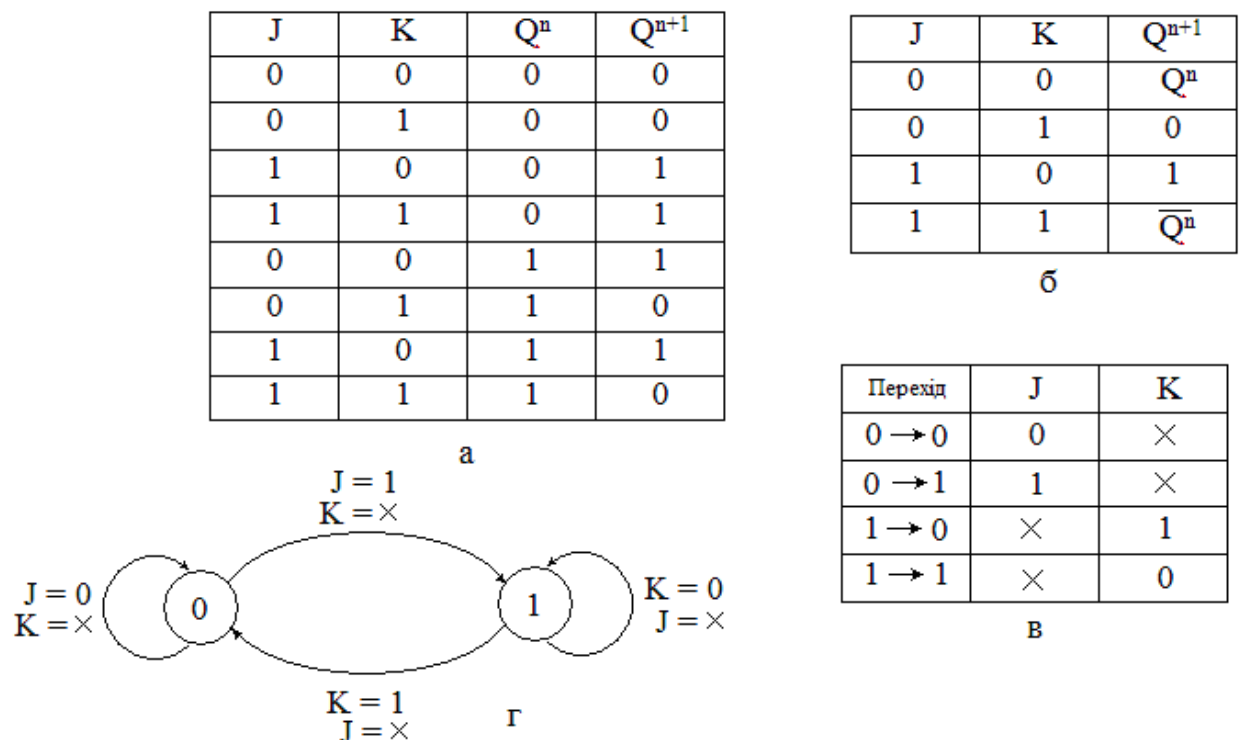


Рисунок 7.8 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) JK-тригера

Як впливає з таблиць переходів, для комбінацій вхідних сигналів JK = 00, 01, 10 тригер веде себе як RS-тригер, а при комбінації JK = 11 - як T-тригер.

Аналізуючи таблицю переходів, відзначаємо, що перехід тригера, наприклад, з 0 в 1 вимагає подачі вхідних сигналів  $J = 1, K = 0$  або  $J = 1, K = 1$ , таким чином  $J = 1, K = \times$  (байдуже значення). Аналогічно розмірковуючи по відношенню до інших переходів, отримуємо словник переходів JK-тригера (рис. 7.8, в).

На підставі словника переходів можна отримати функцію збудження елементів пам'яті при синтезі автомата на JK-тригерах. Наприклад, при переході автомата із стану  $F_i = 010$  у стан  $F_{i+1}=110$ , функції збудження повинні бути:

- для першого тригера при переході з 0 у 1  $J_1=1, K_1=\times$ ;
- для другого тригера при переході з 1 у 1  $J_2=\times, K_2=0$ ;
- для третього тригера при переході з 0 у 0  $J_3=0, K_3=\times$ .

