

## Практичне заняття № 6

### СИНТЕЗ ЛІЧИЛЬНИКІВ З ДОВІЛЬНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ЛІЧБИ

**Мета роботи** Вивчити методику наращування розрядності лічильників.

#### Короткі теоретичні відомості

Лічильники представляють більш високий рівень складності цифрових мікросхем, ніж регістри, що мають внутрішню пам'ять. Хоча в основі будь-якого лічильника лежать ті ж самі тригери, які утворюють і регістри, але в лічильниках тригери сполучені складнішими зв'язками, внаслідок чого їх функції складніші, і на їх основі можна будувати складніші пристрої, ніж на регістрах. Так само, як і у разі регістрів, внутрішня пам'ять лічильників — оперативна, тобто її вміст зберігається тільки до тих пір, поки включено живлення схеми. З виключенням живлення пам'ять стирається, а при новому включенні живлення схеми вміст пам'яті буде довільним, випадковим, залежним тільки від конкретної мікросхеми, тобто вихідні сигнали лічильників будуть довільними.

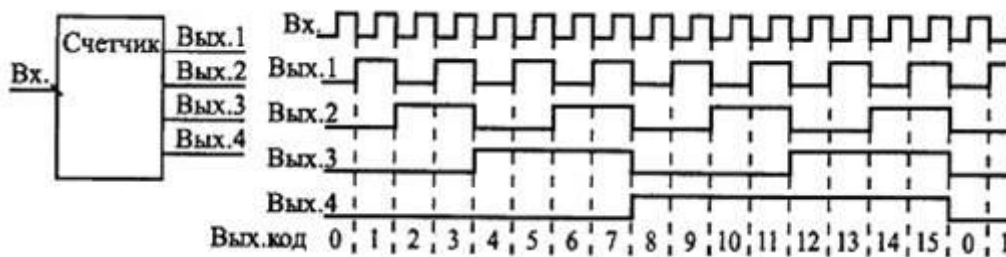


Рис.6.1. Робота 4-розрядного двійкового лічильника.

Як випливає з самої назви, лічильники призначені для підрахунку вхідних імпульсів. Тобто з приходом кожного нового вхідного імпульсу двійковий код на виході лічильника збільшується (або зменшується) на одиницю (Рис.6.1). Спрацьовувати лічильник може по негативному фронту вхідного (тактового) сигналу (як на малюнку) або по позитивному фронту вхідного сигналу. Режим підрахунку забезпечується використанням внутрішніх тригерів, що працюють в рахунковому режимі. Виходи лічильника є якраз виходами цих тригерів. Кожний вихід лічильника є розрядом двійкового коду, причому розряд, що змінюється частіше за інші (по кожному вхідному імпульсу), буде молодшим, а розряд, що змінюється рідше за інші — старшим.

Лічильник може працювати на збільшення вихідного коду по кожному вхідному імпульсу, це основний режим, що є у всіх лічильниках, він називається режимом прямого підрахунку. Лічильник може також працювати на зменшення вихідного коду по кожному вхідному імпульсу, це режим зворотного або інверсного підрахунку, передбачений в лічильниках, званих реверсивними. Інверсний рахунок буває досить зручний в схемах, де необхідно порахувати задану кількість вхідних імпульсів.

Більшість лічильників працює в звичайному двійковому коді, тобто рахує від 0 до  $(2N - 1)$ , де  $N$  — число розрядів вихідного коду лічильника. Наприклад, 4-розрядний лічильник в режимі прямого підрахунку рахуватиме від 0 (код 0000) до 15 (код 1111), а 8-розрядний — від 0 (код 0000 0000) до 255 (код 1111 1111). Після максимального значення коду лічильник по наступному вхідному імпульсу змінюється знову на 0, тобто працює по колу. Якщо ж рахунок інверсний, то лічильник рахує до нуля, а далі переходить до максимального коду 111... 1.

Є також двійково-десяткові лічильники, кінцевий код на виході яких не перевищує максимального двійково-десятькового числа, можливого при даній кількості розрядів. Наприклад, 4-розрядний двійково-десятьковий лічильник в режимі прямого підрахунку буде рахувати від 0 (код 0000) до 9 (код 1001), а потім знову від 0 до 9. А 8-розрядний двійково-десятьковий лічильник буде рахувати від 0 (код 0000 0000) до 99 (код 1001 1001). При

інверсному підрахунку двійково-десяткові лічильники рахують до нуля, а з наступним вхідним імпульсом переходять до максимально можливого двійково-десятькового числа (тобто 9 для 4-розрядного лічильника, 99 для 8-розрядного лічильника). Двійково-десятькові лічильники зручні, наприклад, при організації десяткової індикації їх вихідного коду. Застосовуються вони набагато рідше за звичайні двійкові лічильники.

По швидкодії всі лічильники діляться на три великі групи:

- асинхронні (або послідовні) лічильники;
- синхронні лічильники з асинхронним перенесенням (або паралельні лічильники з послідовним перенесенням);
- синхронні (або паралельні) лічильники.

Принципові відмінності між цими групами виявляються тільки на другому рівні представлення, на рівні моделі з тимчасовими затримками. Найбільшою швидкодією володіють синхронні лічильники, а найменшою — асинхронні лічильники, найбільш просто керовані серед інших. Кожна група лічильників має свої області використання, на яких ми і зупинимось.

Асинхронні лічильники будуються з простого ланцюжка JK-тригерів, кожний з яких працює в рахунковому режимі. Вихідний сигнал кожного тригера служить вхідним сигналом для наступного тригера. Тому всі розряди (виходи) асинхронного лічильника перемикаються послідовно (звідси назва — послідовні лічильники), один за іншим, починаючи з молодшого і кінчаючи старшим. Кожний наступний розряд перемикається із затримкою щодо попереднього (Рис.6.2), тобто, не одночасно з вхідним сигналом і з іншими розрядами.

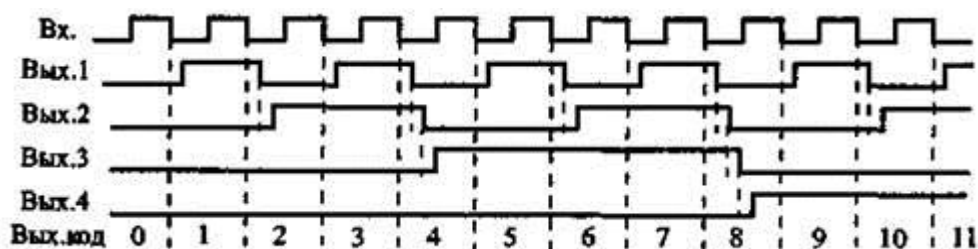


Рис.6.2. Тимчасова діаграма роботи 4-розрядного асинхронного лічильника.

Чим більше розрядів має лічильник, тим більший час йому потрібен на повне перемикавання всіх розрядів. Затримка перемикавання кожного розряду приблизно рівна затримці тригера, а повна затримка встановлення коду на виході лічильника рівна затримці одного розряду, помноженій на число розрядів лічильника. Легко помітити, що при періоді вхідного сигналу, меншому ніж повна затримка встановлення коду лічильника, правильний код на виході лічильника просто не встигне встановитися, тому така ситуація не має сенсу. Це створює обмеження на період (частоту) вхідного сигналу, причому збільшення, наприклад, удвічі кількості розрядів лічильника автоматично зменшує удвічі гранично допустиму частоту вхідного сигналу.

Таким чином, якщо нам потрібен вихідний код асинхронного лічильника, тобто всі його вихідні сигнали (розряди) одночасно, то повинна виконуватися наступна нерівність:

$$T > Nt_3$$

де  $T$  — період вхідного сигналу,  $N$  — число розрядів лічильника,  $t_3$  — час затримки одного розряду.

Треба ще врахувати, що за періодом вхідного сигналу повинен встигнути спрацювати пристрій (вузол), на який поступає вихідний код лічильника, інакше лічильник просто не потрібен, тому обмеження на частоту вхідного сигналу звичайно буває ще жорсткіше. У складі стандартних серій цифрових мікросхем асинхронних лічильників є небагато. Як приклад на рис.6.3. приведені три з них: чотирьохрозрядний двійково-десятковий лічильник ІЕ2, чотирьохрозрядний двійковий лічильник ІЕ5 і восьмирозрядний двійковий лічильник ІЕ19 (він є двійковий чотирьохрозрядний лічильник).

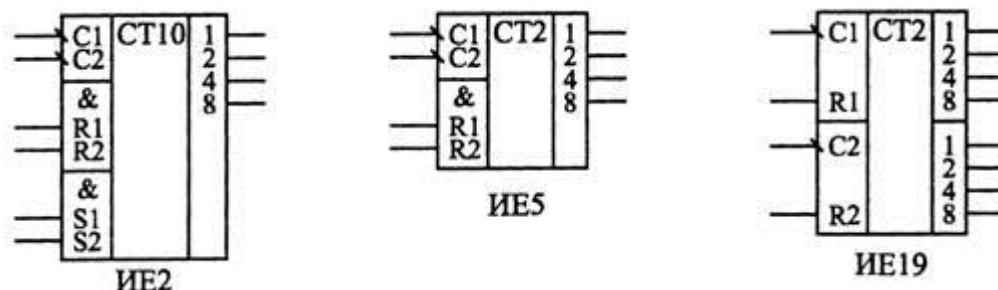


Рис.6.3. Асинхронні лічильники стандартних серій.

