

8. Як розрахувати коефіцієнт ділення програмованого лічильника що працює у режимі додавання коду?
9. Як розрахувати коефіцієнт ділення програмованого лічильника що працює у режимі віднімання коду?
10. Як розрахувати коефіцієнт ділення лічильника з зворотним зв'язком на основі логічних елементів?
11. Поясніть яким чином можна побудувати лічильник з довільним коефіцієнтом ділення використовуючи дешифратори двійкового коду?

11 ГЕНЕРАТОРИ ІМПУЛЬСІВ

11.1 Загальні зауваження

Електронний генератор виконує функції перетворення енергії джерела постійного струму в електричні коливання необхідної форми, частоти і потужності. Електронні генератори є невід'ємною частиною багатьох вимірювальних приладів: частотомірів, осцилографів, приладів часу, прийомопередавачів, систем індикації і т. д. Основними параметрами генераторів є: форма коливань, частота коливань f , відносна нестабільність частоти коливань $\Delta f/f$, корисна і споживана потужності.

Будь який генератор може працювати в одному з наступних режимів:

- чекання;
- автоколивань;
- синхронізації;
- ділення частоти.

У режимі чекання генератор працює з одним стійким станом рівноваги. Зовнішній імпульс, що запускає, викликає стрибкоподібний перехід генератора у новий стан, що не є стійким. У цьому стані, названому тимчасово стійким, генератор знаходиться протягом часу обумовленого параметрами схеми генера-

тора, що чекає. Таким чином, чекаючий генератор генерує тільки один імпульс визначеної тривалості при впливі на нього зовнішнього імпульсу, що запускає. Застосовують режим, що чекає, для формування часових інтервалів (формування імпульсів за тривалістю), для ділення частоти і для інших цілей (наприклад, для затримки сигналів).

В автоколивальному режимі, генератор має два стани і жодного стійкого. Генератор у такому режимі без зовнішніх впливів переходить з одного стану в інше і навпаки.

Генератор є нелінійним пристроєм. Узагальнена схема генератора містить підсилювач, частотнозадаюче коло позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ) і коло негативного зворотного зв'язку (НЗЗ). Коло ПЗЗ визначає умови збудження коливань, частоту і швидкість наростання амплітуди вихідного коливання генератора. Наростання амплітуди коливань буде відбуватися до тих пір, поки дія нелінійного негативного зворотного зв'язку не обмежить її зростання.

При включенні живлення виникають коливання, зумовлені нестационарними процесами: зарядом ємностей, індуктивностей, перехідними процесами в активних елементах. Ці коливання, потрапляючи на вхід підсилювача, посилюються останнім і через коло позитивного зворотного зв'язку знову надходять на вхід підсилювача.

Для виникнення коливань необхідні дві умови, які прийнято називати умовами балансу амплітуд і фаз

$$\begin{aligned} |K\beta| &= 1; \\ \arg(K\beta) &= \varphi_k - \varphi_\beta = 0, \end{aligned}$$

де K – коефіцієнт підсилення підсилювача, β – коефіцієнт передачі кола позитивного зворотного зв'язку, φ_k – фазовий зсув коливань підсилювачем, φ_β – фазовий зсув коливань колом позитивного зворотного зв'язку.

Для формування коливань потрібної частоти використовують кола, що

містять реактивні елементи – ємності або індуктивності. Якщо у генераторах використовують тільки RC-кола, то такі генератори мають назву мультівібратори.

Мультівібратори служать для одержання імпульсів прямокутної форми. Генератор містить як мінімум один реактивний елемент, наприклад конденсатор, ємність якого разом з активним опором, визначає тривалість вихідних імпульсів.

Для вимірювальних цілей найбільш важливою є відносна нестабільність частоти коливань $\Delta f/f$. За цим параметром генератори умовно можна розділити на три групи:

- низькостабільні $10^{-3} > \Delta f/f > 10^{-6}$;
- середньостабільні $10^{-6} > \Delta f/f > 10^{-9}$;
- високостабільні $\Delta f/f < 10^{-9}$.

Детальніше з характеристиками стабільних генераторів ми познайомимся у розділі присвяченому стабілізації частоти коливань.

11.2 Чекаючі мультівібратори, або одновібратори

Мультівібратори що працюють в чекаючому режимі отримали назву одновібраторів (ОВ). Розглянемо принципи побудови таких генераторів на різних елементах цифрової техніки.

11.2.1 Одновібратор на RS-тригері

Схема одновібратора, побудованого з використанням RS-тригера, наведена на рис. 11.1.

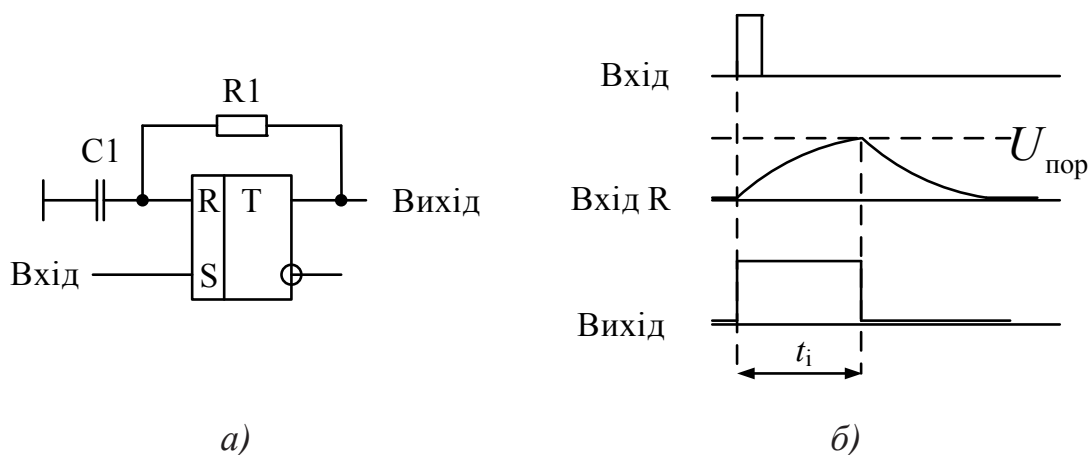


Рис. 11.1. Принципова схема одновібратора, побудованого на RS-тригері (а) та часові діаграми його роботи (б)

Схема працює наступним чином. Після приходу на вхід S тригера імпульсу запуску ОВ на виході схеми встановлюється рівень логічної "1" і починається заряд конденсатора C1 через резистор R1. Як тільки напруга на конденсаторі сягне порогового рівня тригер переключиться у стан "0" і схема перейде у початковий стан. Тривалість імпульсу на виході одновібратора буде зумовлена часом заряду конденсатора C1 до порогового рівня.

Знайдемо тривалість імпульсу цього одновібратора. Відомо, що напруга на конденсаторі описується виразом

$$U_c = A(1 - e^{-t/\tau}), \quad (11.1)$$

де A – амплітуда вхідного сигналу, τ – постійна часу RC-кола.

