

Лекція 22

Інтегральні таймери

Мета лекції: вивчення побудови та функціонування імпульсних пристроїв на основі інтегрального таймера.

План лекції:

22.1 Типи таймерів.

22.2 Інтегральний таймер.

22.2.1 Автогенератор.

22.2.2 Перетворювач напруги в частоту.

22.2.3 Очікуючий мультівібратор.

22.3 Контрольно-навчальний тест до лекції 22.

22.1 Типи таймерів.

Таймером називається електронний пристрій, призначений для формування імпульсних сигналів з регульованими тривалістю й шпаруватістю. Під дане визначення підпадають як відповідні вузли цифрових пристроїв, так і спеціалізовані ІС, що використовуються для розробки всіляких часозадаючих пристроїв.

Всі існуючі на сьогоднішній день таймери можна розбити на два класи: одноктактні; багатотактні з вбудованим лічильником.

Одноктактні таймери призначені для формування часових інтервалів тривалістю від одиниць мікросекунди до одиниць години. За своєю сутністю вони представляють комбінацію аналогової частини (компаратора) із цифровою послідовною схемою. Можливий варіант структурної схеми такого пристрою показаний на рис. 22.1.

Тривалість формованого таким пристроєм часового інтервалу визначається параметрами зовнішнього часозадаючого RC-ланцюга. За активним значенням сигналу запуску $U_{зап}$ RS-тригер встановлюється в одиничний стан, що призводить до розмикання ключа S1. Починається заряд конденсатора С зовнішнього часозадаючого ланцюга. У момент, коли напруга на конденсаторі досягає рівня опорної напруги $U_{оп}$ спрацьовує компаратор DA1, і його вихідний сигнал скидає RS-тригер в нульовий стан. Ключ S при цьому замикається і конденсатор С розряджається.

Одноктактний таймер, побудований за описаною схемою, може формувати на виході тільки одиночні імпульси. Для забезпечення можливості формування послідовності імпульсів схема пристрою повинна бути доповнена іншим компаратором.

Багатотактні таймери або таймери з вбудованими лічильниками розроблені для формування імпульсів наднизької частоти із тривалістю імпульсу до декількох десятків годин. У свою чергу, їх можна розбити на дві підгрупи: програмувальні таймери, у яких часовий інтервал задається програмним способом. У найпростішому випадку це здійснюється установкою на виходах лічильника зовнішніх перемичок, або спеціалізовані таймери, лічильник яких має чітко заданий коефіцієнт перерахунку.

