

Змістовий модуль 4. Елементарні цифрові автомати – елементи пам'яті. Елементи пам'яті структурного автомата - тригери RS, D, T, JK-типів. Тригер як елементарний послідовнісний автомат. Канонічний метод структурного синтезу елементарного послідовнісного автомата.

Лекція 6 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 перемикання. 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 синхро-

нізує роботу цифрового автомата. Період проходження імпульсів відповідає одному такту автоматного часу цифрового автомата.

6.1 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 6.1.

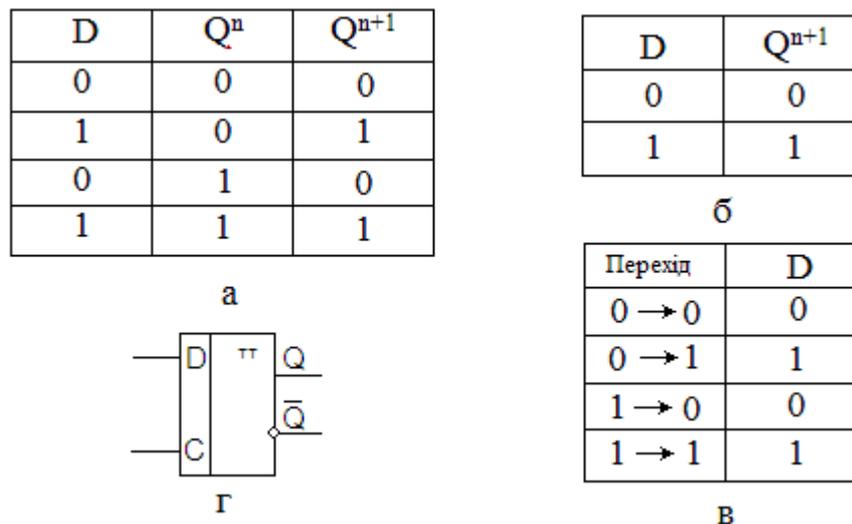


Рисунок 6.1 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), умовне позначення (г) D-тригера

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 кодованою таблицею переходів цього автомата.

Промисловість випускає D-тригери в інтегральному виконанні. Наприклад К155ТМ2 (рис. 6.2). Таких тригерів два в одному корпусі. Вхід C - вхід синхронізації, Q - прямий вихід, \bar{Q} - інверсний вихід. \bar{R} , \bar{S} - входи уста-

новки 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:

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

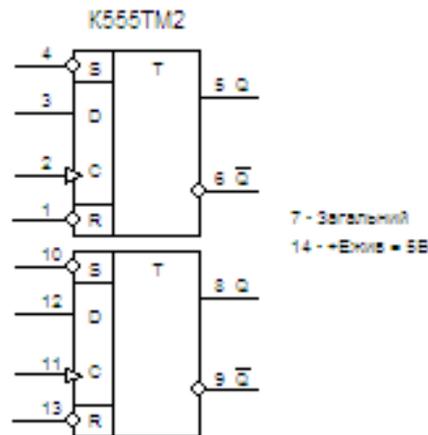


Рисунок 6.2 – Мікросхема K555TM2

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 6.3, 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 Т-тригер кожного разу змінює свій стан на протилежний з приходом на рахунковий вхід Т чергового тактуючого імпульсу. Для надійної роботи тригера, з метою збереження інформації про попередній 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. 6.4).