Для розрахунку тривалості імпульсу приймаємо $U_c = U_{\text{пор}}$, $t = t_i$, $A = U_{\text{вих}}$. Перепишемо (11.1) з урахуванням прийнятих позначень

$$U_{\text{пор}} = U_{\text{вих}}(1 - e^{-t_i/\tau}).$$

Вирішуючи рівняння відносно t_i отримаємо

$$t_i = \tau \ln \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{пор}}}.$$

Для мікросхем виготовлених за технологією КМОН вираз, з урахуванням того, що $U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}}$, а $U_{\text{пор}} = U_{\text{ж}}/2$ спрощується і має такий вигляд

$$t_i = \tau \ln \frac{U_{\text{ж}}}{U_{\text{ж}} - U_{\text{ж}} / 2} = \tau \ln 2 = 0,693\tau. \quad (11.2)$$

Однак у такого одновібратора є один суттєвий недолік. Оскільки час заряду та розряду конденсатора приблизно однаковий, то період слідування вхідних імпульсів не може бути меншим ніж $2t_i$. Це пов'язано з тим, що коли конденсатор С1 не повністю розрядиться до моменту приходу наступного вхідного імпульсу, то час його заряду до порогового рівня буде меншим, ніж при заряді від нульового рівня і тривалість вихідного імпульсу ОВ зменшиться, що неприпустимо.

Для зменшення часу розряду використовують прискорююче коло, що складається з діода VD1 та резистора R2 (рис. 11.2). Опір резистора R2 вибирається набагато меншим ніж опір R1 ($R_2 \ll R_1$). При заряді конденсатора С1 діод закритий і наявність резистора R2 не впливає на швидкість заряду, а при розряді діод відкривається і струм розряду протікає паралельно по двох колах. А оскільки $R_2 \ll R_1$, то струм через R2 набагато більший ніж через R1, то час потрібний для розряду С1 значно скорочується.

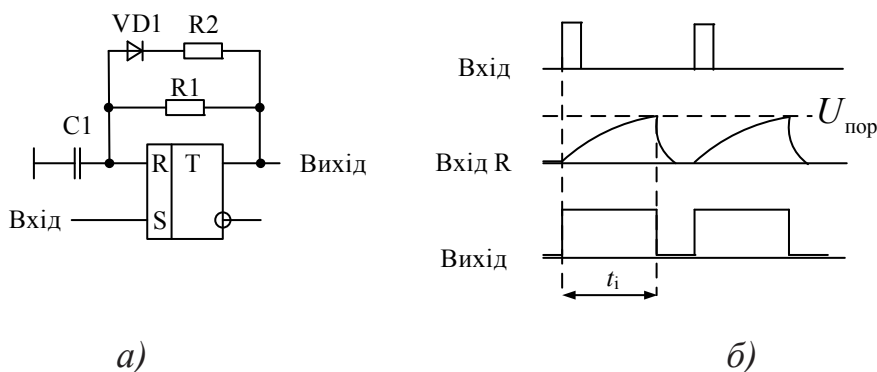


Рис. 11.2. Принципова схема одновібратора, побудованого на RS-тригері зі скороченим часом відновлення (а) та часові діаграми його роботи (б)

11.2.2 Одновібратор на RS-тригері з інверсними входами

Оскільки більшість мікросхем містять RS-тригери з інверсними входами, розглянемо одновібратор побудований на такому тригері. Використаємо вхід R для запуску одновібратора (для запуску можна використовувати будь-який вхід). Схема такого ОВ наведена на рис. 11.3.

На відміну від ОВ побудованого на RS-тригері після подачі на вхід імпульсу запуску починається розряд конденсатора C1. Тривалість імпульсу буде дорівнювати часу розряду конденсатора від максимальної напруги на виході Q до порогового рівня, що ілюструють часові діаграми роботи ОВ (рис. 11.3,б).

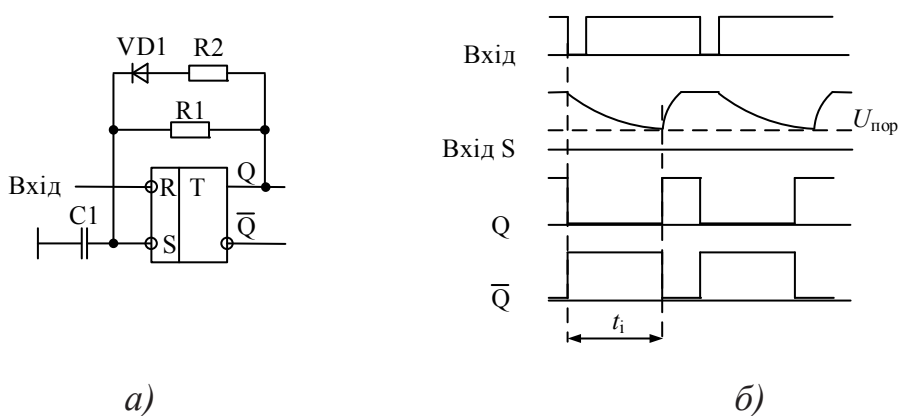


Рис. 11.3. Принципова схема одновібратора, побудованого на RS-тригері з інверсними входами (а) та часові діаграми його роботи (б)

Для обох розглянутих одновібраторів необхідно завжди виконувати умову яка полягає у тому, що тривалість вхідного імпульсу повинна бути завжди менша, ніж тривалість вихідного. Якщо $t_{вх} > t_i$, то порушується умова нормальної роботи тригера (на входах тригера встановлюється заборонений стан). Для RS-тригера заборонений стан $S = R = "1"$, а для RS-тригера з інверсними входами заборонений стан $S = R = "0"$.

Для того, щоб запобігти такій ситуації на вході ОВ треба встановити формувач коротких імпульсів (рис. 11.4 та 11.5).

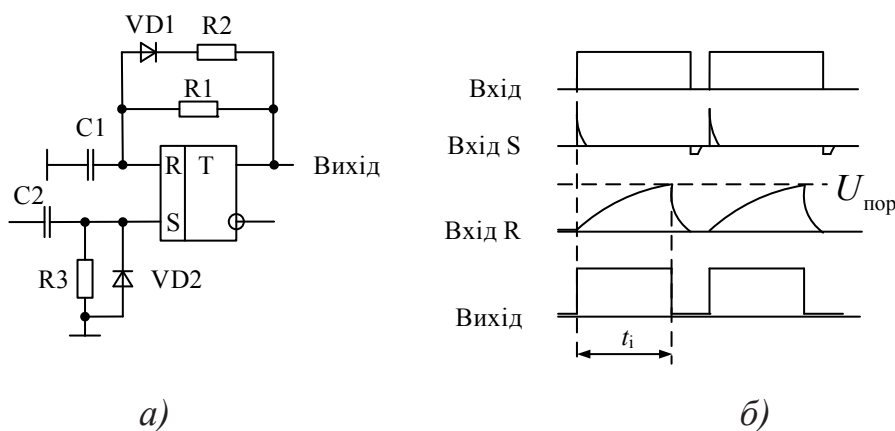


Рис. 11.4. Принципова схема одновібратора, побудованого на RS-тригері з формувачем коротких імпульсів на вході (а) та часові діаграми його роботи (б)