Управління роботою всіх цих лічильників дуже просте: є лише входи скидання на нуль або входи установки в 9 (тільки в ІЕ2). Всі асинхронні лічильники працюють по нижньому фронту вхідного сигналу С. У всіх трьох лічильників виділено дві незалежні частини, що збільшує сферу їх використання. При об'єднанні цих двох частин виходить лічильник максимальної розрядності. Виходи лічильників позначають на схемах 0, 1,2, 3 ... (як номери розрядів вихідного двійкового коду) або 1, 2, 4, 8 ... (як вага кожного розрядудвійкового коду).

Лічильник ІЕ2 має дві частини: один тригер (вхід С1, вихід 1) і три тригери (вхід С2 і виходи 2, 4, 8). Таким чином, він складається з одnorозрядного лічильника і трьохрозрядного лічильника. Одиночний тригер працює в звичайному рахунковому режимі, змінюючи свій стан по кожному нижньому фронту сигналу С1, тобто ділить частоту вхідного сигналу на 2. Три тригери, що залишилися, включені так, щоб рахувати до 5, тобто ділити вхідну частоту сигналу С2 на 5. Після досягнення коду 4 (тобто 100) на виходах 2, 4 і 8 цей трьохрозрядний лічильник по наступному нижньому фронту сигналу С2 скидається в нуль. В результаті об'єднання виходу 1 мікросхеми з входом С2 ми одержуємо 4-розрядний двійково-десятковий лічильник, що ділить частоту вхідного сигналу С1 на 10, що скидається в нуль після досягнення на виходах 1, 2, 4, 8 коду 9 (тобто 1001) по негативному фронту сигналу С1.

Лічильник ІЕ2 має два входи асинхронного скидання в нуль R1 і R2, з'єднані по функції І, а також два входи установки в 9 — S1 і S2, також з'єднаних по функції І, причому установка в 9 блокує установку в нуль. Наявність цих входів скидання і установки дозволяє будувати на базі лічильника ІЕ2 ділянки частоти з різними коефіцієнтами розподілу. Правда, цей лічильник використовується досить рідко, значно рідше, ніж інші асинхронні лічильники ІЕ5 і ІЕ19.

Таблиця істинності асинхронного лічильника ІЕ2 при сполученому виході 1 і вході С2 (при 4-розрядному вихідному коді) приведена нижче (таблиця 25.1), а стан виходів за рахунок вхідних імпульсів по тактах представлені в таблиці 25.2.

Лічильник ІЕ5 так само, як і ІЕ2, має дві частини: один тригер (одnorозрядний лічильник) з входом С1 і виходом 1 і три тригери (трьохрозрядний лічильник) з входом С2 і виходами 2, 4, 8. Обидва лічильники двійкові, тобто перший рахує до двох, а другий — до 8. При об'єднанні входу С2 з виходом 1 виходить 4-розрядний двійковий лічильник, що рахує до 16. Рахунок проводиться по негативному фронту вхідних сигналів С1 і С2. Передбачена можливість скидання лічильника на нуль по сигналах R1 і R2, з'єднаних по функції І.

Таблиця істинності лічильника ІЕ5 при з'єднанні входу С2 і виходу 1 (при 4-розрядному вихідному коді) приведена нижче (таблиця 25.3.).



об'єднати їх для отримання 8-розрядного асинхронного лічильника з виходами 1,2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. Для такого об'єднання достатньо з'єднати вихід 8 першого лічильника з рахунковим входом С2 другого лічильника. Якщо з'єднати два лічильники ІЕ19 (рис.6.5), то вийде вже 16-розрядний асинхронний двійковий лічильник. При цьому вихід 8 другого лічильника з'єднується з рахунковим входом С1 першого лічильника. Проте і в даному випадку кожний наступний розряд перемикається із затримкою після перемикання попереднього.

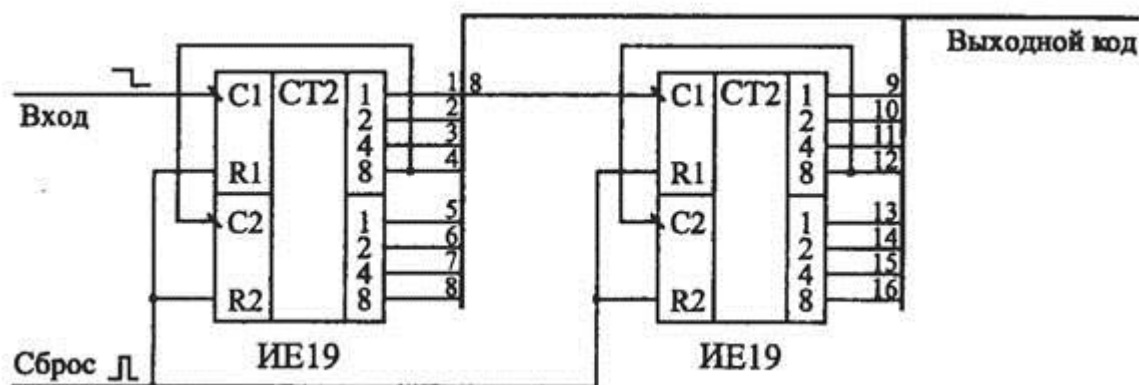


Рис.6.5. Об'єднання двох лічильників ІЕ19 для збільшення розрядності.

Основне використання асинхронних лічильників полягає в побудові всіляких дільників частоти, тобто пристроїв, що видають вихідний сигнал з частотою, у декілька разів меншою, ніж частота вхідного сигналу. В даному випадку нас цікавить не вихідний код лічильника, тобто не всі його розряди одночасно, а тільки один розряд, тому взаємні затримки окремих розрядів не грають ролі, повна затримка перемикання лічильника не має значення.

Найпростіший приклад дільника частоти на два — це тригер в рахунковому режимі або лічильник, вихідним сигналом якого є вихід першого, молодшого розряду.

При побудові дільників частоти іноді важлива не тільки частота вихідного сигналу, але і його форма, його шпаруватість, тобто відношення періоду проходження імпульсів до тривалості цих імпульсів. В таких випадках частіше за все потрібен *меандр*, тобто цифровий сигнал з шпаруватістю, рівною двом (тривалість імпульсів рівна тривалості паузи між ними).

Одержати меандр з будь-якого сигналу досить просто: треба використовувати додатковий дільник частоти на 2, правда при цьому частота вихідного сигналу зменшиться ще удвічі.

Найпростіший приклад такого дільника частоти на десять приведений на рис.6.6. В дільнику використаний лічильник ІЕ2, біля якого однорозрядний внутрішній лічильник включений після трьохрозрядного внутрішнього лічильника. Трьохрозрядний лічильник ділить частоту вхідного сигналу на 5, але вихідні імпульси мають шпаруватість, не рівну двом (вона рівна 5). Однорозрядний лічильник ділить частоту ще удвічі і одночасно формує меандр. Затримки перемикання розрядів лічильника один відносно одного на малюнку не показані (застосовуємо перший рівень представлення, логічну модель).

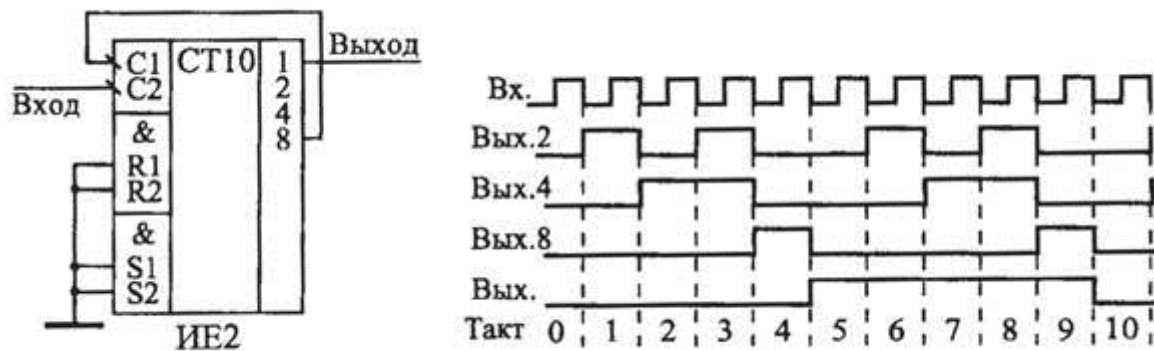


Рис.6.6. Дільник частоти на 10, що видає меандр.

Іноді виникає задача поділу частоти вхідного сигналу на довільне число раз (не в 10 і не в  $2n$ , що легко забезпечується самою структурою стандартних лічильників). В цьому випадку можна організувати скидання лічильника при досягненні їм необхідного коду шляхом введення зворотних зв'язків.

