

## Лекція 16 Принципи побудови генераторів числових послідовностей

### 16.1 Синтез генераторів числових послідовностей на лічильниках

Послідовнісні пристрої - генератори чисел називають також розподільниками сигналів, оскільки послідовність двійкових чисел на їх виходах використовується для управління роботою інших цифрових вузлів. Число станів генератора називається довжиною послідовності чисел  $L_n$ , яка дорівнює кількості тактів, після якої послідовність чисел на виході генератора повторюється. По своїй структурі генератори чисел близькі або до лічильників, або до регістрів. Будь-який лічильник можна вважати генератором послідовності чисел, яка має  $L_n = K_{\text{рах.}}$ . Як правило, необхідне число розрядів генератора дорівнює числу двійкових розрядів  $m$  в числах, які генеруються. Якщо  $m > \log_2 L_n$ , то для зменшення числа використовуваних тригерів, структура генераторів змінюється. В цьому випадку генератор доцільніше будувати у вигляді лічильника з модулем рахунку  $K_{\text{рах.}} = L_n$  і підключеною до його виходів комбінаційною схемою, яка синтезує необхідні значення двійкових чисел послідовності.

Розглянемо генератор чисел 4 – 3 – 2 – 12. Оскільки  $L_n = 4$ , то за основу генератора можна взяти двохрозрядний лічильник  $K_{\text{рах.}} = 4$ , який генерує числа 0 – 1 – 2 – 3. Підключивши до виходів лічильника комбінаційну схему, яка виконує перетворення коду відповідно до таблиці функціонування, отримаємо структуру генератора, який створює задану послідовність чисел.

Для побудови генератора використовуємо лічильник, побудований на двох JK – тригерах. Використовуємо схему віднімаючого лічильника, отже, подамо сигнал перенесення на тригер старшого розряду не з прямого виходу попереднього тригера, а з інверсного. Складемо таблицю переходів станів розрядів лічильника (табл. 16.1). Складемо карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду (рис. 16.1). Використовуючи словник переходів JK – тригера для кожного входу тригера, складемо карти Карно, в клітинках

яких проставимо сигнали, необхідні для забезпечення переходів тригерів, вказаних в однойменних клітинках карт функцій переходів (рис. 16.2).

Таблиця 16.1 – Таблиця станів розрядів лічильника генератора

n	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
0	0	0	1	1
1	0	1	0	0
2	1	0	0	1
3	1	1	1	0

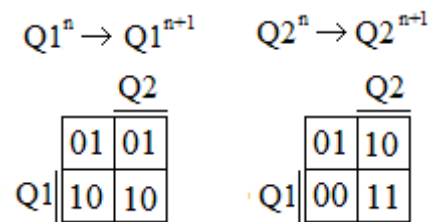


Рисунок 16.1 – Карти функцій переходів тригерів генератора

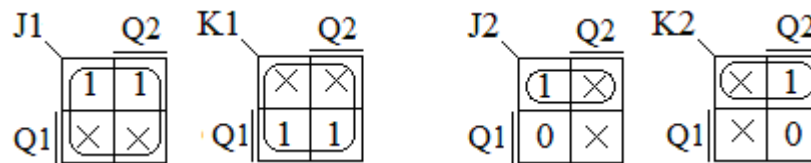


Рисунок 16.2 – Карти Карно функцій входів тригерів лічильника

Виконаємо мінімізацію логічних функцій входів в картах Карно з метою отримання їх аналітичних виразів. У результаті отримуються наступні функції входів тригерів лічильника генератора:

$$J1 = 1; K1 = 1; J2 = \overline{Q1}; K2 = \overline{Q1};$$

Складемо логічну схему лічильника генератора чисел (рис. 16.3).

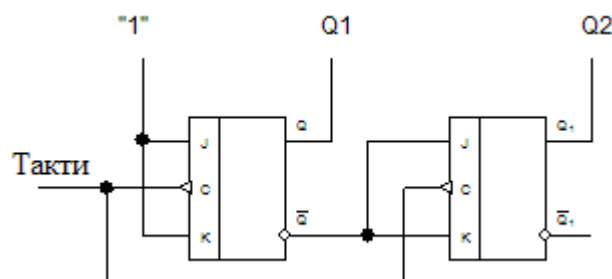


Рисунок 16.3 – Лічильник генератора чисел

Перевіримо алгоритм спрацьовування тригерів лічильника по тактах відповідно до рівняння JK – тригера:  $Q^{n+1} = J\overline{Q}^n + \overline{K}Q^n$

Вихідний стан виходів тригерів:

$$Q1^n = 0; Q2^n = 0; \overline{Q1}^n = 1; \overline{Q2}^n = 1.$$

Спрацьовування тригерів по тактах:

$$\textcircled{1} \quad Q1^{n+1} = 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 1; \quad Q2^{n+1} = 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 1;$$

$$\textcircled{2} \quad Q1^{n+1} = 1 \cdot 0 + 0 \cdot 1 = 0; \quad Q2^{n+1} = 1 \cdot 0 + 0 \cdot 1 = 0;$$

$$\textcircled{3} \quad Q1^{n+1} = 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 1; \quad Q2^{n+1} = 0 \cdot 1 + 1 \cdot 0 = 0;$$

$$\textcircled{4} \quad Q1^{n+1} = 1 \cdot 0 + 0 \cdot 1 = 0; \quad Q2^{n+1} = 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 1.$$

Це відповідає таблиці станів розрядів лічильника генератора чисел.