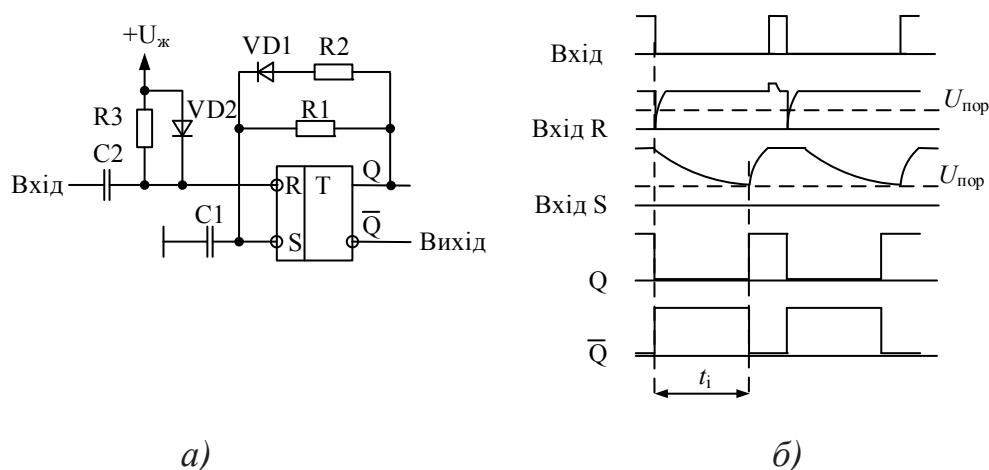


Рис. 11.5. Принципова схема одновібратора, побудованого на RS-тригері з інверсними входами і формувачем коротких імпульсів на вході (а) та часові діаграми його роботи (б)

Формувачі коротких імпульсів побудовані з використання диференціюючих кіл, а діоди VD2 призначені для обмеження напруги на входах тригерів у безпечних межах.

11.2.3 Одновібратор не чутливий до тривалості вхідного імпульсу

Мультивібратор не чутливий до тривалості вхідного імпульсу можна побудувати використовуючи RSD- або RSJK-тригер. На рис. 11.6 наведена принципова схема мультивібратора виконаного на RSD-тригері. Оскільки вхід С використовується для запуску одновібратора, то спрацьовувати ОВ буде по фронту вхідного сигналу.

Після подачі вхідного імпульсу у D-тригер записується "1" оскільки на вхід D подається напруга живлення. Після перемикання тригера у "1" починається заряд конденсатора C1. Тривалість вихідного імпульсу буде дорівнювати часу заряду конденсатора до порогового рівня. Як тільки напруга на вході R досягне $U_{пор}$ тригер перемикається у "0" і конденсатор швидко розряджається через коло R2, VD1. Часові діаграми що пояснюють роботу одновібратора наведені на рис. 11.6,б.

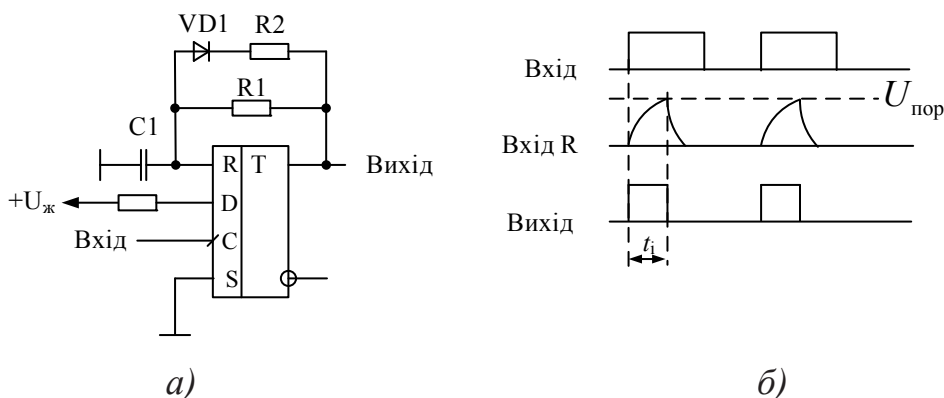


Рис. 11.6. Принципова схема одновібратора не чутливого до тривалості вхідного імпульсу (а) та часові діаграми його роботи (б)

11.2.4 Одновібратори на логічних елементах

Для побудови одновібраторів можна використати логічні елементи і інтегруючі або диференціюючі кола. На рис. 11.7 наведена схема одновібратора у якому використане диференціююче коло.

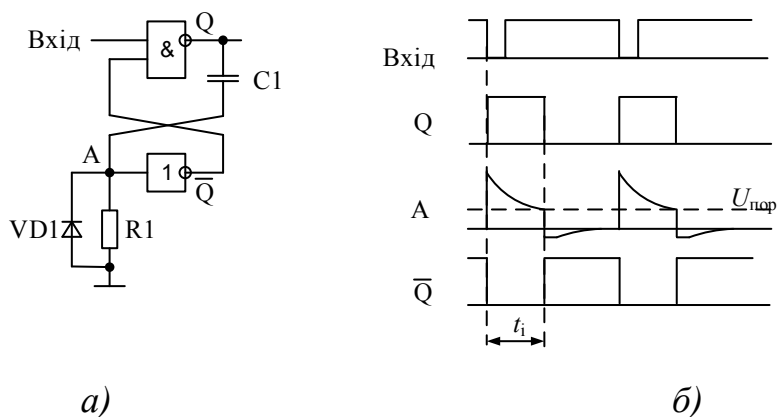


Рис. 11.7. Принципова схема одновібратора на логічних елементах (а)
та часові діаграми його роботи (б)

На вхід такого ОВ треба подавати низький рівень вхідної напруги для його запуску (рис. 1.17,б). До подачі вхідного сигналу у точці А напруга дорівнює "0", а отже на виході інвертора формується "1" і, як слідство, на виході Q формується логічний "0". При подачі на вхід елемента І-НІ нульового рівня на його виході Q формується рівень логічної "1" і цей стрибок напруги через диференціююче коло $C1$, $R1$ передається на вхід інвертора у точку А. На виході \bar{Q} буде сформовано "0", який буде утримувати логічний елемент І-НІ у стані $Q = "1"$ до закінчення формування вихідного імпульсу.

Починається заряд конденсатора $C1$ і, як слідство, напруга у точці А зменшується. Коли вона сягне порогу інвертор сформує на виході \bar{Q} "1" і на виході Q встановиться "0". Формування імпульсу закінчується. Перепад напруги з "1" в "0" з виходу І-НІ передається у точку А. Для запобігання ушкодження вхідних

кіл логічного елемента призначений діод VD1 (як правило вбудований у мікросхему). Він обмежує від'ємну напругу на вході А величиною $-0,7$ В.

Можна побудувати аналог RS-тригера на логічних елементах і реалізувати ОВ з використанням інтегруючого кола.

11.2.5 Одновібратори в інтегральному виконанні

В багатьох серіях мікросхем випускаються інтегральні мультівібратори, які є універсальними і дозволяють здійснювати їх запуск як фронтом, так і спадом вхідного сигналу, встановлювати їх у початковий стан у будь який момент часу. На рис. 11.8 наведене умовне графічне позначення інтегрального ОВ КР1533АГЗ (функціональний аналог ІМС 74LS123) та таблиця функціонування. В одній мікросхемі міститься два одновібратора з повторним запуском.