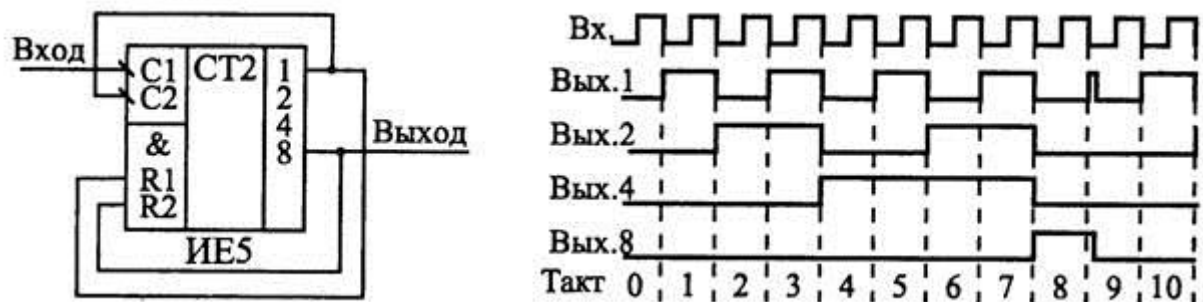


Рис.6.7. Дільник частоти на 9 із зворотними зв'язками.

Наприклад, на рис.6.7 показаний найпростіший дільник частоти на 9 на основі лічильника ІЕ5. Досягнувши вихідним кодом значення 9 (тобто 1001) лічильник автоматично скидається на нуль по входах R1 і R2, і рахунок починається знову. В результаті частота вихідного сигналу в 9 разів менше частоти вхідного сигналу. При цьому шпаруватість вихідного сигналу не рівна двом. Тимчасова діаграма показана на малюнку для першого рівня уявлення (без урахування тимчасових затримок).

Якщо в числі, на яке треба ділити частоту більше дві одиниці (наприклад, 15, тобто 1111, або 13, тобто 1101), то для формування сигналу скидання треба використовувати елементи 2І, 3І або 4І для об'єднання всіх виходів, рівних одиниці. В результаті можна побудувати дільника вхідної частоти в будь-яке число раз від 2 до  $2^n$ , де  $N$  — число розрядів лічильника, що використовується. Правда, при організації зворотних зв'язків треба враховувати обмеження на швидкодію лічильника. Всі розряди, що використовуються для зворотного зв'язку, повинні встигнути переключитися за один період вхідного сигналу. Шпаруватість вихідного сигналу може приймати в даному випадку самі різні значення, наприклад, вихідний сигнал може представляти дуже короткі імпульси.

За допомогою асинхронних лічильників можна будувати також керовані дільники частоти, тобто такі дільники, вихідна частота яких визначається керуючим кодом. На малюнку 25..8 показаний дільник на  $2^n$ , де  $n$  — ціле. Восьмирозрядний лічильник ІЕ19 працює по вхідному сигналу з тактовою частотою  $f_T$ , а вихідний мультиплексор з 8 входами КП7 передає на вихід схеми один з 7 розрядів лічильника або ж вхідний сигнал. Вибір номера каналу проводиться вхідним керуючим 3-розрядним кодом. Наприклад, при тактовій частоті  $f_T = 10$

МГц, тобто при періоді вхідного сигналу 100 нс період вихідного сигналу може складати 100 нс, 200 нс, 400 нс, 800 нс, 1,6 мкс, 3,2 мкс, 6,4 мкс, 12,8 мкс.

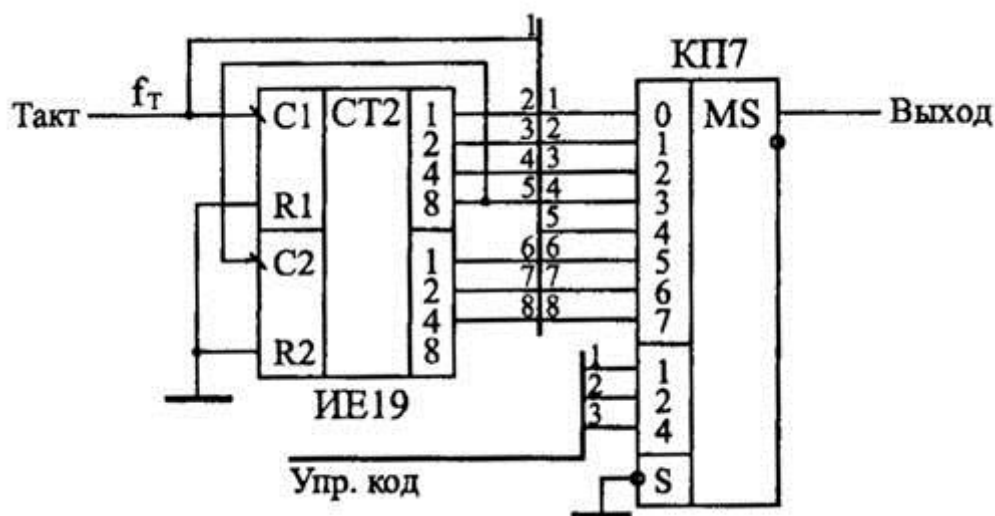


Рис.6.8. Керований дільник частоти на асинхронному лічильнику.

У момент перемикання управляючого коду на виході схеми можуть з'явитися небажані короткі імпульси, оскільки ніякої синхронізації управляючого коду не передбачено. Тому схема повинна працювати так: спочатку задається вхідний керуючий код, а вже потім дозволяється робота цієї схеми, на яку поступає сформований нашою схемою вихідний сигнал. В цьому випадку жодних проблем не буде. Не грають ролі в даному випадку і затримки перемикання розрядів лічильника, оскільки завжди використовується тільки його один розряд. Головне, щоб з частотою  $f_T$  перемикався перший розряд лічильника. Звичайно, використання асинхронних лічильників не обмежується тільки діленням частоти. У випадках, коли високої швидкодії не вимагається, коли перехідні процеси на виходах лічильника не мають значення (при правильній синхронізації), асинхронні лічильники цілком можуть замінити більш швидкі синхронні лічильники. Частина таких задач складає близько 20% від загального числа.

Якщо ж включити на виході асинхронного лічильника вихідний паралельний регістр (рис.6.9), то можна забезпечити одночасне перемикання всіх вихідних розрядів лічильника.

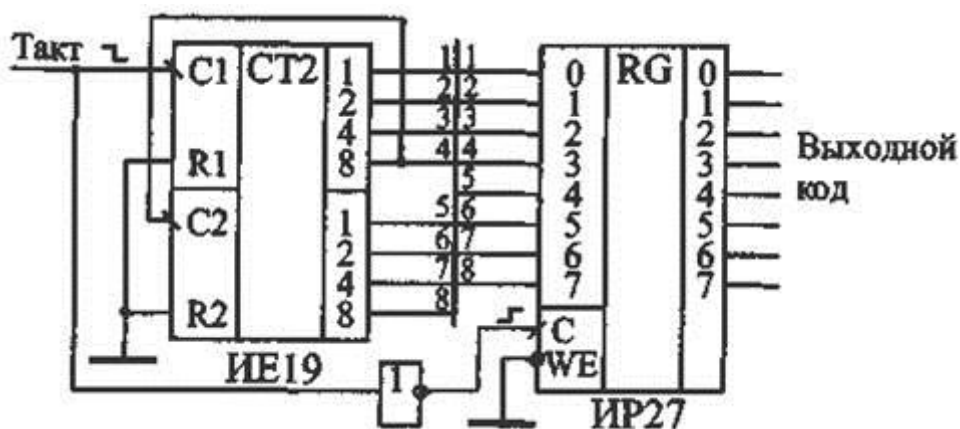


Рис.6.9. Включення вихідного регістра для одночасного перемикання розрядів вихідного коду.

Дана схема працюватиме правильно, якщо період проходження вхідних тактових імпульсів буде більше, ніж час встановлення всіх розрядів лічильника (в нашому випадку — 8-розрядного лічильника ИЕ19). Інвертування необхідне, оскільки лічильник спрацьовує по негативному фронту вхідного сигналу, а регістр — по позитивному фронту. Хоча дане

рішення усуває головний недолік асинхронного лічильника — неодночасність встановлення його вихідних розрядів, проте другий недолік — велика затримка встановлення вихідного коду — зберігається. Його усунути неможливо, можна тільки перейти на інші, більш швидкі лічильники.

На закінчення даного розділу треба відзначити, що асинхронні лічильники, як і інші цифрові схеми, пред'являють вимоги до тривалості вхідних сигналів. Наприклад, не повинні бути дуже короткими сигнали на тактових входах і на входах скидання і установки. Не повинні бути дуже затягнутими фронти вхідних сигналів. Тактові сигнали і сигнали скидання не повинні приходити з дуже малими затримками один відносно одного.

Синхронні (або паралельні) лічильники характеризуються тим, що всі їх розряди в межах однієї мікросхеми перемикаються одночасно, паралельно. Це досягається істотним ускладненням внутрішньої структури мікросхеми в порівнянні з простими асинхронними лічильниками. В результаті повна затримка перемикавання синхронного лічильника приблизно рівна затримці одного тригера, тобто синхронні лічильники набагато швидше за асинхронні, причому їх швидкодія не падає із зростанням кількості розрядів вихідного коду (звичайно, до певних меж).