Припустимо, що конкретна схема описується наступною таблицею станів.

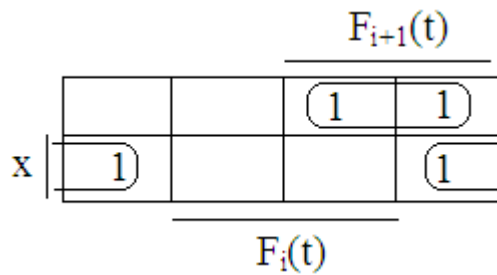
Таблиця 7.1 – Таблиця станів схеми

$F_{i+1}(t)$	$F_i(t)$	Вхідна функція x	Вихідна функція y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Вихідна функція для цієї схеми описується рівнянням:

$$y = \overline{F_{i+1}(t)} \cdot \overline{F_i(t)} \cdot x + F_{i+1}(t) \cdot \overline{F_i(t)} \cdot \overline{x} + F_{i+1}(t) \cdot \overline{F_i(t)} \cdot x + F_{i+1}(t) \cdot F_i(t) \cdot \overline{x},$$





яке після мінімізації має вигляд:

$$y = \overline{F_i(t)} \cdot x + F_{i+1}(t) \cdot \bar{x} \quad (7.1)$$

**Тригери з двома входами** – схеми вихідна функція для яких має вигляд (6.1). Вони мають два стійких внутрішніх стани. Перехід тригера з одного стану в інший, здійснюється при виконанні наступних умов:

- якщо  $F_i(t) = 0$  при  $x = 1$ , то  $F_{i+1}(t)$  не впливає на стан тригера;
- якщо  $F_i(t) = 1$  при  $F_{i+1}(t) = 1$ , то  $x$  не впливає на стан тригера;

Аналізуючи таблицю 6.1 можна зробити висновок, що при  $F_i(t) = F_{i+1}(t) = 1$  перехід тригера з одного стану в інший залежить від значення  $x$ . Якщо  $x = 0$ , то  $y = 1$ , якщо  $x = 1$ , то  $y = 0$ . Звідси випливає, що необов'язково подавати на входи тригера дві незалежні змінні, а достатньо подавати один сигнал на два входи одночасно.

Відповідна функція для цієї схеми описується рівнянням:

$$y = x\overline{F(t)} + \bar{x}F(t) \quad (7.2)$$

**Тригери з лічильним входом** – схеми вихідна функція яких має вигляд (7.2).

Таблиця станів цієї функції має наступний вигляд (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 - Таблиця станів функції

F(t)	x	y	$\bar{y}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

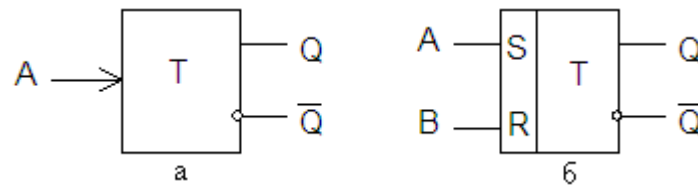


Рисунок 7.9 – Умовні позначення тригера з лічильним входом (а) і тригера з двома входами (б)

**Приклад 7.1** Рівняння  $y = F_{i+1}(t)x + F_i(t)$  перетворити так, щоб його можна було реалізувати за допомогою тригера та інших логічних функцій.

Оскільки рівняння тригера  $y = \overline{F_i(x)}x + F_{i+1}(t)\overline{x}$ , то позначимо

$$\overline{F_i(x)} = y_1 \text{ та } F_{i+1}(t) = y_2$$

і знаючи, що  $y_1 = y$  при  $x = 1$ , одержимо в результаті підстановки  $x = 1$  у початкове рівняння

$$y = F_{i+1}(t) + F_i(t)$$

Однак  $y_2 = y$  при  $x = 0$ . Отже підставляючи  $x = 0$  у початкове рівняння, одержимо  $y = F_{i+1}(t)$ .