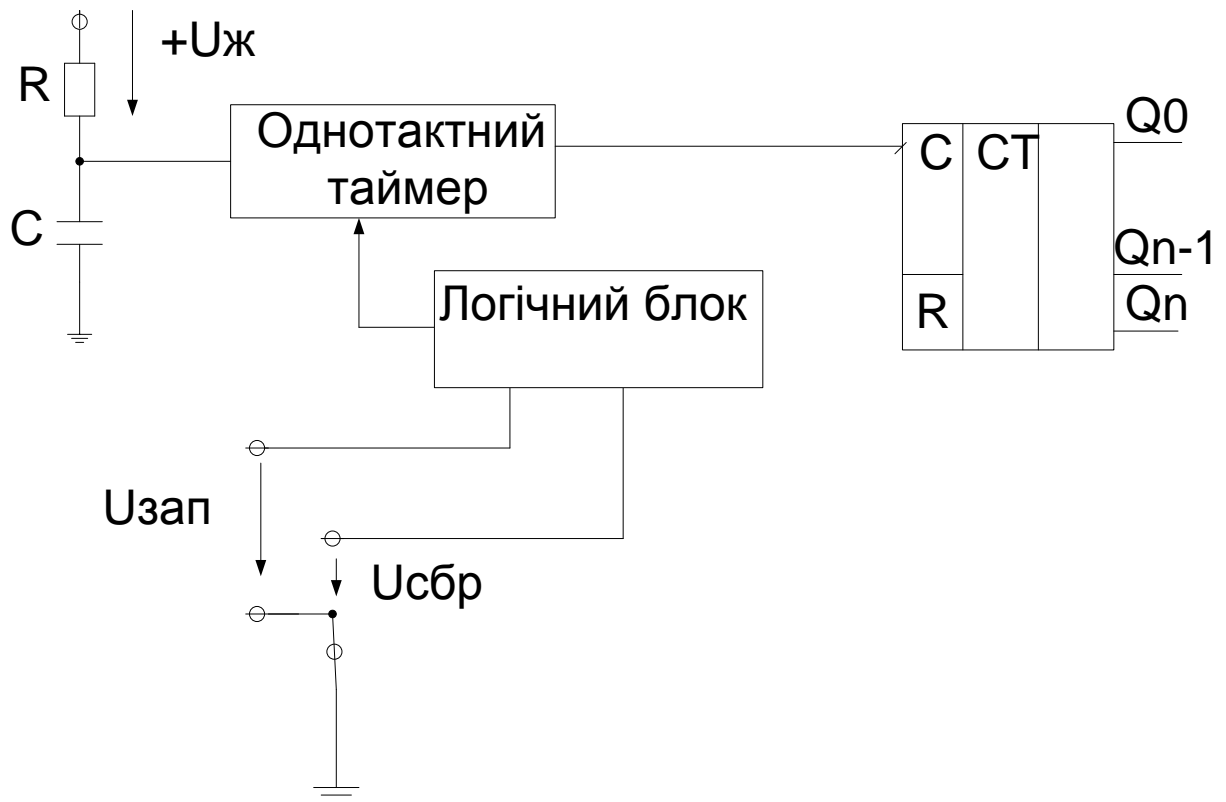


Рисунок 22.2 - Структурна схема багатотактного таймера

Структурна схема багатоактного таймера (рис. 22.2) звичайно містить однотактний таймер і двоїчний лічильник, спільна робота яких організується додатковим логічним блоком.

В багатотактному таймері фактично проходить множення постійної часу зовнішнього RC-кола на модуль лічіння лічильника СТ. При подачі запускаючого сигналу $u_{зап}$ включається мультивібратор, виконаний на однотактному таймері. Його вихідні імпульси надходять на лічильний вхід лічильника. На виходах останнього може бути сформовано декілька послідовностей імпульсів з періодом від T_1 до $(2^N - 1)T_1$, де T_1 - період імпульсів, що знімають із виходу однотактного таймера; N- число тригерів у лічильнику СТ. Далі зупинимося тільки на схемах, побудованих з використанням однотактних таймерів.

22.2 Інтегральний таймер.

Схеми, що використовують однотактний таймер, розглянемо на прикладі серійної промислової схеми ІС типу 1006ВІ1. Ця схема являє собою аналог схеми, що широко використовується закордоном ІС однотактного таймера 555 (за номером серії першого виготовлювача). За кількістю областей застосування ця ІС може конкурувати навіть зі стандартними операційними підсилювачами. Функціональна схема таймера 1006ВІ1 наведена на рис. 22.3.

Таймер містить два компаратори (DA1-компаратор верхнього рівня та DA2 - компаратор нижнього рівня) з фіксованими за допомогою діляника напруги на резисторах R1, R2 і R3 порогами спрацьовування. Оскільки виконується умова $R1 =$

$R_2=R_3$, то пороги спрацьовування компараторів верхнього $U_{ПОР_В}$ і нижнього $U_{ПОР_Н}$ рівнів визначаються виразом $U_{ПОР_В} = 2U_{Ж} / 3, U_{ПОР_Н} = U_{Ж} / 3$.