Управління роботою синхронного лічильника набагато складніше, ніж у асинхронного лічильника, а кількість розрядів синхронних лічильників звичайно не перевищує чотирьох. Тому синхронні лічильники не завжди можуть успішно конкурувати з асинхронними лічильниками, особливо при невисоких вимогах до швидкодії. Зате і можливостей у синхронних лічильників, як правило, набагато більше, ніж в асинхронних, наприклад, вони забезпечують паралельний запис інформації в лічильник і інверсний режим рахунку. Для об'єднання декількох синхронних лічильників з метою збільшення числа їх розрядів використовується спеціальний вихідний сигнал перенесення. Залежно від принципів формування сигналу перенесення і від принципів його використання синхронні (паралельні) лічильники діляться на лічильники з асинхронним (послідовним) перенесенням і лічильники з синхронним (паралельним) перенесенням (або повністю синхронні лічильники). Синхронні лічильники з асинхронним перенесенням займають проміжне положення по швидкодії між асинхронними лічильниками і повністю синхронними лічильниками. Управління їх роботою простіше, ніж в синхронних лічильників, але складніше, ніж в асинхронних. Працюють дані лічильники по позитивному фронту вхідного сигналу (або, що те ж саме, по задньому фронту негативного сигналу). Основна суть їх роботи зводиться до наступного: всі розряди одного лічильника перемикаються одночасно, але при каскадуванні лічильників кожний наступний лічильник (даючий більш старші розряди) перемикається із затримкою щодо попереднього лічильника (даючого більш молодші розряди). Тобто затримка перемикавання багаторозрядного лічильника збільшується в даному випадку не з кожним новим розрядом (як в асинхронних лічильників), а з кожною новою (наприклад, 4-розрядної) мікросхемою.

Сигнал перенесення в цих лічильників при прямому рахунку виробляється тоді, коли всі розряди рівні одиниці (досягнутий максимальний код) і коли приходить вхідний сигнал. Тому сигнал перенесення, що повторює вхідний сигнал, буде затриманий відносно вхідного сигналу. І саме цей сигнал перенесення використовується як вхідний для наступного лічильника при каскадуванні. Тобто вхідний сигнал другого лічильника затриманий відносно вхідного сигналу першого лічильника, вхідний сигнал третього лічильника затриманий відносно вхідного сигналу другого лічильника і т.д.

Тимчасова діаграма 4-розрядного синхронного лічильника з асинхронним перенесенням показана на малюнку 25.10. З малюнка видно, що розряди перемикаються одночасно по позитивному фронту вхідного сигналу (з деякою затримкою), а негативний сигнал перенесення також затриманий відносно вхідного негативного імпульсу. Зрозуміло, що перемикавання розрядів лічильника, що працює з цим сигналом перенесення як вхідний, відбуватиметься з додатковою затримкою відносно перемикавання розрядів даного лічильника.



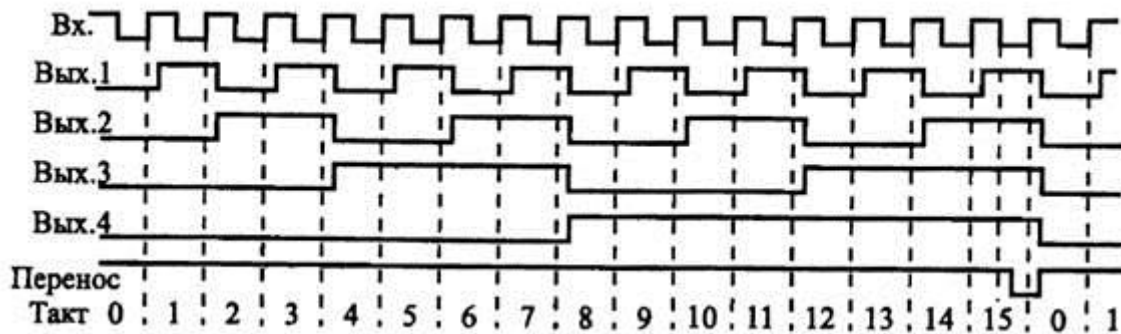


Рис.6.10. Тимчасова діаграма роботи синхронного лічильника з асинхронним перенесенням.

Прикладами синхронних лічильників з асинхронним перенесенням можуть служити двійково-десятковий лічильник ІЕ6 і двійковий лічильник ІЕ7 (рис.6.11). Вони повністю ідентичні по своїх можливостях і призначеннях входів і виходів, але тільки лічильник ІЕ6 рахує від 0 до 9, а лічильник ІЕ7 — від 0 до 15. Обидва лічильники реверсивні, забезпечують як прямий рахунок (по позитивному фронту на вході +1), так і зворотний рахунок (по позитивному фронту на вході -1). При прямому рахунку негативний сигнал перенесення утворюється на виході >15 (ІЕ7) або >9 (ІЕ6). Після досягнення вихідним кодом значення 0000, при зворотному (інверсному) рахунку негативний сигнал перенесення утворюється на виході <0. Є можливість скидання лічильника на нуль позитивним сигналом на вході R, а також можливість паралельного запису в лічильник коду з входів D1, D2, D4, D8 по негативному сигналу на вході -WR. При паралельному записі інформації лічильники поведуться як регістри-замки, тобто вихідний код лічильника повторює вхідний код, поки на вході -WR присутній сигнал нульового рівня.

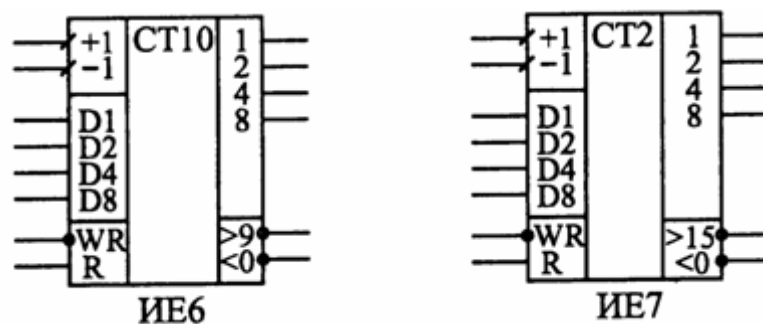


Рис.6.11. Синхронні лічильники з асинхронним перенесенням.

Вхід паралельного запису позначається іноді на схемах також -L, -С, а виходи перенесення позначаються також -CR і -BR.

Режими роботи лічильників ІЕ6 і ІЕ7 представлені в табл.6.4.

Після скидання лічильник починає рахунок по позитивних фронтах на рахункових входах від нульового коду. Після паралельного запису рахунок починається від числа, записаного в лічильнику. Після переповнення лічильника ІЕ7 (досягнення коду 1111) при прямому рахунку виробляється негативний сигнал перенесення >15, повторюючий негативний вхідний імпульс на вході +1 із затримкою. Після досягнення коду 0000 при зворотному рахунку виробляється негативний сигнал перенесення <0, повторюючий негативний вхідний імпульс на вході з затримкою -1с. Так само працює і лічильник ІЕ6, але у нього переповнення виникатиме в режимі прямого рахунку досягнувши коду 1001.

Таблиця режимів роботи лічильників ІЕ6 і ІЕ7

Таблиця 25.4.

R	Входи			Режим роботи
	-WR	+1	-1	
1	X	X	X	Скидання на нуль
0	0	X	X	Паралельний запис
0	1	1	1	Зберігання
0	1	0	0	Зберігання
0	1	0->1	1	Прямий рахунок
0	1	1	0->1	Зворотній рахунок

Вхідні сигнали рахунку, запису і скидання не повинні бути дуже короткими. Не повинен бути дуже малим часовий зсув між сигналами на входах D1 — D8 і сигналом запису як на початку імпульсу запису, так і в його кінці (сигнал запису -WR повинен починатися після встановлення вхідного коду, а закінчуватися — до зняття вхідного коду).

Об'єднання лічильників ІЕ7 і ІЕ6 для збільшення розрядності (каскадування) здійснюється дуже просто: потрібно виходи перенесення молодших лічильників (даючих молодші розряди вихідного коду) з'єднати з рахунковими входами старших лічильників (даючих старші розряди вихідного коду). На Малюнок 25. 1.12 показана організація 12-розрядного лічильника на трьох мікросхемах ІЕ7. Цей лічильник може рахувати як на збільшення (прямий рахунок), так і на зменшення (зворотний рахунок). Можливі також скидання і паралельний запис в лічильники вхідного коду. Розряди кожного наступного лічильника перемикаються одночасно, але із затримкою відносно перемикавання розрядів попереднього лічильника. Так само об'єднуються і лічильники ІЕ6.

Якщо необхідно використовувати всі вихідні розряди багаторозрядного лічильника одночасно (як єдиний код), то необхідне виконання наступної умови:

$$T > (N-1) t_{3n} + t_{3C}$$

де  $T$  — період вхідного сигналу,  $N$  — число з'єднаних мікросхем лічильників,  $t_{3n}$  — час затримки перенесення одного лічильника,  $t_{3C}$  — час затримки рахунку (перемикавання вихідного коду) одного лічильника.