Відповідь:  $y = (F_i(t) + F_{i+1}(t))x + F_{i+1}(t)\overline{x}$

**Теорема.** Будь яку схему з пам'яттю можна представити у вигляді сукупності схем І, АБО, НІ так тригерів

### 7.1 Тригер як елементарний послідовнісний автомат

Тригери представляють собою елементарні послідовнісні автомати та характеризуються:

- кількістю інформаційних входів не більше трьох (більшість реалізованих схем тригерів має не більше двох входів);
- кількість внутрішніх станів тригера рівною двом, чому відповідає одна внутрішня змінна, яку позначають символом  $Q$ ;

- кількістю вхідних змінних  $x$  не більше однієї, причому значення  $x$  співпадає із значенням  $Q$  (як правило, в тригерах поряд зі значенням  $Q$  одержується інверсна змінна  $\bar{Q}$ );

- функціями переходів або зв'язками внутрішніх для моменту часу  $t+1$  із значенням вхідних та вихідних змінних для моменту часу  $t$ , які називаються **характеристичними рівняннями**:

$$Q_{t+1} = f(x_t, Q_t), \quad (7.1)$$

які є повними, тобто тригери мають повну систему переходів.

Дійсно, для всіх тригерів є стани входів, під впливом яких відбуваються зміни стану тригерів  $Q_t \rightarrow Q_{t+1}$  всіх чотирьох видів:  $0 \rightarrow 0$ ,  $0 \rightarrow 1$ ,  $1 \rightarrow 0$ ,  $1 \rightarrow 1$ . Далі переходи будемо позначати у вигляді двозначного слова:  $Q_t \rightarrow Q_{t+1}$  у вигляді  $Q_t Q_{t+1}$ ,  $0 \rightarrow 1$  у вигляді  $01$  і т.д.

Запис  $x_t$  в (7.1) означає, що сигнал  $x$  приймає певне конкретне значення  $0$  або  $1$  в момент часу  $t$  і зберігає його до моменту часу  $t+1$ , наприклад  $x_t=1$  при  $t_n < t < t_{n+1}$ . Запис  $Q_{t+1}$  означає, що вихідний сигнал приймає якесь значення одразу ж по завершенні моменту часу  $t+1$  і зберігає його до моменту часу  $t+2$ , наприклад  $Q_{t+1}=0$  при  $t_{n+1} < t < t_{n+2}$ . Іноді визначають  $x_t$  та  $Q_t$  як значення змінних до приходу інформаційного (тактового) сигналу, а  $x_{t+1}$ ,  $Q_{t+1}$  – після приходу інформаційного (тактового) сигналу.

Оскільки сигнали на виходах  $Q$  та  $\bar{Q}$  - взаємно обернені, стан тригера визначений, якщо задано значення одного з вихідних сигналів, наприклад, на його прямому виході  $Q$ . Стан  $Q=1$ ,  $\bar{Q}=0$  називається одиничним, а  $Q=0$ ,  $\bar{Q}=1$  – нульовим. При деяких комбінаціях вхідних сигналів можуть з'явитися стани  $Q=\bar{Q}=1$  або  $Q=\bar{Q}=0$ . По завершенню дії таких комбінацій стани  $00$  або  $11$  зберігатись не можуть і тригер перейде в стан  $10$  або в стан  $01$ . Комбінацію вхідних сигналів, по завершенні якої стан тригера не визначений, тобто з рівною ймовірністю може бути одиничним або нульовим, називають невизначеною комбінацією. В цьому випадку значення сигналів на виходах  $Q$  і  $\bar{Q}$  - фіктивні, невизначені та позначаються символом  $\times$ .