Розрахуємо комбінаційну схему, яка виконує перетворення коду відповідно до таблиці функціонування (табл. 16.2).

Таблиця 16.2 – Алгоритм функціонування комбінаційної схеми генератора чисел

Число	Q2	Q1	F4	F3	F2	F1
4	1	1	0	1	0	0
3	0	0	0	0	1	1
2	0	1	0	0	1	0
12	1	0	1	1	0	0

У результаті отримуємо наступні функції виходів генератора числової послідовності 4 – 3 – 2 – 12:

$$F1 = \overline{Q2} \cdot \overline{Q1};$$

$$F2 = \overline{Q2} \cdot \overline{Q1} + \overline{Q2} \cdot Q1 = \overline{Q2} \cdot (\overline{Q1} + Q1) = \overline{Q2} \cdot 1 = \overline{Q2};$$

$$F3 = Q2 \cdot Q1 + Q2 \cdot \overline{Q1} = Q2 \cdot (Q1 + \overline{Q1}) = Q2 \cdot 1 = Q2;$$

$$F4 = Q2 \cdot \overline{Q1}.$$

З метою скорочення кількості елементів схеми використаємо теорему Де-Моргана для вихідних сигналів F1 і F2:

$$F1 = \overline{Q2} \cdot \overline{Q1} = \overline{Q2 + Q1};$$

$$F2 = \overline{Q2};$$

$$F3 = Q2;$$

$$F4 = Q2 \cdot \overline{Q1} = \overline{\overline{Q2} + Q1}.$$

Схема генератора числової послідовності представлена на рисунку 16.4.

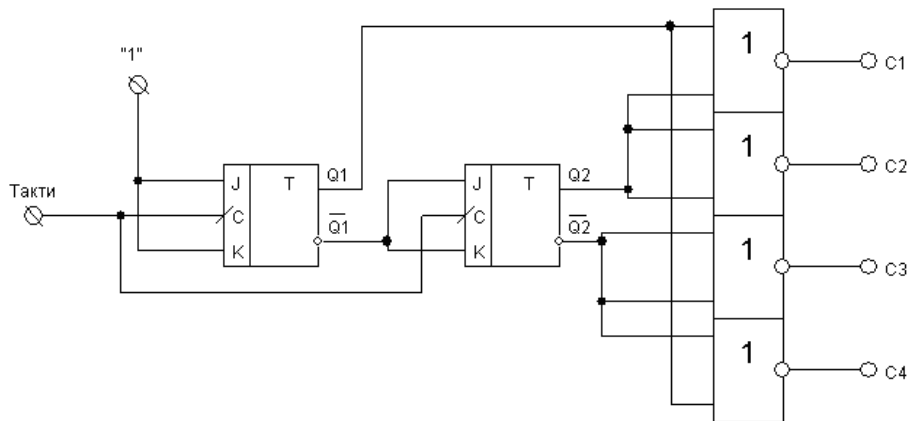


Рисунок 16.4 – Генератор числової послідовності 4 – 3 – 2 – 12 на основі лічильника з вихідною комбінаційною схемою

Часова діаграма роботи генератора (рис. 16.5) показує, що періодична зміна вихідних комбінацій відбувається згідно з заданою числовою послідовністю.

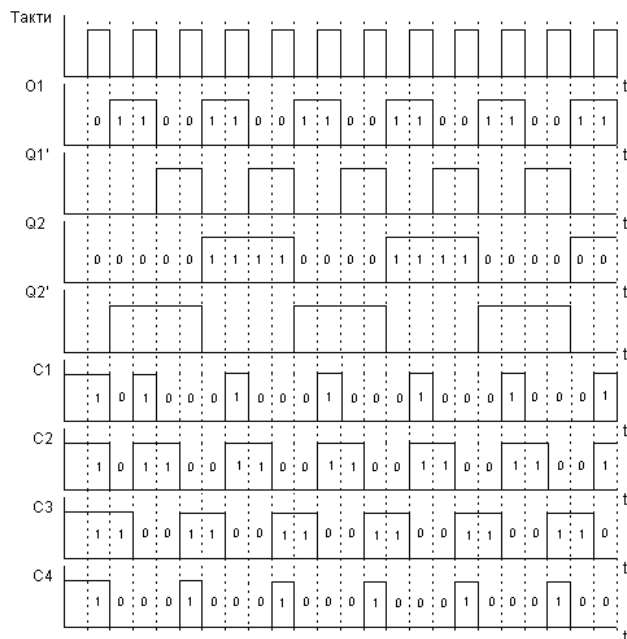


Рисунок 16.5 – Часова діаграма роботи генератора

Розробка такого генератора за звичайною методикою проектування не-двійкових лічильників зажадала б в два рази більше лічильників і додаткової логіки.