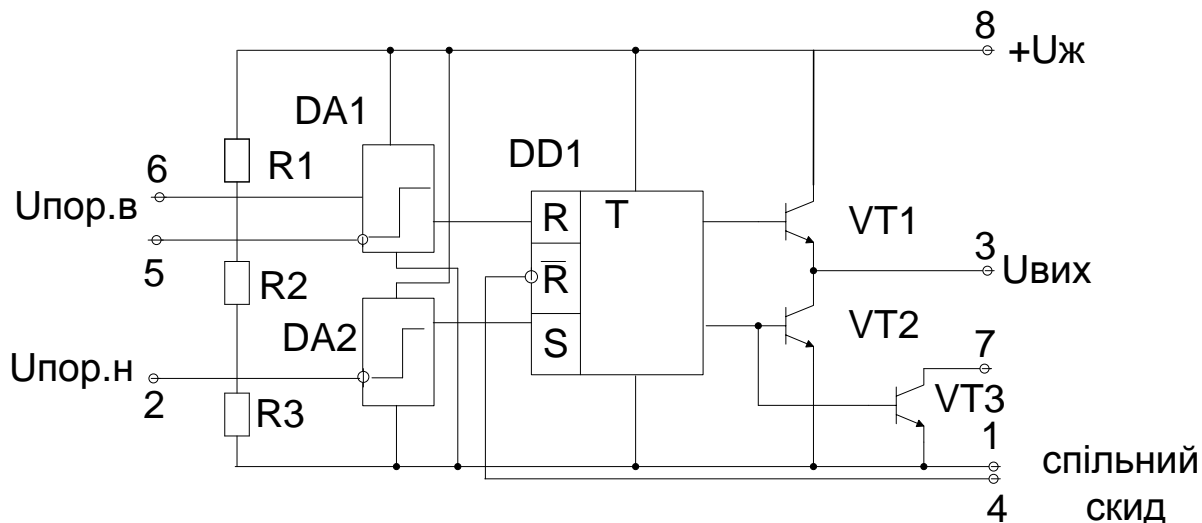


Рисунок 22.3 - Структурна схема одноканального таймера типу 1006B11

Виходи компараторів керують станом асинхронного RS-тригера (DDI), що, у свою чергу, формує керуючі напруги на вході двотактного підсилювача потужності на транзисторах VT1 і VT2. Крім цього, RS-тригер додатково має інший інверсний асинхронний вхід скидання. Сигнал з інверсного виходу тригера використовується для керування розрядним транзистором VT3. Залежність вихідного сигналу таймера від комбінації його вхідних сигналів пояснюється табл. 22.1.

Описана комбінація аналогових і цифрових пристроїв дозволяє будувати широкий спектр різних схем формувачів імпульсів. Розглянемо деякі з них.

22.2.1 Автогенератор. Існує безліч схем автоколивних мультивібраторів, виконаних на основі ІС таймера. Розглянемо найбільш просту з них, що вимагає для своєї побудови тільки часозадаюче RC- коло (рис. 22.4а).

Таблиця 22.1. Режимы роботи таймера

$U_{СБ}$	$U_{ПОР_Н}$	$U_{ПОР_В}$	$U_{ВИХ}$	VT3
Лог. 0	X	X	Лог. 0	Насичений
Лог. 1	$< U_{Ж} / 3$	$< 2U_{Ж} / 3$	Лог. 1	Закритий
Лог. 1	$> U_{Ж} / 3$	$> 2U_{Ж} / 3$	Лог. 0	Насичений
Лог. 1	$> U_{Ж} / 3$	$< 2U_{Ж} / 3$	Вихідний сигнал визначається попередніми значеннями $U_{ПОР_Н}$ і $U_{ПОР_В}$	

X- байдужий стан

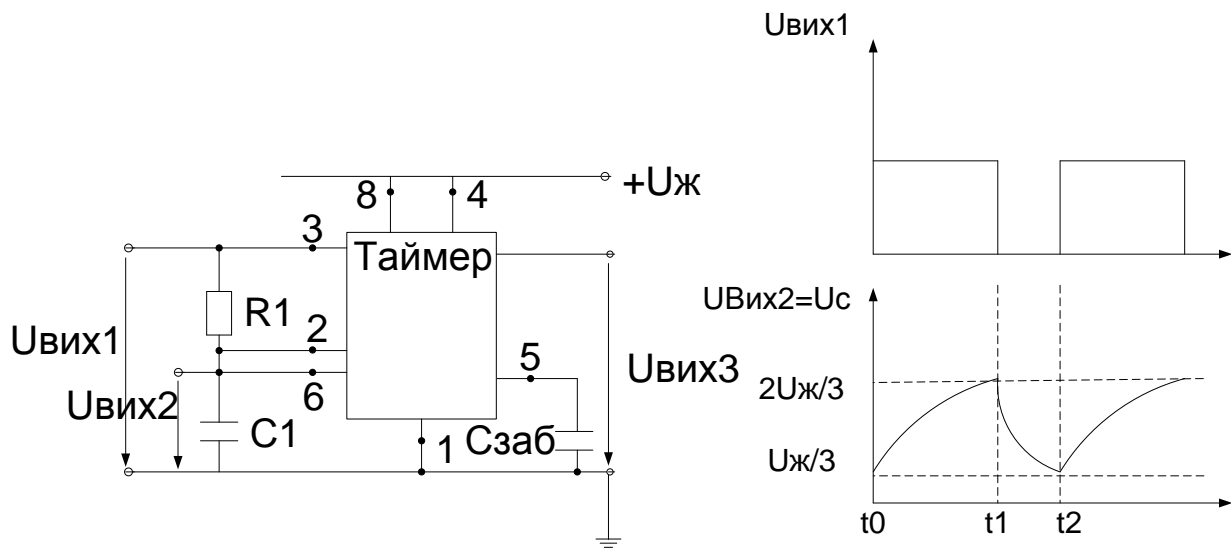


Рисунок 22.4 - Мультивібратор на основі ІС- таймера (а) і часові діаграми (б), що пояснюють його роботу

Принцип дії мультивібратора ґрунтується на властивості таймера зберігати колишнє значення свого вихідного сигналу, якщо напруга на об'єднаних вхідних виводах його компараторів верхнього й нижнього рівнів лежить між порогами спрацьовування: $U_{ж}/3 < U_c(t) < 2U_{ж}/3$.