Таким чином тригер може мати п'ять логічних станів ( $0, 1, Q, \bar{Q}, \times$ ), які означають наступне:

«0» - тригер постійно знаходиться в нульовому стані незалежно від зміни сигналів на його вході;

«1» - тригер постійно знаходиться в одиничному стані незалежно від зміни сигналів на його вході;

$Q$  – стан тригера змінюється при зміні вхідних сигналів (може бути  $Q = 0$  або  $Q = 1$ );

$\bar{Q}$  - стан тригера змінюється на протилежний при зміні вхідних сигналів (може бути зміна стану «1» на стан «0» або навпаки);

$\times$  – фіктивний, невизначений стан тригеру.

Кількість теоретично можливих типів тригерів з  $x$  інформаційними входами дорівнює  $5^{2^x}$ , де  $5$  – кількість можливих станів на вході тригера,  $2^x$  – кількість наборів, які містять всі вхідні змінні. При  $x = 1$  маємо 25, а при  $x = 2$  маємо 625 типів тригерів, однак частина з них тривіальна, незмістовна або тригери дуальні. Технічно реалізованих тригерів з одним інформаційним входом лише два, а з двома інформаційними входами – 24. Найбільш поширені двохвходові тригери, але синтезовано лише вісім їх типів, серед яких три – універсальні. Інші технічно реалізовані двохвходові тригери, серед яких є 10 універсальних, можуть знайти практичне застосування в майбутньому.

Правила функціонування тригерів можуть бути задані:

1) словесним описом;  
2) у вигляді таблиці переходів тригера (таблиці інформаційних значень вхідних сигналів, внутрішніх станів та вихідних сигналів тригера);

3) у вигляді характеристичних рівнянь – логічних функцій типу:  
 $Q_{n+1} = f(x_n, Q_n)$ , де  $i = 1, 2, \dots, m$

4) у вигляді графу, який складається з вершин, кількість яких відповідає можливим станам тригера, з урахуванням внутрішніх станів елементів пам'яті, та спрямованих гілок, які починаються і закінчуються у вершинах;

при цьому на гілках вказується набір вхідних сигналів, які призводять до даного переходу тригера з одного стану в інший або підтверджують даний стан.

У більшості серій інтегральних елементів є тригери різних типів, в тому числі й універсальні. В ряді випадків розробнику потрібен тригер зі спеціальними функціями, яким не задовольняють наявні тригери, тобто виникає задача проєктування довільного тригерного елемента.

## 7.2 Канонічний метод структурного синтезу елементарного послідовнісного автомата

Канонічний метод структурного синтезу застосовано до тригерів дозволяє звести задачу їх синтезу до задачі структурного синтезу комбінаційних схем. Результатом канонічного методу структурного синтезу є система логічних рівнянь, яка виражає залежність вихідних сигналів тригерів та функцій збудження елементарних запам'ятовуючих комірок ( $R^*$ ;  $S^*$ ) від сигналів на вході тригера та сигналів з виходів елементарних запам'ятовуючих комірок. Метод включає в себе наступні процедури етапів абстрактного та структурного синтезу.

Етапи абстрактного синтезу.

1) Вибір елементарної запам'ятовуючої комірки, виконаної в якомусь базисі (І-НІ, АБО-НІ, І-АБО-НІ і т.д.).

2) Визначення сукупності вхідних сигналів елементарної запам'ятовуючої комірки, які треба подати на її керуючі входи, щоб вона виконала потрібний перехід. Можливі чотири переходи елементарної запам'ятовуючої комірки: 00, 01, 10, 11. Результати другого етапу оформляються у вигляді характеристичної таблиці елементарної запам'ятовуючої комірки.

3) Визначення мінімальної необхідної кількості елементарних запам'ятовуючих комірок в структурі проєктованого тригерного пристрою.

Етапи структурного синтезу.

1) Визначення зв'язків керуючих входів всіх елементарних запам'ятовуючих комірок в структурі проєктованого тригерного пристрою.

2) Мінімізація структури тригера.

**Приклад 7.2** Канонічний метод структурного синтезу цифрового автомата на базі D-тригера.

Виконаємо структурний синтез часткового автомата, заданого своїми таблицями переходів і виходів (рис. 7.10 – 7.11).