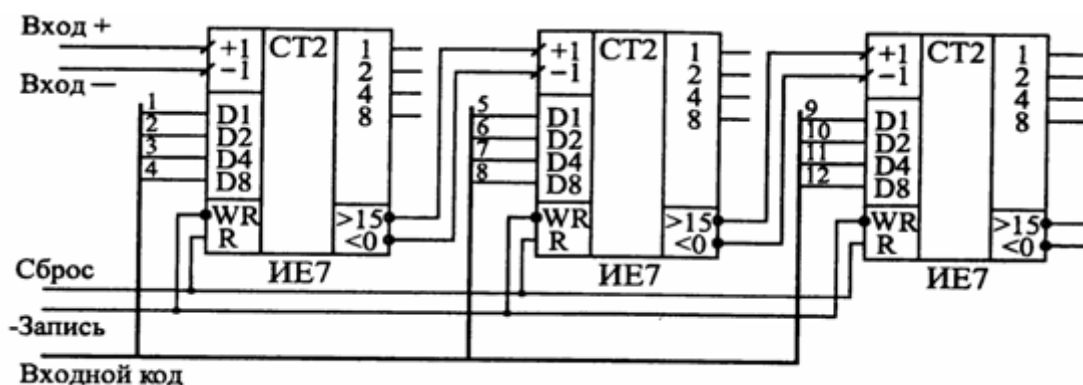


Рис.6.12. Об'єднання лічильників ІЕ7 для збільшення розрядності.

Використання синхронних лічильників з асинхронним перенесенням дуже багатоманітне. Наприклад, вони можуть ділити частоту вхідного сигналу, рахувати вхідні імпульси, формувати пачки імпульсів, вимірювати тривалість тимчасового інтервалу, формувати сигнали заданої тривалості, вимірювати частоту вхідних імпульсів, послідовно перемикаючи вхідні і вихідні канали, формувати складні послідовності сигналів, перебирати адреси пам'яті

і інше. Ми розглянемо лише декілька найтипівіших прикладів.

Як подільники частоти вхідного сигналу синхронні лічильники з асинхронним перенесенням дуже зручні, оскільки в них поєднується порівняно висока швидкість роботи з досить простим управлінням. Зручно також і те, що у них є режим зворотного рахунку. На цих лічильниках можна будувати подільники частоти з довільно змінним за допомогою вхідного коду коефіцієнтом поділу. Такі дільники знаходять, наприклад, широке використання в аналого-цифрових системах, що працюють з аналоговими сигналами різної частоти. Найпростіший приклад 8-розрядного дільника частоти на лічильниках ІЕ7 показаний на рис.6.13.

На вхід лічильників подається 12-розрядний керуючий код, що визначає коефіцієнт розподілу вхідної частоти. Цей код записується в лічильники по сигналу перенесення  $<0$  старшого лічильника. З цього коду починається потім рахунок на зменшення. Коли лічильники порахують кількість вхідних імпульсів, рівну вхідному коду, знову утвориться сигнал перенесення старшого лічильника і знову запише вхідний код в лічильники. Коефіцієнт розподілу буде рівний  $(N+1)$  при вхідному коді  $N$ . Негативний вихідний сигнал формою повторюватиме вхідний, але з повною затримкою перенесення, а його частота буде менше частоти вхідного сигналу в  $(N+1)$  раз. При 12-розрядному вхідному коді максимальний коефіцієнт розподілу складе 4096, а мінімальний — 1.

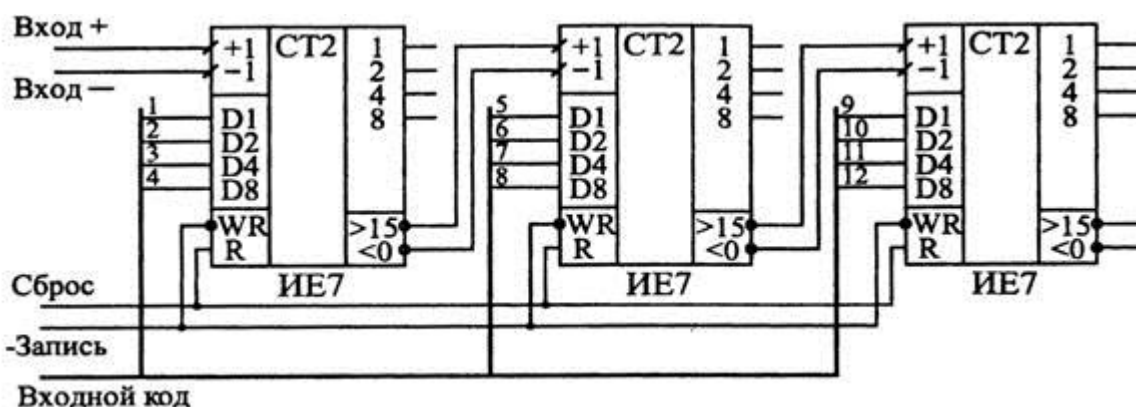


Рис.6.13. Дільник частоти з коефіцієнтом розподілу, вхідним кодом, що задається.

Щоб сформулювати умови правильної роботи даного дільника частоти, треба перш за все відзначити, що запис вхідного коду в лічильники проводиться негативним рівнем сигналу - WR, тобто переднім фронтом вхідного негативного імпульсу, а рахунок проводиться позитивним фронтом сигналу -1, тобто заднім фронтом вхідного негативного імпульсу. Звідси випливає, що вхідний імпульс повинен бути достатньо коротким. Якщо він записує код в лічильники своїм переднім фронтом, він вже не повинен своїм заднім фронтом перемикає лічильники по входу -1. Тому тривалість вхідного негативного імпульсу не повинна перевищувати повного часу перемикавання лічильників і запису в них вхідного коду. В нашому випадку це три затримки перенесення і затримка запису в лічильник.

Якщо частота вхідного сигналу велика (наприклад, більше 10 МГц), то нормальна тривалість вхідного сигналу виходить сама собою. Але частота вхідного сигналу не може бути й дуже великою. Інакше в процесі запису лічильник пропустить один з вхідних імпульсів або навіть декілька. Тобто від переднього фронту вхідного негативного сигналу до заднього фронту наступного вхідного негативного сигналу повинні встигнути спрацювати всі лічильники і повинен відбутися запис в лічильники (сумарний час затримки знову ж таки включити суму затримок перенесення всіх лічильників і затримку запису). Тобто обмеження на вхідну частоту буде тим жорсткіше, чим більше лічильників ми об'єднуємо для збільшення кількості розрядів. В даному випадку важлива саме кількість застосованих мікросхем, а не кількість розрядів, що використовуються, як в асинхронних лічильниках.

Для вирішення задачі підрахунку кількості вхідних імпульсів, що прийшли, необхідно всього лише об'єднати декілька мікросхем лічильників з метою отримання необхідного числа



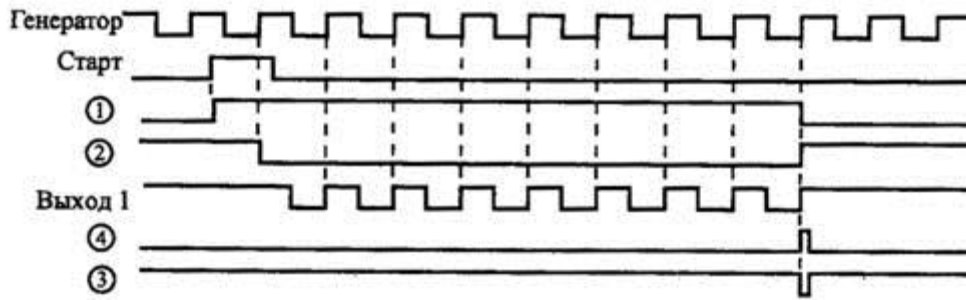


Рис.6.16. Тимчасова діаграма роботи формувача пачки імпульсів.

По сигналу Старт (позитивний фронт) перемикається перший тригер, що використовується для синхронізації. По першому позитивному фронту тактового сигналу з генератора перемикається другий тригер, що дозволяє проходження імпульсів з генератора на вихід через елемент 2І-НІ, а також дозволяє роботу лічильника ІЕ7.

Після того, як на Вихід1 схеми пройдуть вісім негативних імпульсів, на виході 8 лічильника виробиться одиниця, що приведе до скидання в початкове нульове положення обох тригерів (коротким негативним імпульсом на виході нижнього на малюнку елемента 2І-НІ) і до заборони проходження імпульсів на вихід. Робота формувача поновиться після наступного сигналу Старт.

На основі лічильників досить просто будувати формувачі тимчасових інтервалів з тривалістю, що задається зовнішнім кодом. Такі формувачі знаходять широке використання, наприклад, в різних вимірювальних пристроях. Оскільки формувач тимчасових інтервалів звичайно працює з кварцовим тактовим генератором, можливі два підходи до його побудови. При першому підході вхідний стартовий імпульс синхронізується з тактовим сигналом, внаслідок чого вихідний імпульс заданої тривалості може початися не відразу після стартового імпульсу, а через якийсь час, менше періоду тактового сигналу. Тривалість формованого тимчасового інтервалу буде в цьому випадку абсолютно точно відома і буде рівна цілому числу періодів тактового генератора. Саме так було зроблено в попередній розглянутій нами схемі (сигнал Вихід 2 на рис.6.15 якраз і буде формованим сигналом із заданою тривалістю).

При другому підході вихідний імпульс заданої тривалості починається відразу після вхідного сигналу, але тривалість його може відрізнятись від заданої на якийсь час, менший періоду тактового сигналу. Іноді це більш прийнятне рішення, особливо при великих тривалостях вихідного сигналу, значне більших, ніж період тактового сигналу. Схема формувача тимчасового інтервалу, побудованого відповідно до цього другого підходу, показана на рис.6.17.