Розглянемо роботу даної схеми. При цьому будемо вважати, що вихідна напруга на виході таймера може приймати тільки два значення: $U_{вих} = U_{ж}$ і $U_{вих} = 0$. Допустимо, що в початковий момент часу (t_0) $U_c(t_0) \leq U_{ж}/3$, і на виході (вивід 3) ІС установилася висока напруга, рівна $U_{ж}$. Напруга конденсатора під дією цієї напруги почне збільшуватися і в момент t_1 досягне значення, рівного $2U_{ж}/3$. При цьому відбудеться спрацьовування компаратора верхнього рівня DA1 таймера (див. рис. 22.3), що своєю вихідною напругою скине тригер DD1. Вихідна напруга таймера зменшиться до $U_{вих} = 0$, і часозадаючий конденсатор почне розряджатися на R_1 . У момент t_2 його напруга зменшиться до значення $U_c(t_2) = U_{ж}/3$, і процес повториться. Часові діаграми, що пояснюють роботу мультивібратора, наведені на рис. 22.4б.

Для розрахунку тривалості інтервалів роботи схеми можна використати схему заміщення (див. рис. 22.1), для якої будемо мати:

а) інтервал $(t_1 - t_0)$: $U_{ЕКВ} = U_{ж}$,

$$U_c(0) = U_{ж}/3, U_c(t) = 2U_{ж}/3;$$

б) інтервал $(t_2 - t_1)$: $U_{ЕКВ} = 0$,

$$U_c(0) = 2U_{ж}/3, U_c(t) = U_{ж}/3.$$

Тоді для кола першого порядку при "стрижку" напруги має місце вираз:

$$U(t) = U(t \rightarrow \infty) - [U(t \rightarrow \infty) - U(t=0)]e^{-t/\delta},$$

де $U(t=0)$, $U(t \rightarrow \infty)$, початкове і кінцеве значення напруги в момент часу $t=0$ і $t \rightarrow \infty$, відповідно.

Для даної схеми маємо:

$$U(t_1) = \frac{2}{3}U_{ж} = U_{ж} - \left(U_{ж} - \frac{1}{3}U_{ж} \right) e^{-(t_1 - t_0)/\delta}.$$

Після перетворень, період коливань:

$$(t_1 - t_0) = (t_2 - t_1) = R_1 C_1 \ln 2 \approx 0,7 R_1 C_1;$$

$$T_r = 2 R_1 C_1 \ln 2 \approx 1,4 R_1 C_1; Q = 2.$$

При роботі мультивібратора на конденсаторі С зовнішнього часозадаючого кола формується напруга, форма якої близька до трикутної, причому її розмах дорівнює $U_{ж}/3$. З виводу 7 ІС таймера теж може бути знята прямокутна напруга. Для цього, оскільки цей вихід з'єднаний з колектором