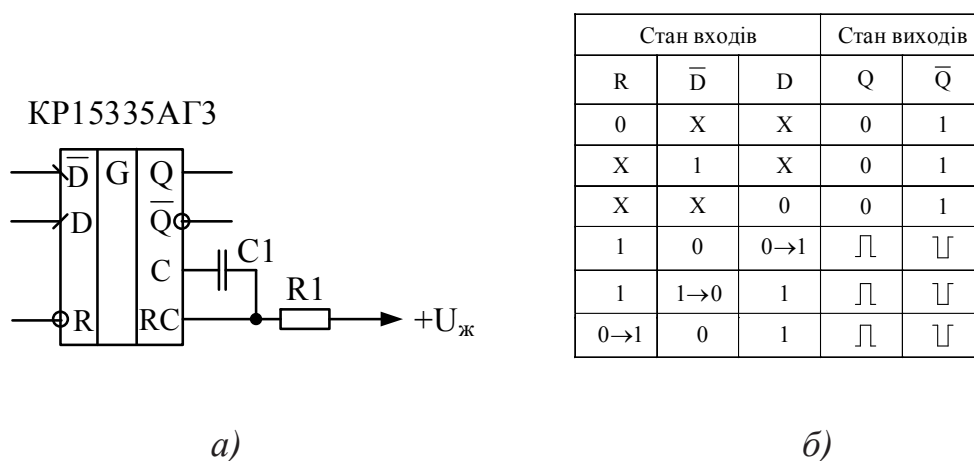


Рис. 11.8. Умовне графічне позначення інтегрального ОВ КР1533АГЗ (а) та таблиця його функціонування (б)

З таблиці функціонування слідує, що ОВ може запускатися як по фронту (вхід D і R), так і по спаду (вхід \bar{D}).

Залишилось пояснити що таке повторний запуск. Якщо після запуску ОВ під час формування імпульсу в момент часу t_1 (імпульс ще не закінчився на виході) на вхід запуску знову подати імпульс, то на виході, починаючи з цього моменту часу, буде продовжене формування вихідного імпульсу. Причому тривалість вихідного імпульсу в такій ситуації буде складати величину $t_{\text{вих}} = t_1 + t_i$,

де t_i – тривалість імпульсу на виході одновібратора при його запуску одиночним імпульсом, тобто тривалість зумовлена постійною часу RC-кола, під'єданого до входів мікросхеми (рис. 11.9).

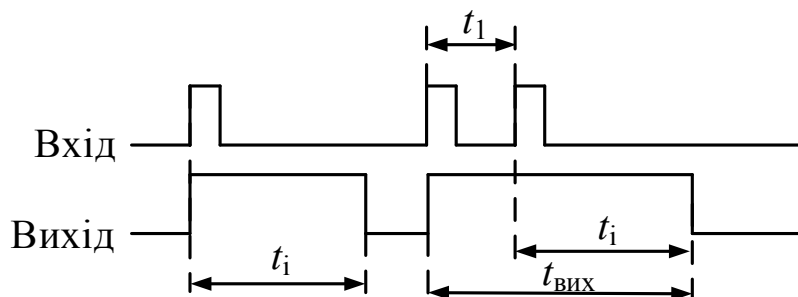


Рис. 11.9. Часові діаграми роботи ОБ з повторним запуском

Звісно що можна подавати не тільки 2, а довільну кількість імпульсів для продовження формування імпульсу на виході одновібратора.

11.3 Мультивібратори

11.3.1 Мультивібратори на RS-тригерах

Мультивібратори на RS-тригерах можна побудувати на основі схем, наведених у розділах 11.2.1 та 11.2.2. Для цього потрібно щоб сигнал з виходу одного одновібратора призводив до запуску другого одновібратора, для побудови яких використовуються входи S і R. На рис. 11.10 наведена схема мультивібратора, побудованого на RS-тригері з прямими входами та часові діаграми сигналів у різних точках схеми.

Період слідування вихідного сигналу дорівнює $T_{\text{вих}} = t_{i1} + t_{i2}$, а тривалість імпульсів з урахуванням (11.2) становить

$$t_{i1} = R_3 C_2 \ln \frac{U_{\text{ж}}}{U_{\text{ж}} - U_{\text{ж}} / 2} = R_3 C_2 \ln 2 = 0,693 R_3 C_2,$$

$$t_{i2} = R_1 C_1 \ln \frac{U_{ж}}{U_{ж} - U_{ж} / 2} = R_1 C_1 \ln 2 = 0,693 R_1 C_1.$$

Розглянемо роботу мультивібратора детально. Починати аналіз роботи з будь якого стану на виході. Припустимо що на виході Q встановлений рівень "1". Тоді конденсатор C1 заряджається і коли напруга на ньому досягне порогового рівня тригер переключиться у "0". В результаті цього на виході \bar{Q} встановиться "1" і почне заряджатися конденсатор C2, а оскільки на виході Q встановлюється "0", то конденсатор C1 швидко розряджається через прискорююче коло VD1, R2. У той момент часу коли напруга на конденсаторі C2 сягне порогового значення тригер переключиться у "1" і почнеться знову заряд конденсатора C1, а також швидкий розряд C2 через прискорююче коло VD2, R4. Весь процес повторюється.

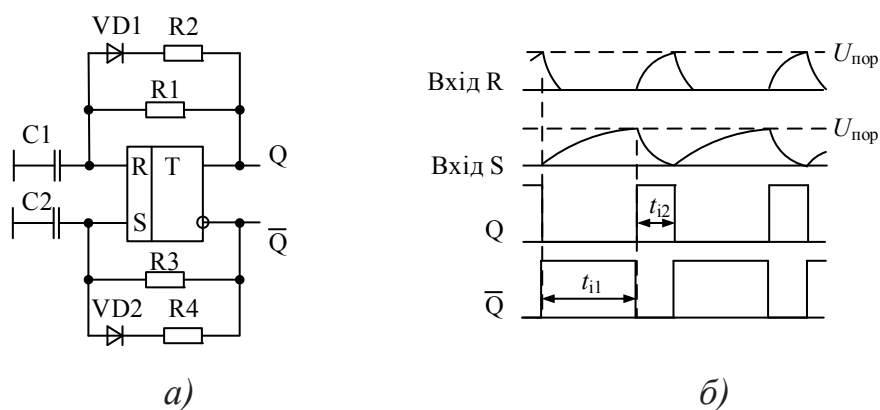


Рис. 11.10. Принципова схема мультивібратора на RS-тригері (а)
та часові діаграми його роботи (б)

Аналогічно будується мультивібратор на основі RS-тригера з інверсними входами, схема якого наведена на рис. 11.11.

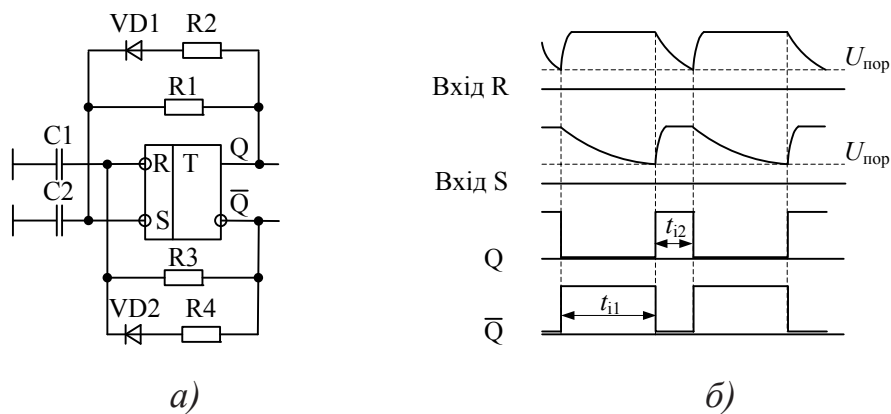


Рис. 11.11. Принципова схема мультивібратора на RS-тригері з інверсними входами (а) та часові діаграми його роботи (б)

Принцип дії аналогічний принципу дії одновібратора виконаного на такому тригері (див. розділ 11.2.2).