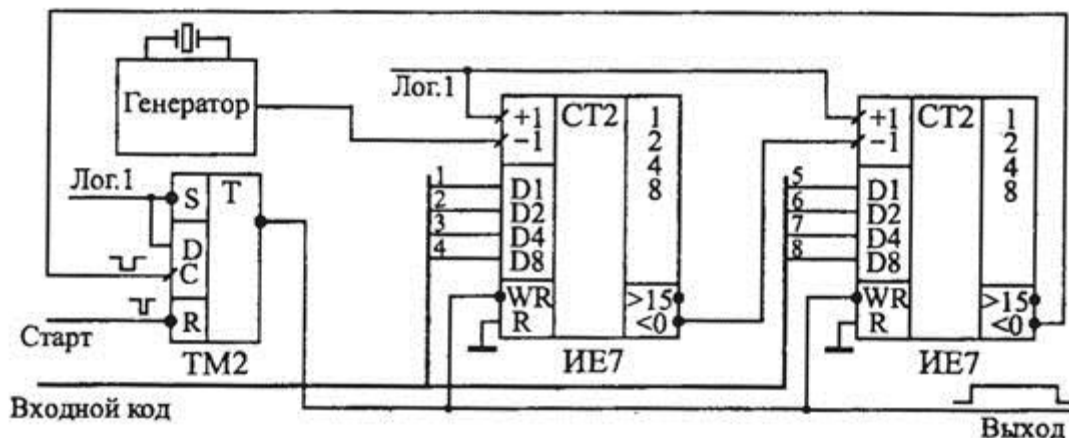


Рис.6.17. Формувач тимчасового інтервалу

Робота схеми починається з подачі короткого негативного імпульсу -Старт. Він перекидає тригер, який дозволяє роботу лічильників зняттям сигналу паралельного запису -WR. По негативному фронту вхідного сигналу починається позитивний вихідний сигнал заданої тривалості. Лічильники починають рахувати на зменшення коду по позитивних фронтах тактового сигналу з генератора. Коли вони долічать до нуля, виробляється сигнал перенесення, що перекидає тригер в початкове положення. Робота схеми поновиться після наступного сигналу -Старт.

Якщо вхідний код рівний 1, то тривалість вихідного сигналу складе від  $T$  до  $2T$ , де  $T$  — період тактового сигналу. Якщо вхідний код рівний  $N$  (до 255), то тривалість вихідного сигналу складе від  $NT$  до  $(N+1)T$  залежно від моменту приходу вхідного сигналу по відношенню до тактового сигналу. Абсолютна похибка витримки тривалості вихідного сигналу у будь-якому випадку не перевищує періоду тактового сигналу  $T$ .

Цю ж саму схему цілком можна використовувати в тих випадках, коли необхідно одержати код, який прямує від заданого числа до нуля. При цьому сигнал з виходу тригера буде тільки внутрішнім сигналом схеми, а вихідними сигналами схеми будуть вихідні розряди лічильників.

Іноді буває необхідне сформувати імпульс необхідної тривалості, але одночасно мати не спадаючий, а зростаючий код (від нуля до заданого значення). У такому разі схема вийде дещо складніше. Приклад можливого рішення формувача імпульсу заданої тривалості показаний на рис.6.18.

По сигналу Старт (позитивний фронт) перекидається лівий по малюнку тригер, який починає формувати вихідний сигнал і дозволяє роботу лічильника (знімаючи сигнал скидання R). Лічильник рахує на збільшення по позитивних фронтах тактового сигналу від нуля. Коли вихідний код лічильника досягає величини вхідного коду, спрацьовує правий по малюнку тригер, завершальний процес формування вихідного сигналу. Лічильник скидається в нуль, правий тригер по наступному фронту потрапляє в початкове положення. Новий цикл почнеться з приходом наступного сигналу Старт.

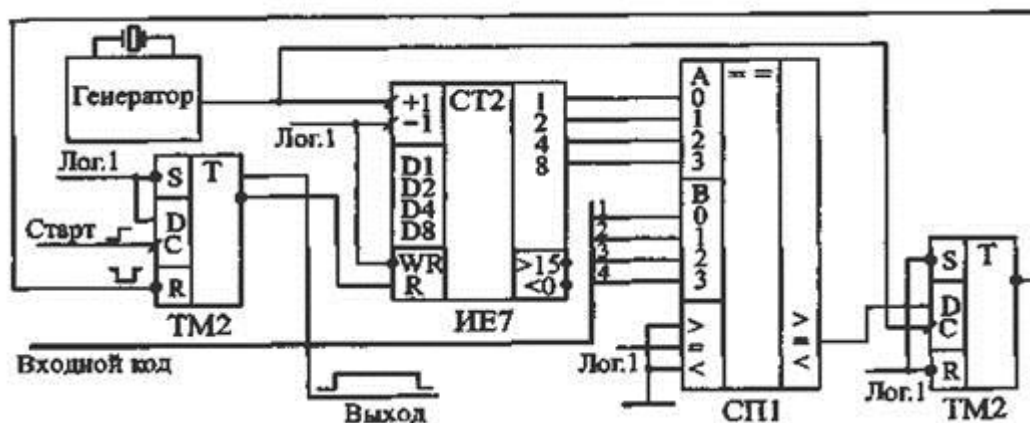


Рис.6.18. Формувач імпульсу заданої тривалості (варіант з наростаючим кодом).

Якщо вхідний код рівний 1, то тривалість вихідного сигналу складе від  $T$  до  $2T$ , де  $T$  — період тактового сигналу генератора. Якщо вхідний код рівний  $N$ , то тривалість вихідного сигналу буде рівна від  $NT$  до  $(N+1)T$  залежно від тимчасового зсуву між сигналом Старт і тактовим сигналом. У будь-якому випадку абсолютна похибка часу затримки вихідного сигналу не перевищить періоду тактового сигналу  $T$ .

Лічильники також широко застосовуються в різних вимірниках тривалості вхідних сигналів. Для цього вони відлічують імпульси тактового кварцового генератора протягом тривалості вхідного сигналу. Після закінчення вхідного сигналу в лічильнику залишається код, пропорційний тривалості цього сигналу. Приклад практичної схеми такого вимірника показаний на рис.6.19.

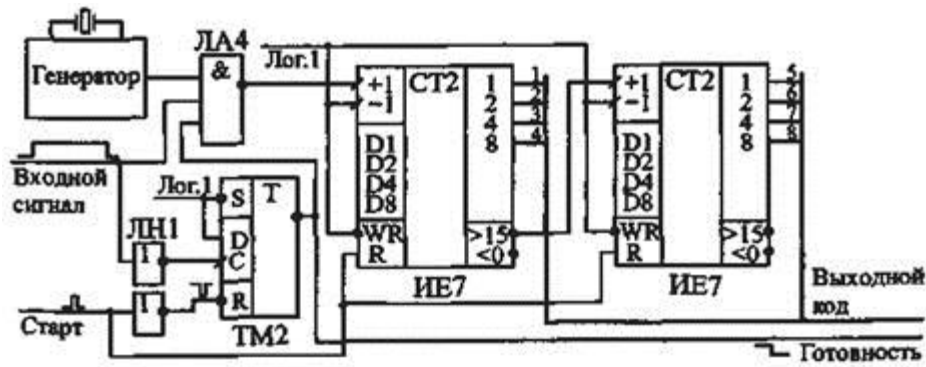


Рис.6.19. Вимірювач тривалості вхідного сигналу

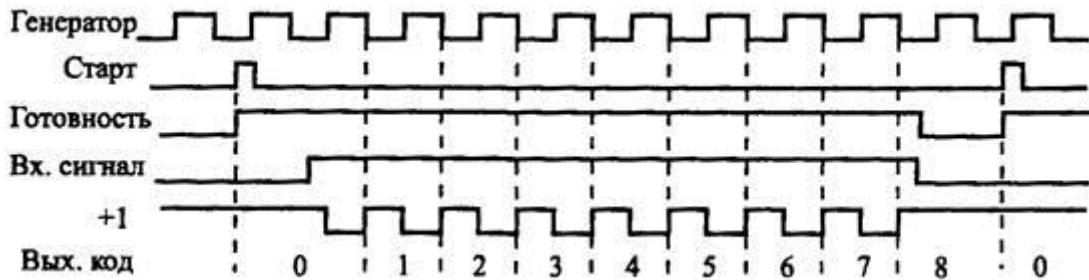


Рис.6.20. Тимчасова діаграма роботи вимірювача тривалості вхідного сигналу.

Робота схеми починається по короткому керуючому імпульсу Старт, який скидає лічильник на нуль і переводить всю схему в режим рахунку, дозволяючи проходження сигналу з тактового генератора на вхід +1 лічильника при позитивному вхідному сигналі. З початком вхідного сигналу імпульси з генератора поступають на вхід лічильника, і лічильник їх рахує. Після закінчення вхідного сигналу надходження імпульсів на вхід лічильника припиняється, тригер перекидається в початкове положення і повідомляє негативним фронтом на своєму інверсному виході про готовність вихідного коду (сигнал Готовність). Робота схеми поновиться по наступному імпульсу Старт. Тимчасова діаграма роботи вимірника тривалості вхідного сигналу приведена на рис.6.20.