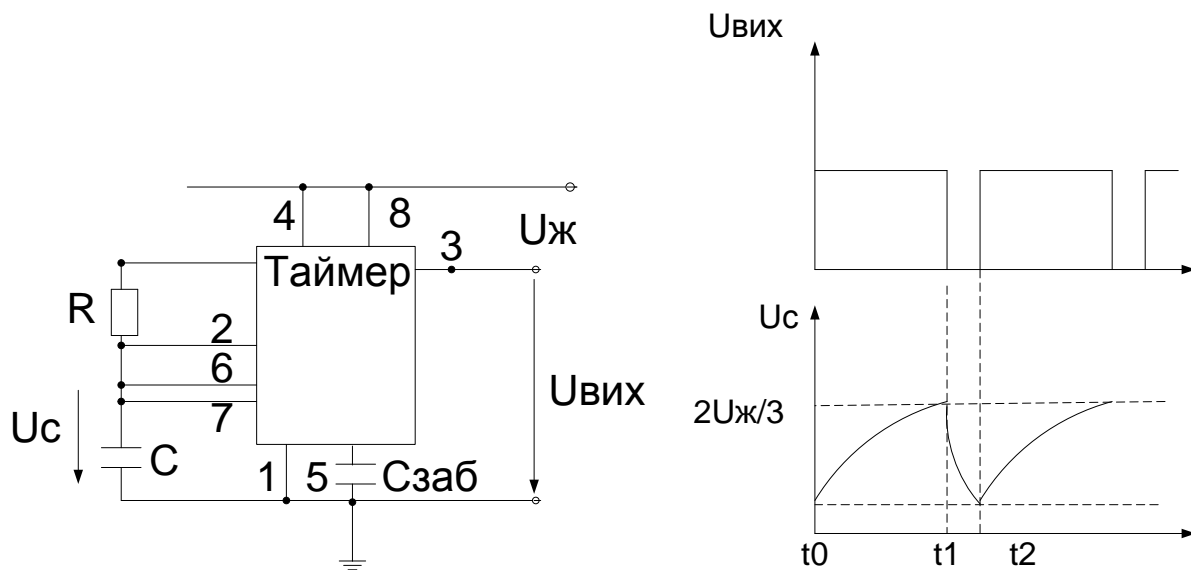


Рисунок 22.5 - Мультивібратор з великою шпаруватістю на ІС 1006ВІ1 (а) і часові діаграми (б), що пояснюють його роботу

транзистора VT3 (див. рис. 22.3), необхідно використати додаткові елементи, наприклад резистор, підключений до шини живлення.

Якщо в розглянутій схемі мультивібратора до об'єднаних входів компараторів додатково підключити і колектор транзистора VT3 (вивід 7 ІС), одержимо ще одну схему автоколивного мультивібратора (рис. 22.5а). Однак на відміну від попередньої, на її виході буде формуватися прямокутна напруга зі шпаруватістю $Q \ll 2$. Це пояснюється тим, що в момент t_1 відбувається майже миттєвий розряд часозадаючого конденсатора С через насичений розрядний транзистор VT3 таймера. Теоретично розряд конденсатора повинен закінчуватися за умови $U_c = U_{ж}/3$. Однак через інерційність компаратора і тригера, а також малості сталої часу розряду конденсатор практично встигає розрядитися до нуля. Тому тривалість періоду повторення вихідних імпульсів досить точно визначається виразом:

$$T_r \approx t_2 - t_0 \approx t_1 - t_0 = RC \ln 3 \approx 1,1 RC. \quad (22.1)$$

Часові діаграми, що пояснюють описану роботу мультивібратора, наведені на рис. 20.5б.

22.2.2 Перетворювач напруги в частоту (ПНЧ). На основі розглянутого мультивібратора може бути легко побудована схема перетворювача "напруга - частота". Ідея побудови такого пристрою полягає в заміні резистора часозадаючого RC-кола керованим генератором струму. Причому цей струм повинен бути прямо пропорційний вхідній напрузі. Варіант побудови такої схеми наведений на рис. 22.6а. На рис. 22.6б наведені часові діаграми, що пояснюють її роботу.

У даній схемі операційний підсилювач DA1 разом із транзистором VT1 і резистором R1 утворює схему перетворювача "напруга - струм". Цей струм відбивається схемою струмового дзеркала на транзисторах VT2, VT3 і VT4 в коло заряду часозадаючого конденсатора. Із-за того що на інтервалі заряду конденсатора C1 струм залишається постійним, його напруга змінюється за лінійним законом $u_c = I_c t / C = U_{вх} t / (R_1 C_1)$.