11.3.2 Мультивібратори на логічних елементах

При побудові мультивібраторів на логічних елементах використовується велика кількість схемних рішень. Розглянемо деякі з них.

На базі одновібратора на логічних елементах можна побудувати мультивібратор схема якого наведена на рис. 11.12.

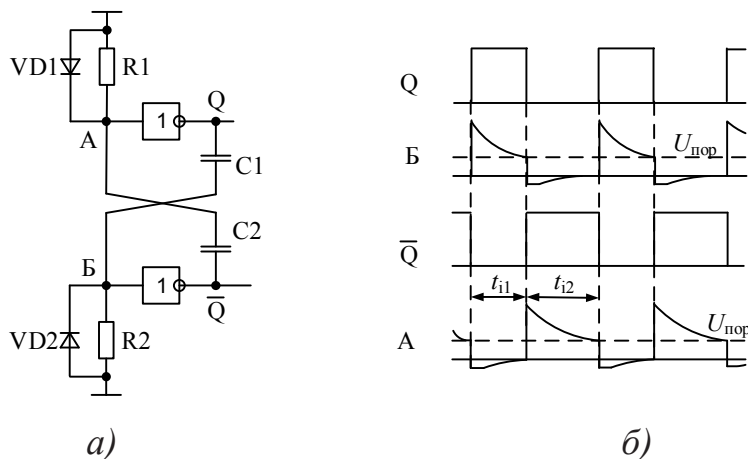


Рис. 11.12. Принципова схема мультивібратора на логічних елементах (а) та часові діаграми його роботи (б)

Тривалість імпульсів кожного плеча мультивібратора залежить від часу за

який конденсатори будуть заряджатися до напруги $U_c = U_{ж} - U_{пор}$. Якщо вибрати номінальні значення елементів таким чином щоб $R_1 = R_2$, $C_1 = C_2$, то такий мультивібратор називається симетричним, а тривалість імпульсів кожного плеча однакова $t_{i1} = t_{i2}$. Період слідування вихідного сигналу може бути розрахована за формулою

$$T_{вих} = 2RC \ln \frac{U_{вих}}{U_{пор}},$$

де $U_{вих}$ – амплітуда сигналу на виході інверторів.

Для КМОН-елементів $U_{вих} = U_{ж}$.

Використовуючи логічні елементи КМОН можна побудувати мультивібратор, що має тільки одне коло яке задає період слідування вихідних імпульсів. Схема такого мультивібратора наведена на рис. 11.13.

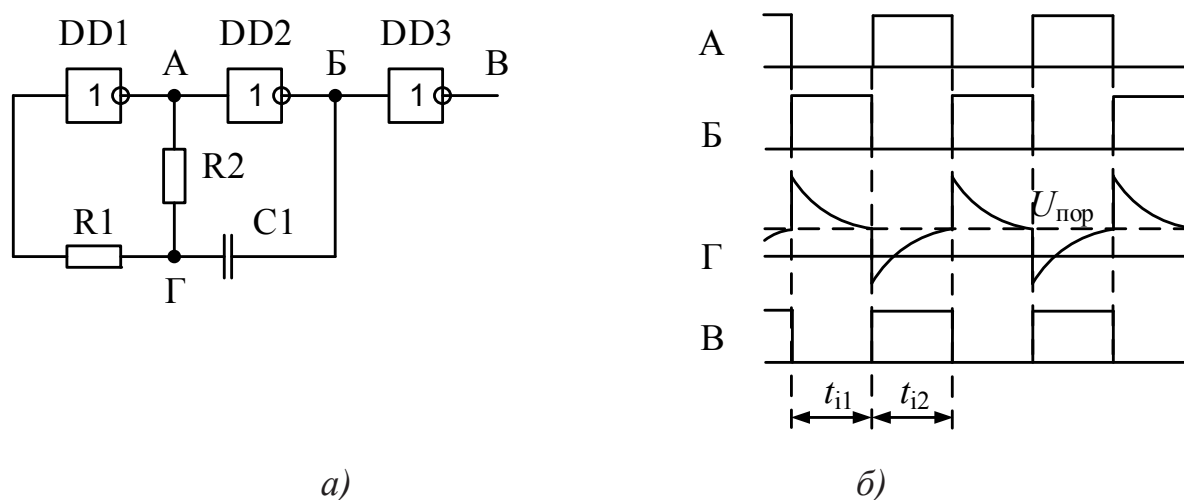


Рис. 11.13. Принципова схема мультивібратора на логічних елементах КМОН (а) та часові діаграми його роботи (б)

Розглянемо роботу схеми. Припустимо що напруга у точці Б стрибком змінилася з "0" у "1" (рис. 11.13,б). Тоді у точці А напруга буде дорівнювати "0", а на виході диференціюючого кола, що складається з резистора R2 та конденсатора C1, буде сформований стрибок напруги від рівня $U_{пор}$ до $U_{пор} + U_{ж}$.

Починається заряд конденсатора з виходу DD2→C1→R2→вихід DD1. Як слідство, напруга у точці Г починає зменшуватись і коли вона впаде до порогового рівня, то інвертор DD1 переключиться з "0" у "1", оскільки його вхід через резистор R1 під'єднаний до точки Г.

Після цього на виході Б напруга стрибком переходить з "1" у "0" і цей стрибок через коло C1, R2 передається у точку Г. Починається перезаряд конденсатора C1 і напруга у точці Г починає збільшуватись. Як тільки напруга у цій точці зросте до порогового рівня, інвертор DD1 переключиться у "0", на виході DD2 формується "1" і весь процес повторюється.

Інвертор DD3 призначений для запобігання впливу опору навантаження, що підключається на виході генератора, на частоту вихідного коливання. Резистор R1 призначений для запобігання розряду конденсатора C1 через захисні діоди, що знаходяться у середині інвертора й для запобігання розряду конденсатора C1 через захисні діоди, що встановлені на вході інвертора (у середині мікросхеми) DD1. Для стабільної роботи мультивібратора потрібно виконання умови $R1 > R2$.

Для схеми наведеної на рис. 11.13

$$t_{i1} \quad t_{i2},$$

де

$$t_{i1} = R_2 C_1 \ln \frac{U_{ж} + U_{пор}}{U_{пор}},$$

$$t_{i2} = R_2 C_1 \ln \frac{2U_{ж} - U_{пор}}{U_{ж} - U_{пор}}.$$

Якщо $U_{пор} = U_{ж}/2$, то період слідування вихідних імпульсів буде дорівнювати $T_{вих} = t_{i1} + t_{i2} = 2,2R_2C_1$.

Якщо виключити резистор R1 зі схеми і з'єднати точку Г зі входом DD1,

то буде виконуватись умова

$$t_{i1} = t_{i2} = R_2 C_1 \ln \frac{U_{ж}}{U_{ж} / 2} = 0,693 R_2 C_1,$$

а період слідування вихідних імпульсів буде складати $T_{вих} \approx 1,4 R_2 C_1$.

У всіх розглянутих раніше схемах генераторів логічні елементи працюють у ключовому режимі. Однак їх можна використати і у лінійному, чи близькому до лінійного режимі. Схема такого генератора наведена на рис. 11.14.

Генератор фактично складається з двох інвертуючих підсилювачів. Резистори R1 та R2 встановлюють робочу точку інверторів на лінійній ділянці амплітудної характеристики. Конденсатор C2 формує позитивний зворотній зв'язок і вихідний сигнал підсилювача повертається на вхід (завдяки двом каскадам підсилювача зсув фаз між входом та виходом дорівнює 2π , що забезпечує баланс фаз генератора). Логічний елемент DD3 є буферним, тобто, він призначений для покращення форми вихідного сигналу. Часові діаграми роботи генератора наведені на рис. 11.14,б.