	Q0	Q1	Q2	Q3
X1	Q3	Q2	—	Q2
X2	—	—	Q0	—
X3	Q1	Q0	Q3	Q1

Рисунок 7.10 Таблиця переходів

	Q0	Q1	Q2	Q3
X1	Y3	Y2	—	Y3
X2	—	—	Y0	—
X3	Y0	Y1	Y1	Y2

Рисунок 7.11 Таблиця виходів

Синтез будемо виконувати в наступному порядку:

1. Виберемо в якості елементів пам'яті D-тригери.
2. Закодуємо вхідні, вихідні сигнали і внутрішні стани автомата. Кількість вхідних абстрактних сигналів  $F = 3$ , отже кількість вхідних структурних сигналів  $L = \log_2 X = \log_2 3 = 2$ , тобто А, В

Кількість вихідних абстрактних сигналів  $G = 4$ , отже кількість вихідних структурних сигналів  $N = \log_2 Y = \log_2 4 = 2$ , тобто  $y_1, y_2$ .

Кількість внутрішніх станів абстрактного автомата  $M = 4$ , отже кількість двійкових елементів пам'яті (тригерів)  $R = \log_2 M = \log_2 4 = 2$ , тобто VD1, VD2.

Тоді структура логічного автомата з урахуванням того, що як елементи пам'яті використовуються D-тригери, може бути представлена у вигляді (рис. 7.12).

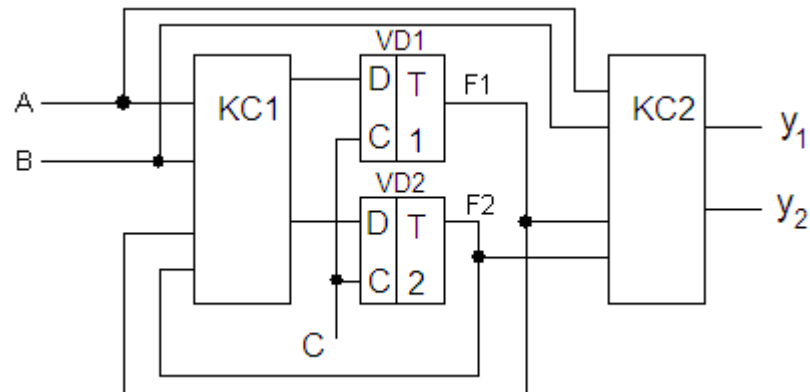


Рисунок 7.12 – Структура синтезованого логічного автомата

Кодування вхідних, вихідних сигналів і внутрішніх станів представлено в таблицях.

Кодування, у загальному випадку, здійснюється довільно. Тому, наприклад, кожному із сигналів  $X_i$  можна поставити у відповідність будь-яку двохрозрядну комбінацію АВ. Необхідно тільки, щоб різні вихідні сигнали  $X_i$  кодувалися різними комбінаціями АВ. Аналогічно для  $Y_i$  і  $Q_i$  (рис. 7.13).

	A	B
X1	0	0
X2	0	1
X3	1	1

	F2	F1
Q0	0	0
Q1	0	1
Q2	1	0
Q3	1	1

	$y_2$	$y_1$
Y0	0	0
Y1	0	1
Y2	1	1
Y3	1	0

Рисунок 7.13 – Кодовані таблиці

3. Одержимо кодовані таблиці переходів і виходів структурного автомата. Для цього в таблицях переходів і виходів вихідного абстрактного автомата замість  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Q_i$  ставимо відповідні коди (рис. 7.14).