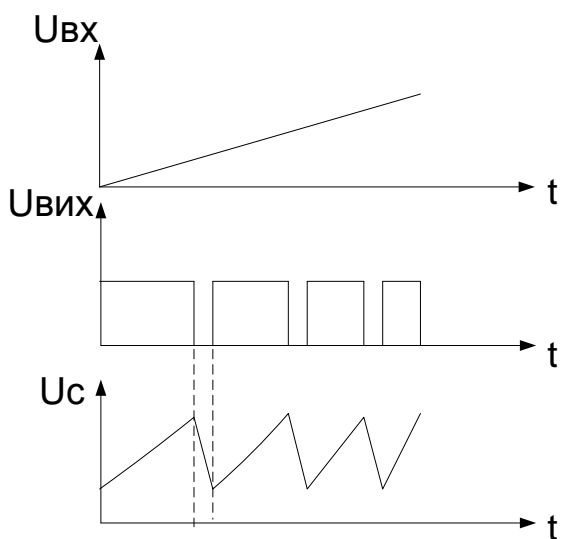
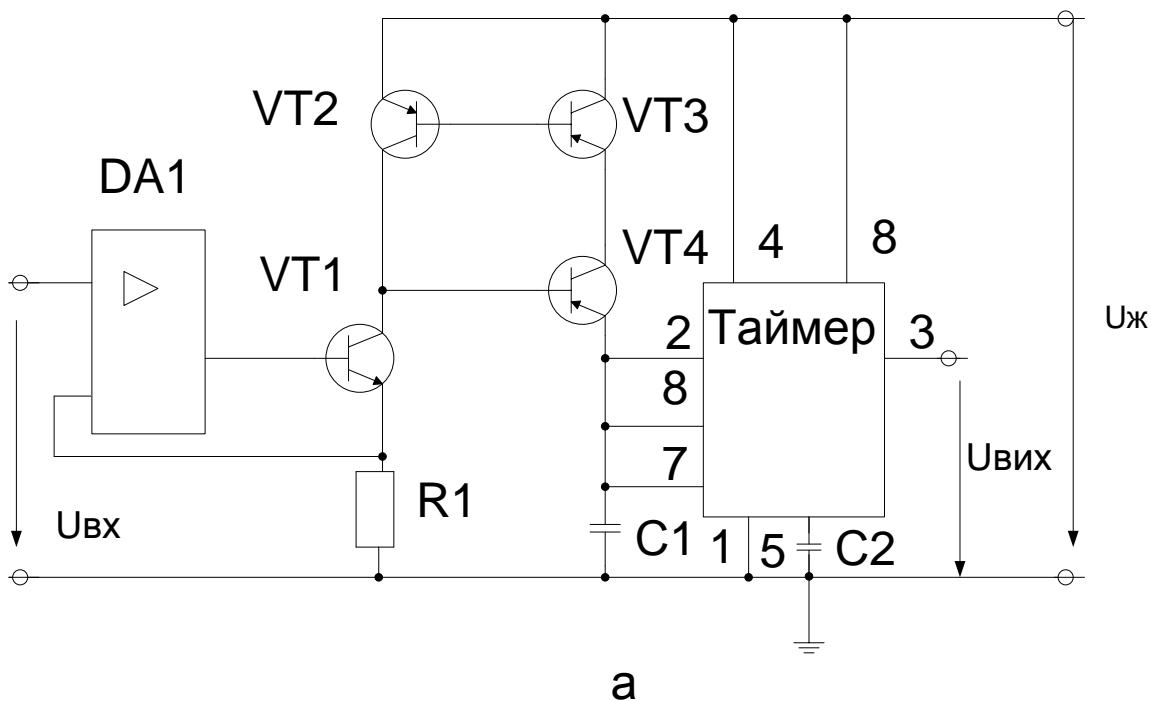


Рисунок 22.6 - Перетворювач "напряга - частота" (а) і часові діаграми (б), що пояснюють його роботу

Покладаючи, що $U_c(0) = 0$ і зважаючи на те, що заряд конденсатора закінчується при $u_c = 2U_{ж}/3$, одержимо

$$t_I = 2U_{ж}R_1C_1 / 3U_{вх}.$$

Ураховуючи, що $t_I \gg t_{паз}$, можна вважати, що цей вираз справедливий і для періоду повторення вихідної напруги пристрою. Частота таких ПНЧ:

$$f_{ПНЧ} \approx \frac{1}{t_i} = \frac{3}{2} U_{вх} / U_{ж} R_1 C_1$$

Наведена схема має досить високу лінійність характеристики. Основні похибки виникають на краях діапазону зміни вихідної частоти і зумовлені:

на низькій частоті - впливом вхідного струму компаратора таймера за умови, що струм $I_{вх}$ близький до $I_{к_вт4}$;

на високій частоті - впливом інтервалу розряду конденсатора, тривалість якого постійна й не залежить від амплітуди вхідної напруги.

22.2.3 Очікуючий мультивібратор. Схема автоколивного мультивібратора (рис. 22.7а) може бути легко переведена в очікуючий режим роботи. Для цього необхідно вхід нижнього компаратора ($U_{пор_н}$) (див. рис. 22.3) від'єднати від часозадаючого RC-кола і використати його як керуючий. В установленому режимі напруга на керуючому вході повинна перевищувати $U_{п}/3$.