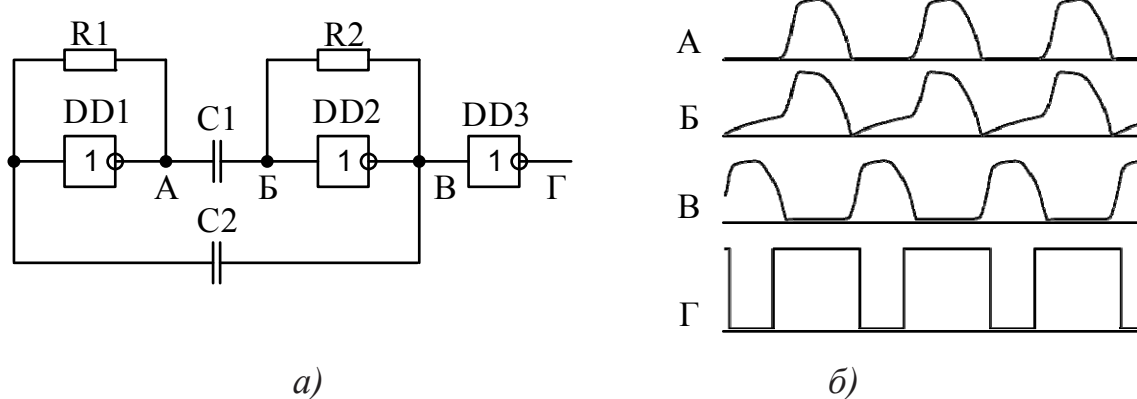


Рис. 11.14. Принципова схема мультивібратора на логічних елементах ТТЛ, що працюють у лінійному режимі, (а) та часові діаграми його роботи (б)

Ще один приклад побудови генератора на логічних елементах що працюють у лінійному режимі наведено на рис. 11.15,а. Схему зібрано на трьох елементах І-НІ. Часові діаграми роботи генератора показані на рис. 11.15,б. Принцип роботи генератора полягає в наступному. Припустимо в початковий момент часу на виході елементу DD3 встановлений рівень логічного нуля. Це означає, що на виході елементу DD2 рівень логічної одиниці. Отже, конденсатор С1 буде заряджатись і на вході елементу сформується стрибок напруги, який переведе елемент DD1 в стан логічного нуля.

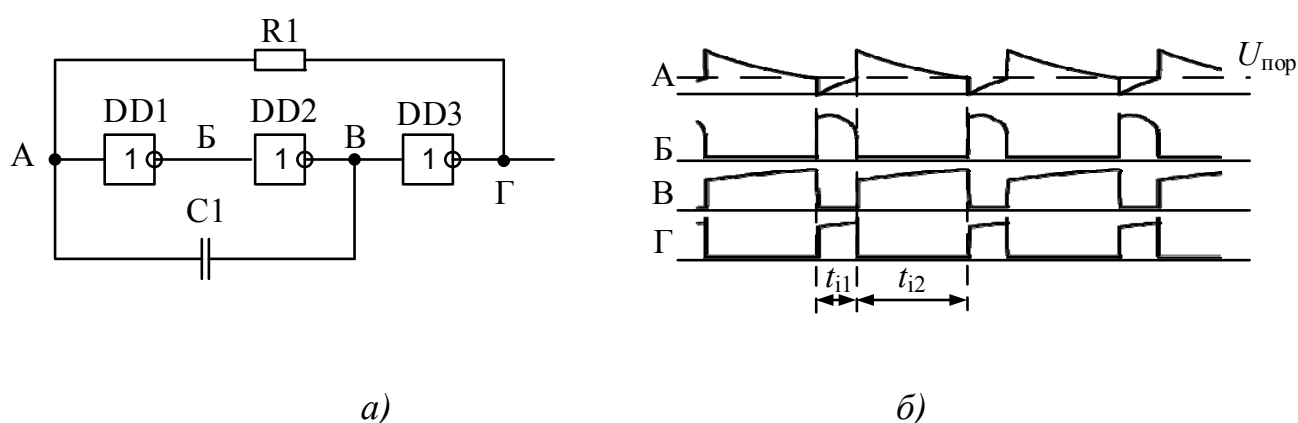


Рис. 11.15. Схема генератора на трьох елементах І-НІ (а)
та часові діаграми його роботи (б)

Заряд конденсатора продовжується до тих пір, поки напруга на вході DD1 не буде дорівнювати $U_{пор}$. В цей час на правій обкладинці конденсатора позитивний потенціал, а на лівій – негативний (сам конденсатор заряджений до напруги $U_1 - U_{пор}$), де U_1 – вихідна напруга на виході логічного елемента. Для КМОН елементів $U_1 = U_{ж}$, а для ТТЛ залежить від опору навантаження і серії мікросхем. Регламентується тільки мінімальний рівень логічної "1" не менше ніж 2,4 В.

Коли на вході DD1 сформується рівень логічного нуля (відповідно на виході DD2 – логічний нуль, а на виході DD3 – логічна одиниця), то конденсатор почне перезаряджатись від напруги $-(U_1 - U_{пор})$ до $U_{пор}$. В кінці перехідного процесу ліва обкладинка буде заряджена позитивно, а права – негативно. Коли на вході DD1 знову з'явиться рівень логічної одиниці, то в точці Б сформується

логічний нуль, а в точці В – логічна одиниця. Конденсатор знову перезаряджається. Але в точці А сформується стрибок напруги, який дорівнює $U_1 + U_{\text{пор.}}$ (оскільки на конденсаторі залишилась напруга від попереднього процесу).

Обчислимо період слідування сигналу на виході генератора. Він складається з двох часових інтервалів. В момент, коли на виході генератора (точка Г) – логічна одиниця, потенціал точки А визначається напругою на конденсаторі. Оскільки умови на конденсаторі не є нульовими, то знайдемо функцію зміни напруги на конденсаторі. Загальний розв'язок диференційного рівняння для напруги на конденсаторі

$$U_C(t) = U_1 + Ae^{-t/R_1C_1}.$$

В момент часу $t = 0$, $U_C(t) = -(U_1 - U_{\text{пор.}})$. Отже, константа

$$A = -(2U_1 - U_{\text{пор.}}).$$

Тривалість імпульсу на виході генератора визначається при умові $U_C(t) = U_{\text{пор.}}$.

$$U_{\text{пор.}} = U_1 + (2U_1 - U_{\text{пор.}})e^{-t/R_1C_1},$$

Звідки

$$t_{\text{il}} = R_1C_1 \ln \frac{2U_1 - U_{\text{пор.}}}{U_1 - U_{\text{пор.}}}.$$

В ті моменти часу, коли на виході генератора формується логічний "0", потенціал точки А визначається напругою на резисторі

$$U_R(t) = U_1 - U_{\text{пор.}} e^{-t/R_1C_1},$$

звідки

$$t_{i2} = R_1 C_1 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_{\text{пор}}} .$$

Період сигналу дорівнює $T_{\text{вих}} = t_{i1} + t_{i2}$.

11.3.3 Мультивібратори на основі інтегральних одновібраторів

Використовуючи мікросхему КР1533АГЗ що містить два одновібратора, можна побудувати мультивібратор, схема якого і часові діаграми наведені на рис. 11.16.