		Q0	Q1	Q2	Q3
F2F1		00	01	10	11
A B					
X1	00	11	10	—	10
X2	01	—	—	00	—
X3	11	01	00	11	01

		Q0	Q1	Q2	Q3
F2F1		00	01	10	11
A B					
X1	00	11	10	—	11
X2	01	—	—	00	—
X3	11	00	01	01	10

Рисунок 7.14 – Кодовані таблиці переходів тригерів і виходів логічного автомата

У кодованій таблиці переходів задані функції входів тригерів:

$$VD1 = f_1(A, B, F2, F1),$$

$$VD2 = f_2(A, B, F2, F1).$$

У кодовій таблиці виходів задані функції:

$$y_1 = \varphi_1(A, B, F2, F1),$$

$$y_2 = \varphi_2(A, B, F2, F1).$$

4. При канонічному методі синтез зводиться до одержання функцій:

$$VD1 = f_1(A, B, F2, F1),$$

$$VD2 = f_2(A, B, F2, F1).$$

$$y_1 = \varphi_1(A, B, F2, F1),$$

$$y_2 = \varphi_2(A, B, F2, F1).$$

і наступній побудові комбінаційних схем, які реалізують дану систему булевих функцій.

Функції  $F1$ ,  $F2$ ,  $y_1$  і  $y_2$  можуть бути безпосередньо отримані з таблиць переходів тригерів і виходів логічного автомата за допомогою словника переходів D-тригера (рис. 7.15)

Перехід	D
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	0
1 → 1	1

Рисунок 7.15 – Словник переходів D-тригера



5. Заповнимо таблицю 7.3 функціонування автомата.

Таблиця 7.3 - Таблиця функціонування цифрового автомата на базі D-тригера

$X_i$	Вхідний сигнал		Попередній стан		Сигнал стану		Сигнали Управління тригерами		Вихідний сигнал	
	A	B	$F2^n(t)$	$F1^n(t)$	$F2^{n+1}(t)$	$F1^{n+1}(t)$	VD2	VD1	$y_2$	$y_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X1 (00)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
	0	0	1	0	-	-	×	×	×	×
	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1
X2 (01)	0	1	0	0	-	-	×	×	1	×
	0	1	0	1	-	-	×	×	×	×
	0	1	1	0	0	0	0	0	×	0
	0	1	1	1	-	-	×	×	0	×
X3 (11)	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0

6. Заповнимо карти Карно для входів тригерів VD1, VD2 (рис. 7.16) і виходів цифрового автомата  $y_1, y_2$  (рис. 7.17).