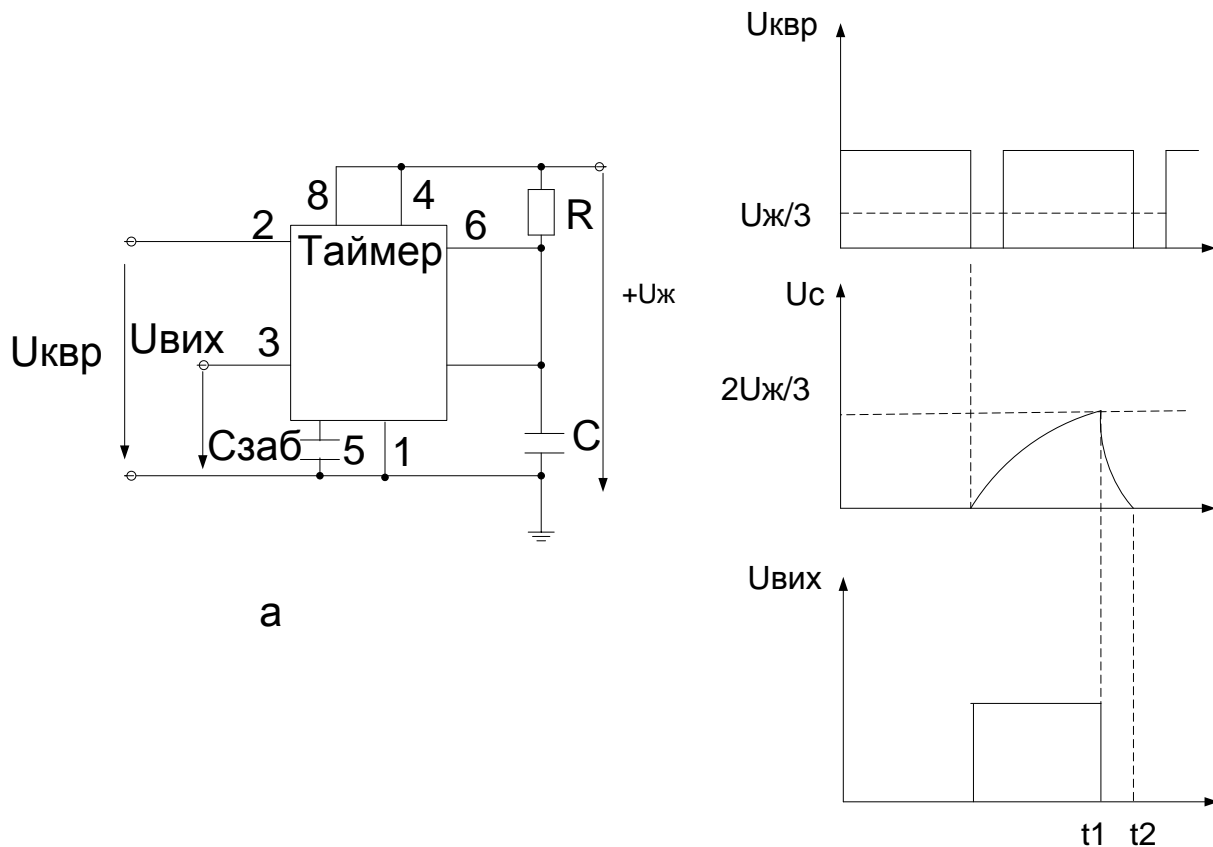


Рисунок 22.7 - Очікуючий мультивібратор на ІС 1006ВІ1 (а) і часові діаграми (б), що пояснюють його роботу

Запуск одновібратора здійснюється подачею на вхід напруги низького рівня, меншої, ніж $U_{ж}/3$.

На рис. 20.7а показана отримана після описаних змін схема очікуючого мультивібратора, а на рис. 22.7б наведені часові діаграми, що пояснюють її роботу.

У початковому стані RS- тригер таймера скинутий. Внаслідок цього конденсатор часозадаючого кола розряджений, і на виході пристрою присутня напруга, за рівнем близька до нульового. Цей стан є стійким, так як коли з якої-небудь причини він буде порушений і тригер сформує на прямому виході сигнал лог.1, закриється транзистор VT3, і конденсатор C1 почне заряджатися. При $u_c = 2U_{ж}/3$ компаратор верхнього рівня таймера своїм вихідним сигналом скине тригер. Транзистор VT3 включиться, і напруга на часозадаючому конденсаторі зменшиться до нульового рівня. Однак, оскільки на виході компаратора нижнього рівня напруга перевищує $U_{ж}/3$, останній не спрацює і тригер залишиться в скинутому стані.