## 16.2 Синтез генераторів числових послідовностей на регістрах зсуву

Перевагою генераторів даного типу є використання регістра зсуву, побудованого з однотипних тригерів, завдяки чому істотно спрощується схематехнічне проектування генератора. В такий спосіб можна реалізувати генератори циклічних послідовностей чисел, в яких кожне подальше число утворюється шляхом зсуву попереднього числа, записаного в регістрі, на один розряд і введенням в перший розряд, що звільнився, 0 або 1. Для цього до входу першого розряду регістра підключається комбінаційна схема, що створює необхідний управляючий сигнал. Якщо є  $n$ -розрядний регістр зсуву, то можна генерувати циклічні послідовності завдовжки  $L_n$ .

Синтез структури генераторів послідовностей на регістрах зсуву, в першу чергу, полягає в знаходженні вигляду функцій входів. Відповідно до схеми регістра зсуву на вхід  $x$  подається періодична послідовність інформаційних «0» і «1».

Синтезуємо генератор числової послідовності з семи цифр. Для цього буде потрібно трьохрозрядний регістр зсуву. На інформаційний вхід подається послідовність 010110001.0110001. Інформація з'явиться на всіх виходах регістра в паралельному коді після приходу третього тактового імпульсу. Далі, кожен тактовий імпульс зміщуватиме цю інформацію, і комбінації значень сигналів  $Q_3Q_2Q_1$  періодично повторюватимуться відповідно до заданої послідовності (рис. 16.6). Таким чином, реалізується числова послідовність:

$$2 - 5 - 3 - 6 - 4 - 0 - 1$$

1. Кодування внутрішніх станів генератора числової послідовності наведено в таблиці переходів генератора (табл. 16.3).

2. Складаються карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду (рис. 16.7).