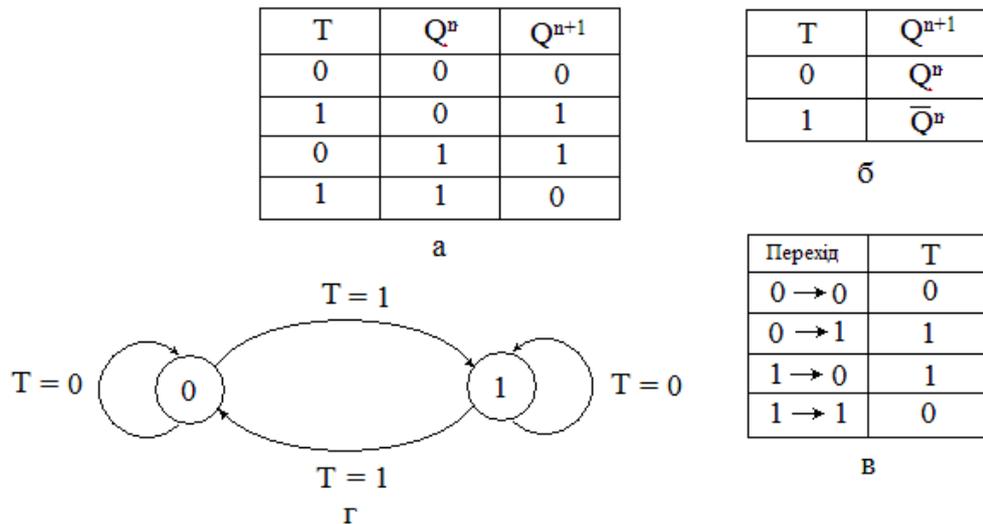


Рисунок 6.3 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) Т – тригера

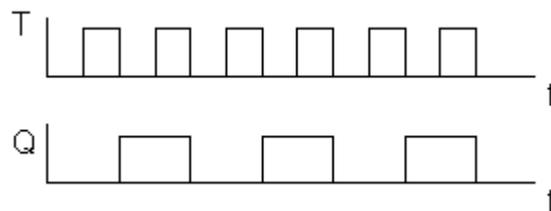


Рисунок 6.4 – Діаграма функціонування Т – тригера

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 $T1 = 1$;
- для другого тригера при переході з 1 у 1 $T2 = 0$;
- для третього тригера при переході з 0 у 0 $T3 = 0$.

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 6.5. У такій схемі кожен перехід «1 → 0» на вході С буде призводити до переходу тригера в протилежний стан.

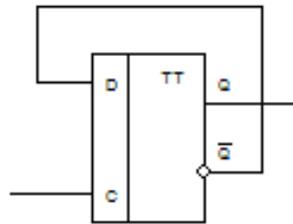


Рисунок 6.5 – Т – тригер на основі D – тригера

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 перемикань, словник переходів та умовне позначення RS-тригера представлені на рисунку 6.6.

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 $S1 = 1, R1 = 0$;

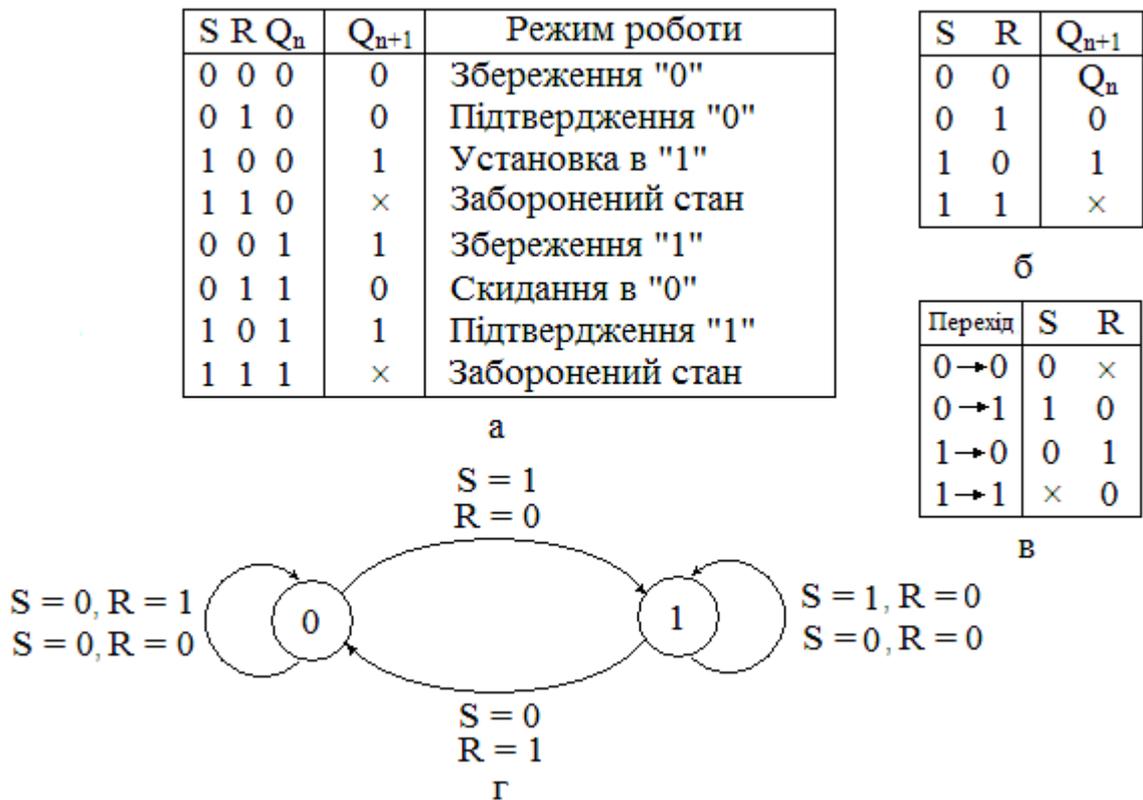


Рисунок 6.6 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) RS – тригера

- 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. 6.7).

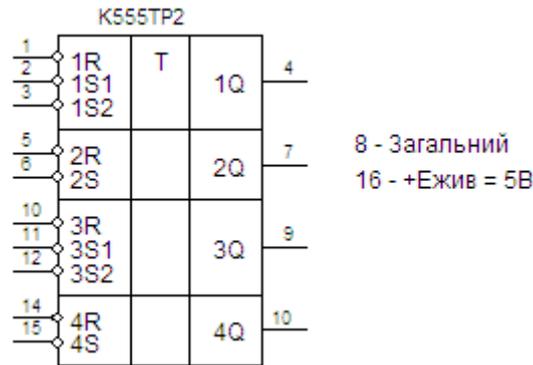


Рисунок 6.7 – Мікросхема K555TP2

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 6.8.