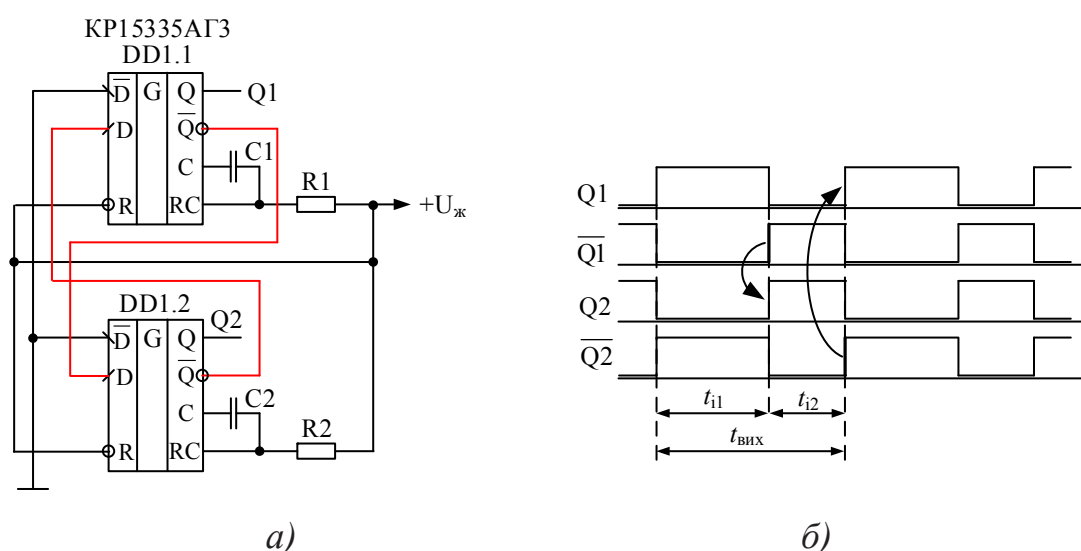


Рис. 11.16. Схема мультивібратора на мікросхемі інтегрального одновібратора КР1533АГЗ (а) та часові діаграми його роботи (б)

Принцип побудови такого генератора дуже простий. Вихідний сигнал верхнього одновібратора запускає формування імпульсу другим одновібратором і навпаки (рис. 11.16,б).

11.3.4 Мультивібратори на основі інтегрального таймера NE555

Функціональна схема інтегрального таймера NE555 наведена на рис. 11.17. Функціональні аналоги що випускаються в межах СНД 1006ВИ1 та 1087ВИ2.

Основні технічні характеристики мікросхеми NE555:

- напруга живлення 4,5...18 В;
- максимальний вихідний струм 200 мА;
- споживаний струм до 206 мА.

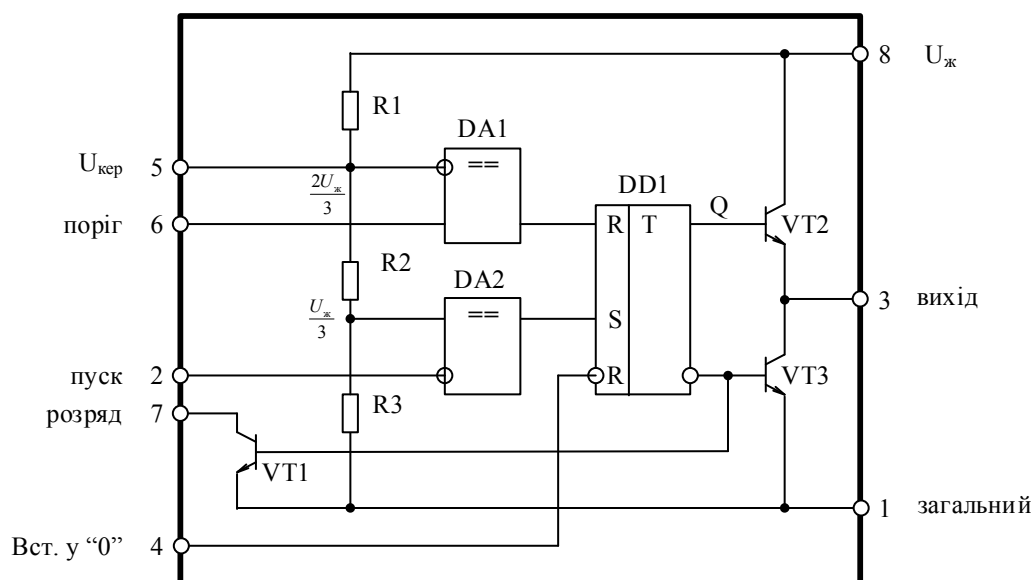


Рис. 11.17. Функціональна схема інтегрального таймера NE555

Серед функціональних блоків виділяють RS-тригер (DD1), компаратори (DA1 і DA2), вихідний підсилювальний каскад, побудований за двотактною схемою, і додатковий транзистор VT1. Призначення транзистора VT1 – розряд частотнозадаючого конденсатора при використанні мікросхеми в якості генератора. Встановлення тригера у "0" (скидання) відбувається при подачі логічної одиниці (рівень від $U_{ж}/2 \dots U_{жив}$) на вхід R. Якщо тригер встановлений у "0", то

на виході мікросхеми (вив. 3) формується низький рівень напруги (транзистор VT3 відкритий).

За функціональною схемою мікросхеми важко зрозуміти в чому ж вона унікальна. Вся оригінальність полягає у способі управління тригером, а саме формування керуючих сигналів. Керуючі сигнали формуються на виходах компараторів DA1 і DA2, на один з входів яких подана опорна напруга. Щоб сформувати керуючі сигнали необхідно отримати на входах тригера (виходи компараторів) сигнали високого рівня.

Для запуску таймера необхідно подати на вхід "Пуск" (вив. 2) напругу в межах $0 \dots (U_{ж}/3)$. Цей сигнал призводить до спрацьовування тригера і на його виході формується сигнал "1". Сигнал більше ніж $U_{ж}/3$ не викличе яких-небудь змін у стані мікросхеми, тому що опорна напруга для компаратора DA2 становить $U_{ж}/3$.

Зупинка таймера відбувається після скидання тригера. Для цього напруга на вході $U_{пор}$ (вив. 6) має перевищити $2U_{ж}/3$ (опорна напруга для компаратора DA1 становить $2U_{ж}/3$). При скиданні тригера на виході мікросхеми встановлюється сигнал низького рівня і відбувається розряд частотнозадаючого конденсатора.

Регулювання опорної напруги може проводитися шляхом підключення додаткового резистора або джерела живлення до виводу 5 мікросхеми.

На рис. 11.18 показана схема одноібратора, побудованого з використанням таймера NE555. Пусковий імпульс подається на вхід нижнього компаратора (вив. 2), інверсний вхід R (вхід скидання) тригера (вив. 4) не використовується і на нього подається напруга живлення. Інверсний вхід верхнього компаратора (вив. 5), щоб уникнути впливу завад, заземлюється по змінному струму через фільтруючий конденсатор C1. Транзистор T1 виконує функції розрядного ключа (рис. 11.17) і підключається паралельно частотнозадаючому конденсатору C2.