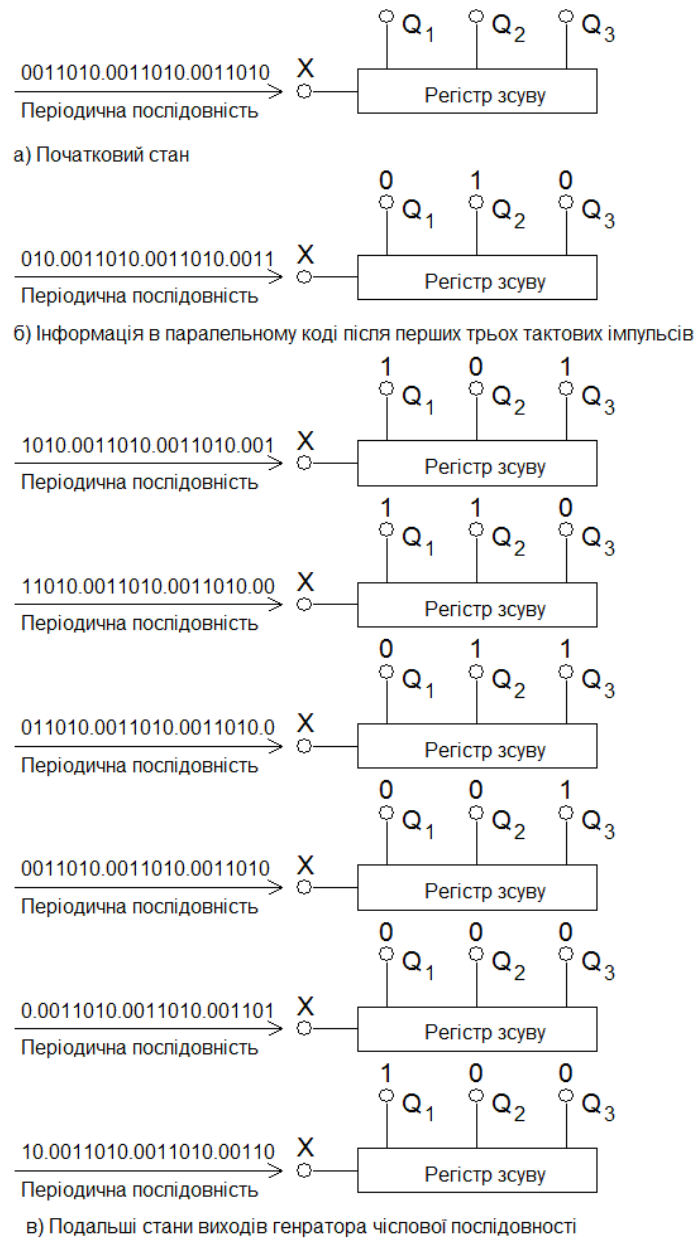


Рисунок 16.6 – Алгоритм функціонування генератора числової послідовності

Таблиця 16.3 – Таблиця станів генератора числової послідовності

$x^n$	$Q3^n$	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q3^{n+1}$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
2	0	1	0	1	0	1
5	1	0	1	0	1	1
3	0	1	1	1	1	0
6	1	1	0	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0

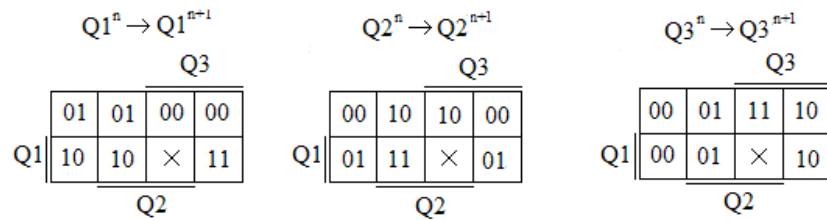


Рисунок 16.7 – Карти функцій переходів тригерів генератора

Зазвичай, в регістрах зсуву використовуються D – тригери.

3. Використовуючи словник переходів D – тригера, для кожного входу тригера складаються карти Карно, в клітинках яких проставляються сигнали, необхідні для забезпечення переходів тригерів, вказаних в однойменних клітинках карт функцій переходів (рис. 16.8).

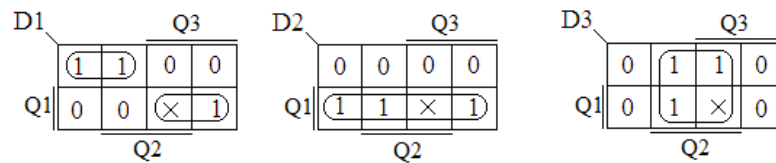


Рисунок 16.8 – Карти Карно функцій входів тригерів генератора

4. Проводиться мінімізація логічних функцій входів в картах Карно з метою отримання їх аналітичних виразів.

У результаті отримують наступні функції входів тригерів генератора:

$$D1 = \bar{Q}_3 \bar{Q}_1 + Q_3 Q_1; \quad D2 = Q_1; \quad D3 = Q_2.$$

5. Складання логічної схеми генератора виконується за рахунок побудови управляючої комбінаційної схеми, яка реалізує функцію входів, та її підключенням до входу першого розряду регістра зсуву (рис. 16.9).

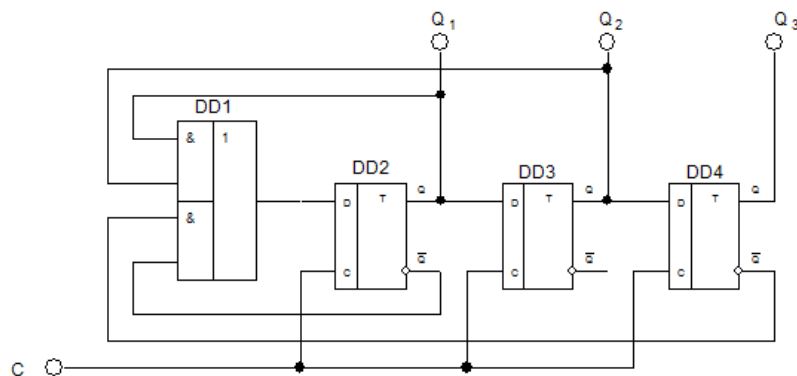


Рисунок 16.9 – Логічна схема генератора числової послідовності на основі регістра зсуву

Синтезувавши комбінаційну схему з перебудовуваною структурою, можна отримати ряд різних послідовностей від одного пристрою.

Генератори на основі регістрів утворюють лише циклічні послідовності чисел. Для реалізації будь-яких нециклічних послідовностей потрібне використання додаткових комбінаційних перетворювачів коду, які включаються на виході генератора. Порядок появи чисел в послідовності можна вважати випадковим, а повторення чисел відбувається через  $2m - 1$  тактів. Тому такі схеми називаються генераторами псевдовипадкових послідовностей.

При збільшенні  $m$  довжина псевдовипадкових послідовностей швидко зростає, тому генератори, що мають  $m > 10$ , широко використовуються в цифровій апаратурі для формування безлічі тестових сигналів, необхідних для контролю і діагностики несправностей.