Вихідний код  $N$  вимірювача пов'язаний з тривалістю вхідного сигналу  $t$  простим співвідношенням:

$$t = NT$$

де  $T$  — період тактового сигналу. Абсолютна похибка вимірювання не перевищує величини  $\pm T$ . Тому для зменшення відносної похибки вимірювання необхідно збільшувати частоту тактового генератора і збільшувати розрядність лічильника.

Лічильники також застосовуються і для вимірювання частоти вхідного цифрового сигналу. Частоту вхідного сигналу можна виміряти двома шляхами: непрямым, тобто вимірюванням періоду вхідного сигналу (за принципом, розглянутим тільки що) і обчисленням частоти (по формулі:  $f_{вх} = 1/T_{вх}$ ) або ж прямим вимірюванням частоти. Перший метод вимагає обчислень за допомогою комп'ютера або мікроконтролера, другий не вимагає ніяких додаткових обчислень. Тому ми розглянемо реалізацію методу прямого вимірювання частоти.

Відповідно до цього методу необхідно сформувати тимчасове вікно із заданою тривалістю  $t_0$ ,

протягом якого треба порахувати кількість  $N$  періодів вхідного сигналу  $T$  (Малюнок 25.21). В цьому випадку виконуватиметься співвідношення:

$$t_0 = NT \text{ або } f = N/t_0$$

де  $f$  — це частота вхідного сигналу, рівна  $1/T$ . Тобто частота вхідного сигналу пропорційна коду  $N$ , а коефіцієнт пропорційності рівний  $1/t_0$ . Якщо, наприклад, вибрати  $t_0 = 1\text{с}$ , то код  $N$  буде рівний частоті вхідного сигналу в герцах, а при  $t_0 = 1\text{мс}$  код  $N$  буде рівний частоті вхідного сигналу в кілогерцах.

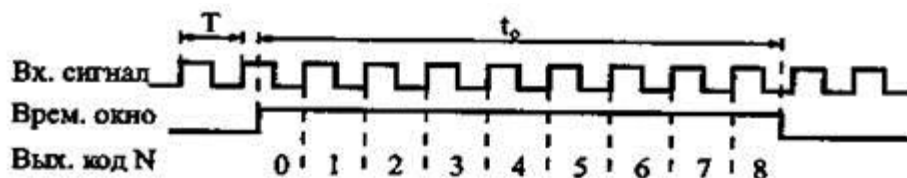


Рис. 6.21. Вимірювання частоти вхідного сигналу прямим методом.

Якщо тривалість тимчасового вікна — постійна величина, то похибка вимірювання частоти визначатиметься тільки похибкою підрахунку коду  $N$ . Абсолютна похибка підрахунку коду  $N$  не перевищить одиниці, а відносна похибка не буде більша ніж  $1/N$ . Зрозуміло, що для збільшення точності вимірювання частоти треба збільшувати  $N$ , тобто необхідно збільшувати тривалість тимчасового вікна  $t_0$ . Проте при цьому автоматично збільшується час вимірювання.

Схема вимірювача частоти (рис. 6.22) практично не відрізняється від схеми вимірювача тривалості вхідного сигналу (рис. 6.19). Тільки в даному випадку як вимірюваний сигнал буде використовуватись сигнал тимчасового вікна, а як тактовий сигнал — вхідний сигнал. Для формування сигналу тимчасового вікна можна застосувати схему рис. 6.15 (сигнал Вихід 2), яка забезпечує постійну тривалість вихідного сигналу.

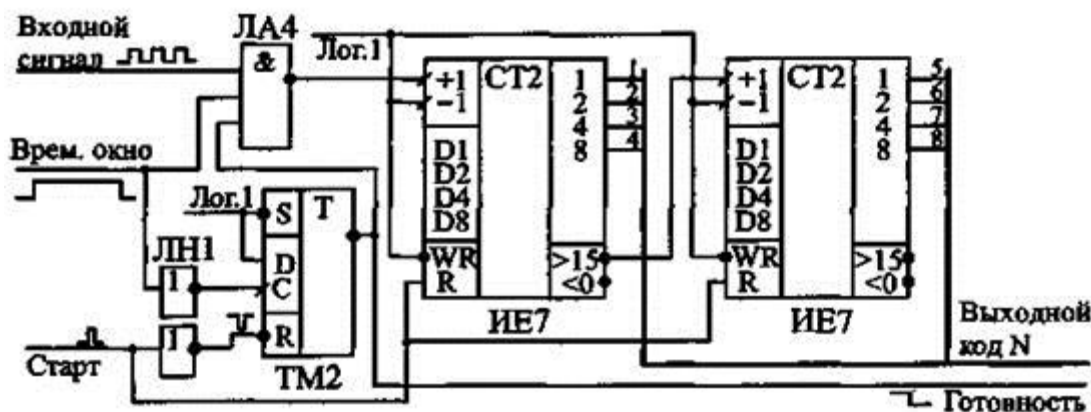


Рис. 6. 22. Вимірювач частоти вхідного сигналу прямим методом.

Ще одне широке поширене використання лічильників — послідовне перемикання (сканування) декількох пристроїв, вузлів, індикаторів, каналів передачі і т.д. Існує, наприклад, група пристроїв, які повинні з тих або інших причин працювати не одночасно, а по черзі, так, що в кожному момент активним є тільки один пристрій, причому черга ця замкнута в кільце, і після останнього пристрою починає працювати перше. Або ж є декілька каналів зв'язку (вхідних або вихідних ліній), які треба так само по черзі підключати до одного виходу (при вихідних каналах) або до одного входу (при вхідних каналах).



У всіх подібних випадках опитування, перемикання, сканування може проводити лічильник з потрібним числом розрядів. Лічильник з числом розрядів  $n$  може обслуговувати  $2n$  пристроїв (або каналів).

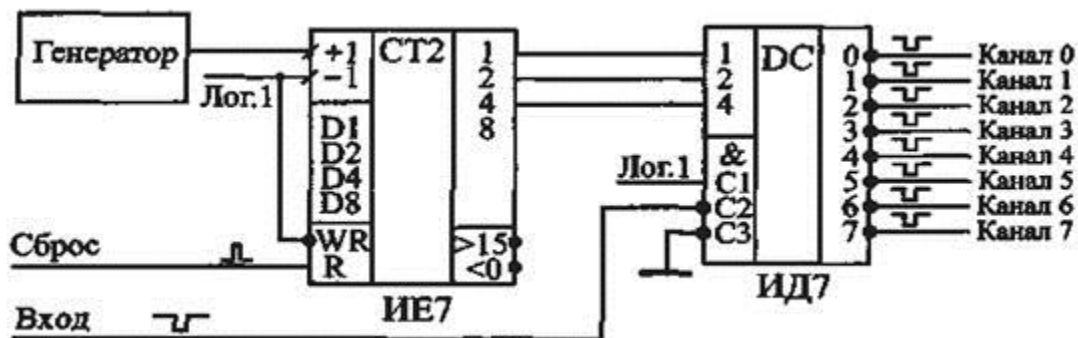


Рис.6.23. Схема послідовного перемикання вихідних каналів.

В якості першого прикладу розглянемо схему перемикання вихідних каналів (рис.6.23). Вона послідовно, по черзі, циклічно комутує один вхідний сигнал на вісім виходів, для чого використовуються лічильник, який тактується сигналом задаючого генератора, і дешифратор, що працює в якості демультиплексора. Кожний з вихідних каналів активний (тобто підключений) протягом одного періоду тактового сигналу, а потім пасивний (тобто відключений) протягом семи періодів тактового сигналу. Передбачена можливість початкового скидання схеми за допомогою сигналу Скидання. Використовуючи дану схему, треба враховувати, що в момент перемикання каналів може спотворюватися (обрізатися) вихідний сигнал. Тому краще всього забезпечити, щоб вхідний сигнал приходив тільки тоді, коли перемикання каналів не проводиться. Або на час передачі взагалі зупиняти процес перебору каналів шляхом заборони проходження імпульсів з генератора на вхід лічильника, а після закінчення передачі знову дозволяти послідовний перебір каналів.

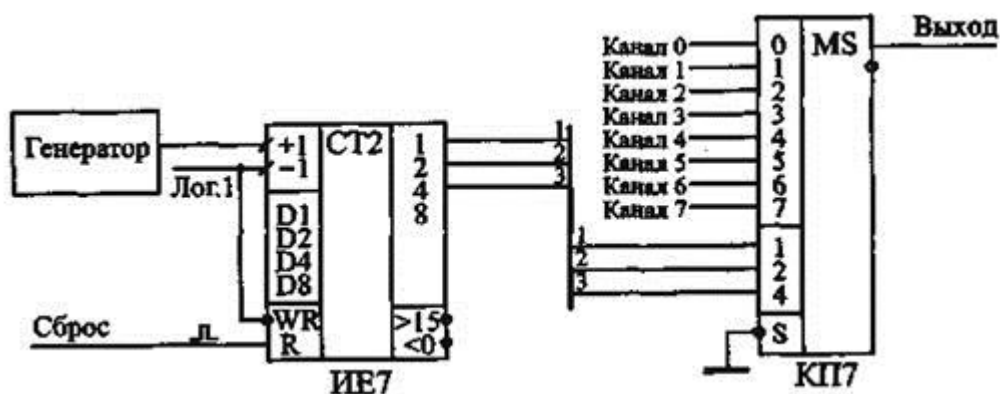


Рис.6.24. Схема послідовного перемикання вхідних каналів.