При короткочасному зниженні напруги на керуючому вході нижче рівня $U_{ж}/3$ компаратор нижнього рівня встановить тригер DD1, який виключить транзистор VT3 і включить транзистор VT1. На виході таймера встановиться квазістійкий стан, при якому його вихідний сигнал збільшиться практично до напруги живлення. Це буде супроводжуватися зарядом часозадаючого конденсатора. При виконанні умови $u_c = 2U_{ж}/3$ компаратор верхнього рівня скине тригер і схема повернеться в стійкий стан.

Оскільки даний алгоритм роботи пристрою повністю аналогічний алгоритму одного періоду роботи автоколивного мультивібратора, то тривалість вихідного імпульсу розглянутого одновібратора може бути визначена з (22.1).

Очевидно, що для нормальної роботи одновібратора необхідно, по-перше, щоб тривалість запускаючого імпульсу, була більше суми часів спрацьовування компаратора і тригера, але менше тривалості його вихідного імпульсу, і, по-друге, пауза між приходами двох сусідніх запускаючих імпульсів повинна бути достатньою для повного розряду часозадаючого конденсатора RC- кола.

На основі описаного одновібратора легко можна побудувати схему широтно-імпульсного модулятора. Для цього в схемі перетворювача напруги в частоту (рис. 22.6а) автоколивний мультивібратор повинен бути перетворений в одновібратор, на керуючий вхід якого необхідно подати послідовність запускаючих імпульсів постійної частоти.

22.3 Контрольно-навчальний тест до лекції 22

Питання 22.1

Які імпульси може формувати на виході одноктактний таймер, зображений на рис. 22.1?

Питання 22.2

Для керування яким транзистором використовується сигнал з інверсного виходу тригера?

Питання 22.3

Для схеми рис. 22.3 які, як правило, вибирають рівні порогової напруги для компараторів?

Питання 22.4

Для схеми мультивібратора рис. 22.4, як відбувається заряд-розряд C_1 ?

Питання 22.5

Чому шпаруватість імпульсів схеми рис. 22.4 складає $Q \approx 2$?

Питання 22.6

Як збільшити частоту коливань мультивібратора за схемою рис. 22.5а?

Вибір правильної відповіді:

- 1- одиночні імпульси;
- 2- прямокутні імпульси;
- 3- імпульси різного роду.

Вибір правильної відповіді:

- 1- VT1;
- 2- VT2;
- 3- VT3.

Вибір правильної відповіді:

- 1- для обох компараторів $0,5U_{ж}$;
- 2- для верхнього компаратора $\frac{2}{3}U_{ж}$, для нижнього - $\frac{1}{3}U_{ж}$;
- 3- для верхнього компаратора $\frac{2}{3}U_{ж}$, для нижнього - $(-\frac{1}{3}U_{ж})$.

Вибір правильної відповіді:

- 1- заряд від $U_{ж}$ через відкритий VT1, розряд на R через відкритий VT2;
- 2- заряд від $U_{ж}$ через відкритий VT2, розряд на R через відкритий VT1.

Вибір правильної відповіді:

- 1- імпульси запуску мають $Q = 2$;
- 2- стала часу R_1C_1 і перепад напруг співпадають для першого і другого напівперіоду коливань.

Вибір правильної відповіді:

- 1- збільшити порогові рівні компараторів;
- 2- збільшити R_1 ;
- 3- зменшити R_1C_1 .

Питання 22.7

Як можна зменшити шпаруватість імпульсів у схемі рис. 22.4?

Питання 22.8

Як перетворити схему рис. 22.3 в схему ПНЧ?

Питання 22.9

Як здійснюється запуск одновібратора схеми рис. 22.7?

Вибір правильної відповіді:

- 1- резистор R під'єднати до $U_{ж}$;
- 2- резистор R під'єднати до $U_{ж}$ і з'єднати вивід 3 з виводами 2,6;
- 3- зменшити R_1C_1 .

Вибір правильної відповіді:

- 1- перетворити вхідну напругу в струм і цим струмом заряджати C_1 , а розряджати його транзистором VT3;
- 2- підсилити вхідну напругу і заряджати нею C_1 , а розряджати його транзистором VT3.

Вибір правильної відповіді:

- 1- подати напругу запуску на вхід верхнього компаратора;
- 2- подати напругу запуску на вхід нижнього компаратора.