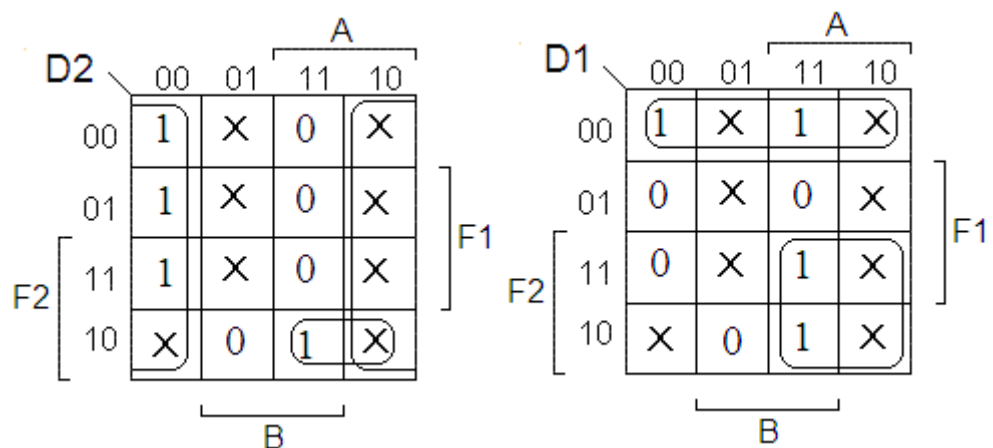


Рисунок 7.16 - Карти Карно для входів тригерів VD1, VD2

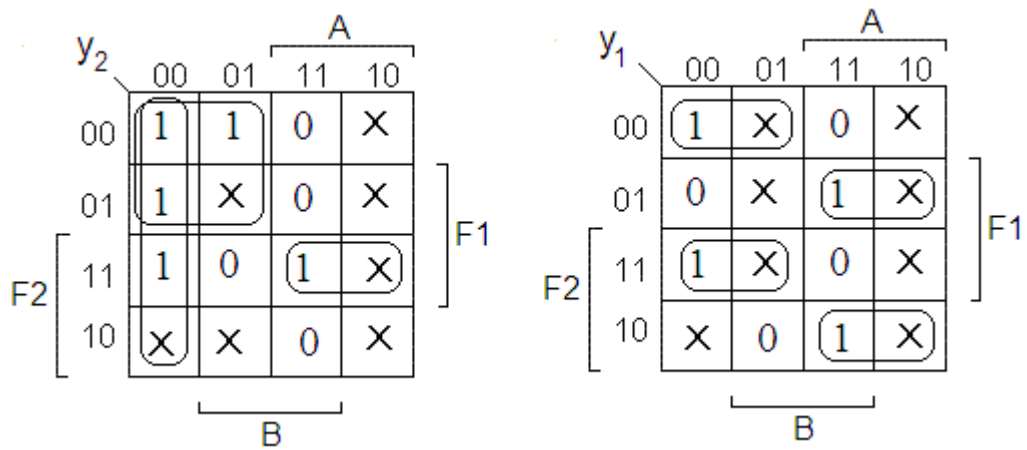


Рисунок 7.17 - Карти Карно для виходів цифрового автомата  $y_1, y_2$ .

7. Складемо рівняння функціонування логічного автомата.

$$VD1 = \overline{F2F1} + F2A;$$

$$VD2 = \overline{B} + F2\overline{F1}A;$$

$$y_1 = \overline{F2F1}A + \overline{F2}F1A + F2F1\overline{A} + F2\overline{F1}A = (\overline{F2F1}A + F2F1\overline{A}) + (F2\overline{F1}A + \overline{F2}F1A) = \overline{A}(\overline{F2F1} + F2F1) + A(F2\overline{F1} + \overline{F2}F1) = \overline{A}(F2 \oplus F1) + A(F2 \oplus F1) = \overline{A} \oplus (F2 \oplus F1)$$

$$y_2 = \overline{A}B + AF2F1 + AF2.$$

8. Побудуємо схему логічного автомата (рис. 7.18).

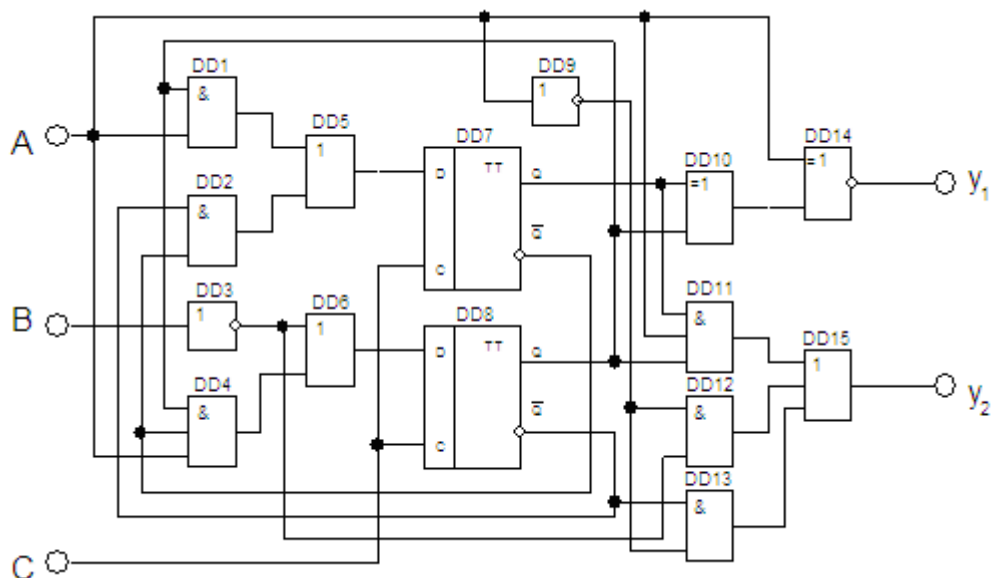


Рисунок 7.18 – Схема цифрового автомата на базі D-тригера.