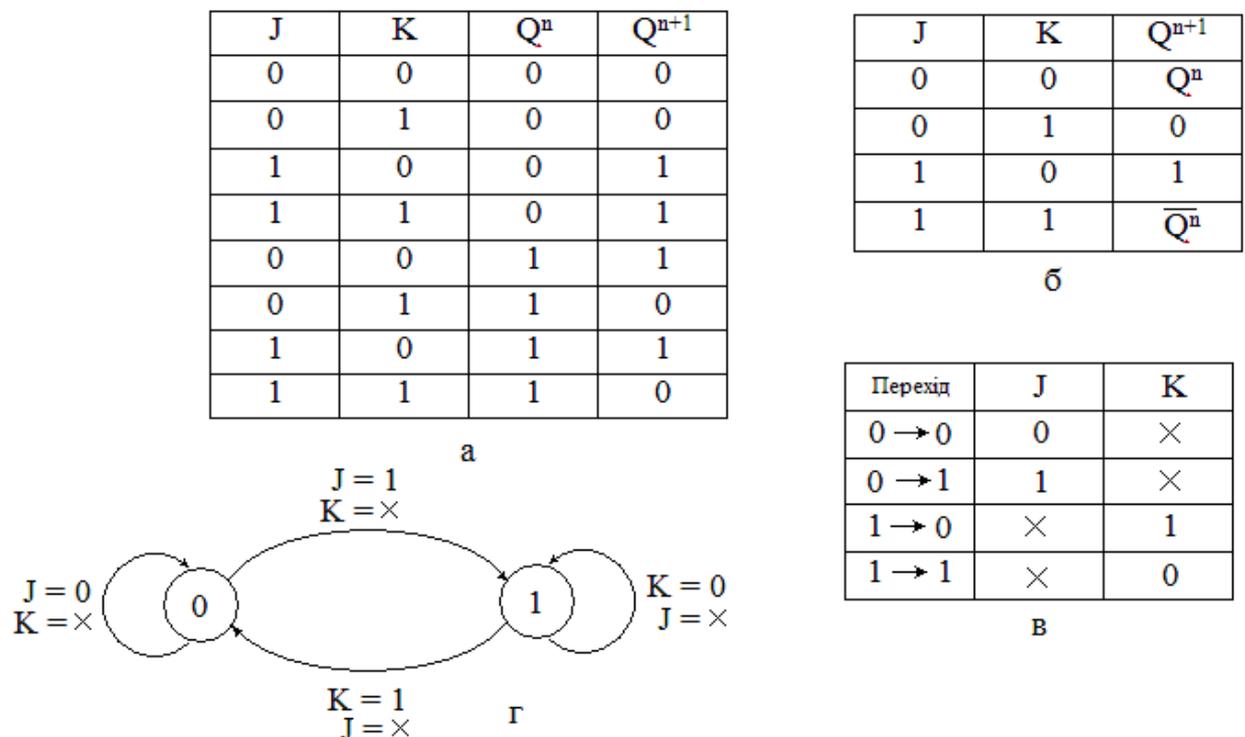


Рисунок 6.8 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) JK-тригера

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. 6.8, 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 $J_3=0, K_3=\times$.

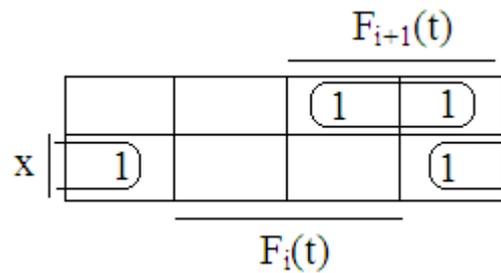
Припустимо, що конкретна схема описується наступною таблицею станів.

Таблиця 6.1 – 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:

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



яке після мінімізації має вигляд:

$$y = \overline{F_i(t)}x + F_{i+1}(t)\overline{x} \quad (6.1)$$

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:

$$y = x\overline{F(t)} + \overline{x}F(t) \quad (6.2)$$

Тригери з лічильним входом – схеми вихідна функція яких має вигляд (6.2).

Таблиця станів цієї функції має наступний вигляд (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Таблиця станів функції

F(t)	x	y	\overline{y}
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

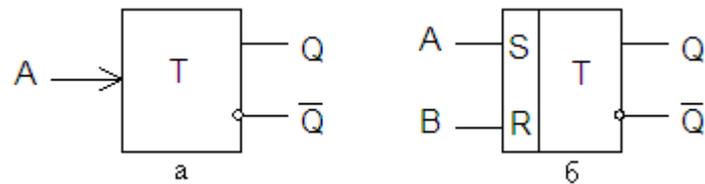


Рисунок 6.9 – Умовні позначення тригера з лічильним входом (а) і тригера з двома входами (б)

Приклад 6.1 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