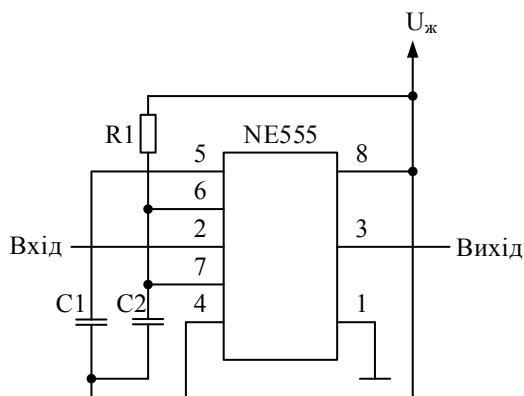


Рис. 11.18. Принципова схема одновібратора на таймері NE555

Принцип дії одновібратора ілюструється часовими діаграмами, що наведені на рис. 11.19.

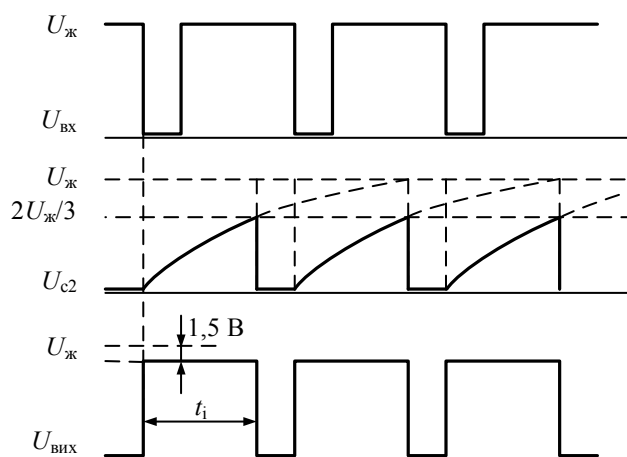


Рис. 11.19. Часові діаграми роботи одновібратора на базі таймера NE555

У початковому стані на виході таймера встановлений рівень логічного "0", а транзистор Т1 (рис. 11.17) відкритий і напруга на конденсаторі С2 дорівнює нулю.

Після приходу негативного фронту пускового імпульсу $U_{вх}$ компаратор DA2 переключиться у "1" і встановлює тригер DD1 у "1". На виході таймера встановлюється високий рівень ($U_{ж} - 1,5 \text{ В}$), а транзистор Т1 закривається і починається заряд конденсатора С2 через резистор R1 від джерела живлення.

Як тільки напруга на конденсаторі C_2 сягне значення $2U_{ж}/3$, компаратор DA1 переключиться у "1" і, як слідство, тригер переключиться у "0", вихідна напруга таймера стане близькою до нуля. Транзистор T1 (вив. 7) відкривається і конденсатор C_2 швидко розряджається.

Якщо наступний вхідний імпульс прийде раніше, ніж закінчиться формування вихідного імпульсу, то одновібратор на нього не відреагує.

Тривалість вихідного імпульсу можна знайти з рівняння для напруги на конденсаторі

$$U_c = U_{ж}(1 - e^{-t/\tau}),$$

де $\tau = R_1C_2$ – постійна часу RC-кола.

Оскільки заряд конденсатора закінчується коли напруга на ньому стає рівною $2U_{ж}/3$, то можна скласти рівняння

$$U_{ж}(1 - e^{-t/\tau}) = \frac{2U_{ж}}{3},$$

звідки

$$t_i = \tau \ln 3 = 1,1R_1C_2.$$

Використовуючи таймер NE555 можна побудувати мультивібратор принципова схема якого наведена на рис. 11.20.

Для поліпшення форми вихідних імпульсів резистор, що задає струм заряду конденсатора C_2 , розділений на дві частини. Після відкриття транзистора T1 (рис. 11.17) конденсатор C_2 розряджається через резистор R2. Якщо транзистор T1 закритий, конденсатор буде заряджатися через послідовно з'єднані R1 і R2.

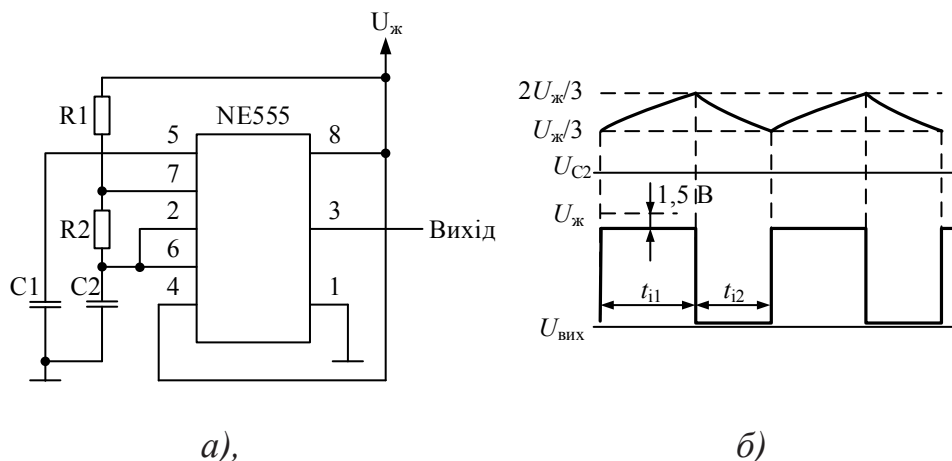


Рис. 11.20. Принципова схема мультивібратора на базі таймера NE555 (а) та часові діаграми його роботи

Якщо $U_c < U_{ж}/3$, включається нижній компаратор і виключається верхній (рис. 11.17), але коли $U_c > 2U_{ж}/3$, стан компараторів змінюється на протилежний. Відповідно сформованим компараторами сигналам перемикається тригер. Тому в моменти, коли $U_c > 2U_{ж}/3$, відкривається транзистор Т1 і конденсатор С2 починає розряджатися.

За час заряду конденсатора (на рис. 11.20 позначено як t_{i1}) напруга U_c на ньому змінюється в межах $U_{ж}/3 < U_c < 2U_{ж}/3$. Оскільки U_c змінюється тільки у вказаних межах, то можна записати

$$\frac{U_{ж}}{3} = \frac{2U_{ж}}{3} (1 - e^{-t_{i1}/\tau_{зар}}),$$

де $\tau_{зар} = (R_1 + R_2)C_2$.

З попереднього рівняння неважко розрахувати тривалість імпульсу t_{i1}

$$t_{i1} = \tau_{зар} \ln 2 = 0,693(R_1 + R_2)C_2.$$

Аналогічно можна визначити час розряду конденсатора через резистор R2

$$t_{i2} = \tau_{\text{позр}} \ln 2 = 0,693R_2C_2.$$

Таким чином, період слідування імпульсів на виході генератора буде дорівнювати

$$T_{\text{вих}} = t_{i1} + t_{i2} = 0,693(R_1 + 2R_2)C_2,$$

а частота слідування імпульсів

$$f_{\text{вих}} = \frac{1}{t_{i1} + t_{i2}} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C_2}.$$

Треба звернути увагу на те, що частота вихідного сигналу такого генератора від напруги живлення не залежить.

Скважність послідовності імпульсів на виході (рис. 11.20) визначимо щодо тривалості позитивного вихідного імпульсу

$$Q = \frac{t_{i1} + t_{i2}}{t_{i1}} = \frac{R_1 + 2R_2}{R_1}.$$

Таким чином, у схемі рис. 11.20 неможливо отримати значення $Q = 2$, оскільки таке значення можна отримати тільки при $R_1 = 0$, але тоді схема стає непрацездатною.