Другий приклад, який ми розглянемо, це схема, яка вирішує протилежну задачу — перемикання вхідних каналів (рис.6.24). Дана схема послідовно, циклічно передає один з восьми вхідних сигналів на вихід. Як і у попередньому випадку, перебір каналів здійснюється лічильником, тактованим сигналом з генератора. Безпосередньо комутація сигналів проводиться мультиплексором, на адресні входи якого подаються три розряди лічильника. Передбачена можливість початкового скидання схеми за допомогою сигналу Скидання.

У момент перемикання каналів тут також можливе спотворення (обрізання) комутуваних

сигналів. Тому бажано забезпечити передачу сигналів в мить, коли перемикання каналів немає. Або ж треба зупиняти процес перебору каналів на час прийому сигналу з вибраного каналу шляхом заборони проходження тактових імпульсів на вхід лічильника, а потім знову запускати перебір каналів.

Ще одне використання лічильників з цієї ж області полягає в організації так званої динамічної індикації.

Суть динамічної індикації полягає в наступному. Якщо використовується табло з декількох індикаторів (одиначних світлодіодів, світлодіодних семисегментних індикаторів, світлодіодних матричних індикаторів і т. д.), то зовсім не обов'язково, щоб всі ці індикатори горіли постійно, одночасно. Можна запалювати їх по черзі, що істотно скоротить споживаний всією схемою напругу живлення. Наприклад, якщо в кожний момент часу горить тільки один індикатор з восьми існуючих, то струм споживання індикаторів скоротиться у вісім разів. Враховуючи, що кожний світлодіод, що світиться, вимагає струм 1—5 мА, такий підхід може дати великий вигащ, особливо у разі матричних індикаторів, що містять декілька десятків світлодіодів. А інерційність людського ока призводить до того, що спалахи світла з частотою більше 20 Гц сприймаються як безперервне свічення. Отже при достатній частоті перебору індикаторів оку не буде помітне їх послідовне включення.

На рис.6.25 приведений приклад схеми динамічної індикації на восьми індикаторах. Для послідовного перебору індикаторів застосовується лічильник, сполучений з дешифратором. Вихідні сигнали дешифратора використовуються як сигнали, що дозволяють свічення індикаторів. Частота сигналу тактового генератора, з яким працює лічильник, повинна складати не менше 160 Гц, щоб кожний індикатор спалахував не рідше, ніж з частотою 20 Гц. При цьому не можна також вибирати дуже велику частоту тактового генератора, оскільки в моменти перемикання струм споживання мікросхем сильно зростає через паразитні ємності і при великій частоті весь ефект зниження споживання може піти нанівець.

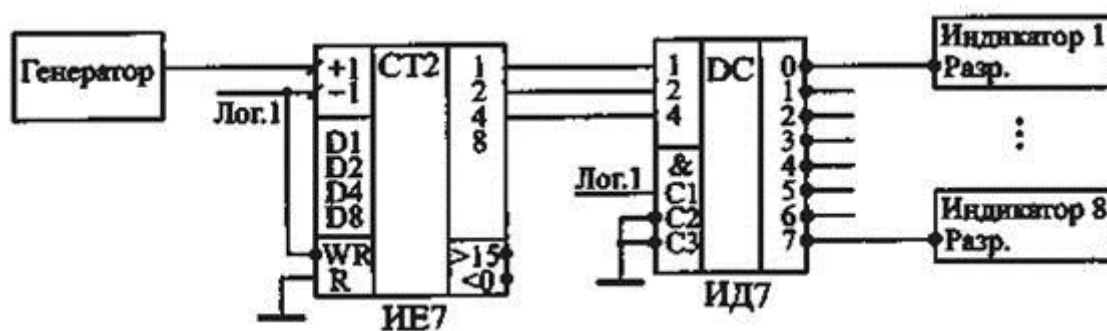


Рис.6.25. Схема динамічної індикації на восьми індикаторах.

Лічильники часто використовують також для організації всіляких таймерів, годинника, тобто схем рахунку часу, вихідний код яких необхідно час від часу читати. Для цього на вхід лічильника подається сигнал зразкової частоти з кварцового генератора. При цьому виникає наступна проблема. Якщо читання відбувається в той момент, коли лічильники перемикаються, то з виходів лічильників може бути порахований випадковий код, який не відповідає ні попередньому сталому значенню, ні подальшому сталому значенню. Можна, звичайно, на час читання коду зупинити рахунок, але тоді хід годинника зіб'ється.

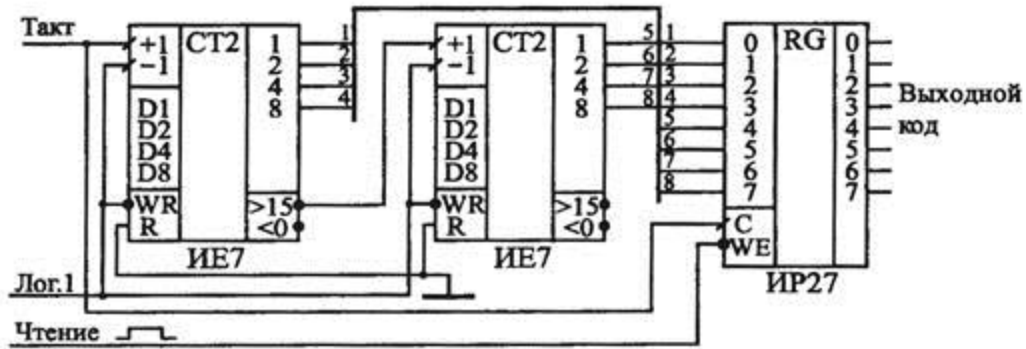


Рис.6.26. Схема таймера з читанням вихідного коду.

Приклад рішення даної проблеми приведений на рис.6.26. Тут вихідний код лічильника на кожному такті записується у вихідний регістр з дозволом запису IP27. А у момент читання коду (при позитивному сигналі Читання) запис в регістр забороняється. В результаті протягом всієї тривалості сигналу Читання вихідний код схеми буде незмінним, хоча лічильник продовжуватиме рахувати без жодних перешкод, і хід годинника не зіб'ється. Цікава особливість лічильників ІЕ6 і ІЕ7 полягає в тому, що вони можуть працювати не тільки в режимі рахунку, але і в режимі півторювача вхідних сигналів даних. В режимі паралельного запису в лічильник при нульовому сигналі на вході -WR вихідні сигнали лічильника повторюватимуть будь-які зміни вхідних сигналів даних, тобто лічильник працює по суті як регістр, що спрацьовує по рівню стробуючого сигналу. У ряді випадків така особливість дуже зручна, оскільки вона дозволяє істотно спростити апаратуру.

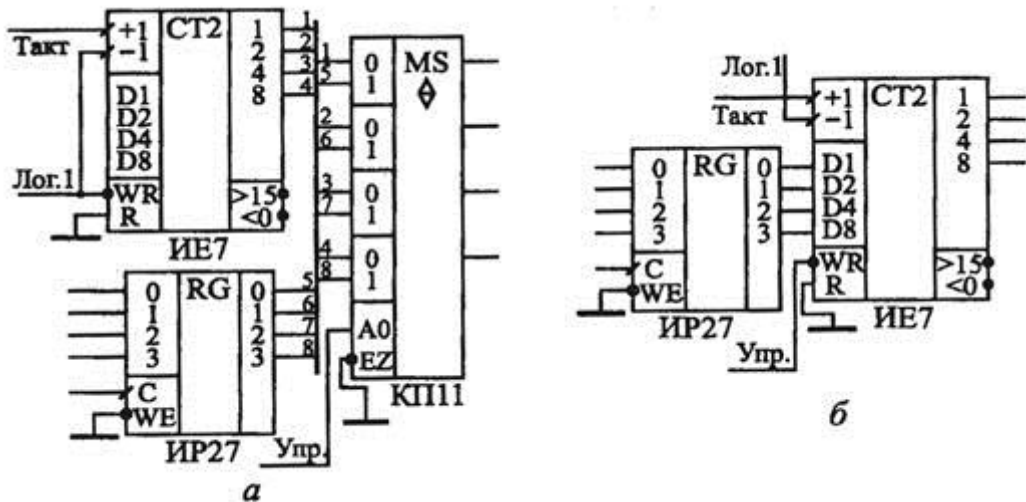


Рис.6.27. Варіанти мультиплексування вихідного коду лічильника із застосуванням мультиплексора (а) і без нього (б).

Нехай, наприклад, необхідно видавати на вхід схеми один з двох вхідних кодів: код з лічильника, або код з регістра (тобто потрібне мультиплексування двох кодів). Цю задачу можна вирішити, застосовуючи двохканальний мультиплексор (рис.6.27,а), а можна вирішити простіше — подаючи код з регістра на входи даних лічильника і переводячи в потрібний момент лічильник в режим паралельного запису (рис.6.27,б). В обох випадках перемикання кодів, що подаються на вихід схеми, проводиться сигналом Упр. Правда, в другому випадку лічильник відновлює свій рахунок (після зняття сигналу запису -WR) з коду, записаного в регістр. Якщо це неприйнятно, то можна скористатися входом скидання лічильника на нуль R.

Схема нарощування розрядності лічильника.

