



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та електротехніки**

**ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИВІБРАТОРІВ
ТА ТРИГЕРІВ**

**Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та (заочної) форми навчання,
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»**

**Харків
2023**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та електротехніки

ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИВІБРАТОРІВ
ТА ТРИГЕРІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено
рішенням Науково-методичної
ради факультету ЕРКТ
Протокол № 1 від 20
жовтня 2022 р.

Харків
2023

УДК 615.47+57.08
О 75

Схвалено
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії
та електротехніки
Протокол № 1 від 31 серпня 2022 р.

Рецензент:

О.М. Мороз, д-р тех. наук, проф. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державний біотехнологічний університет.

О 75 Дослідження мультівібраторів (автоколивальний режим та чекаючий режим), тригерів (лічильників імпульсів): метод. вказівки до виконання лабораторної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навч., спец. 163 «Біомедична інженерія» / Державний біотехнологічний університет; уклад.: О.Д. Черенков, М.О. Чорна – Харків: [б. в.], 2023. – 32 с.

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи на тему: «Дослідження мультівібраторів (автоколивальний режим та чекаючий режим), тригерів (лічильників імпульсів)» з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка», розроблено відповідно до навчальної програми.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

УДК 615.47+57.08

Відповідальний за випуск: М. О. Чорна, к.т.н., доцент

© О.Д. Черенков, 2023

© М.О. Чорна, 2023

© ДБТУ, 2023

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПО МЕТОДИЦІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ

Практичні навички по експериментальному дослідженню студенти одержують у лабораторії кафедри. Лабораторний практикум містить вісім робіт.

Підготовка до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно вивчити відповідний теоретичний матеріал, засвоїти мету, суть роботи і її зміст, виконати домашнє завдання, що містить розрахунок параметрів досліджуваних схем, підготувати бланк звіту.

Допуск до виконання лабораторної роботи

До виконання роботи допускаються студенти, які не мають заборгованості за попередні лабораторні роботи.

Студенти, які не допущені до роботи, залишаються в лабораторії для самостійної підготовки до виконання лабораторної роботи. Якщо студент підготувався, він може бути допущений до роботи, у іншому випадку – відпрацювання призначається на додатковий час.

Порядок виконання роботи

Лабораторний практикум побудований так, що всі роботи виконують бригади, що складаються з 2–3 –х студентів, фронтальним методом, тобто всі бригади виконують аналогічні роботи.

При необхідності, перед початком виконання робіт, студенти вивчають методику користування вимірними приладами.

У процесі експерименту перевіряються результати розрахунків, фіксуються осцилограми, що дають уяву про фізичну суть процесів у схемах, з'ясовується вплив елементів схеми на параметри вихідних сигналів.

Робота вважається закінченою, якщо протокол досліджень перевірений та підписаний викладачем.

На виконання експериментальної частини роботи студенти витрачають 2–4 учбових години.

Протоколи досліджень і запропоновані розрахунки схем по всіх роботах заносяться в зошит, що є єдиним для бригади і зберігається до кінця лабораторного практикуму.

Оформлення звіту

Звіт про лабораторну роботу, що складається студентами, повинен відповідати протоколу проведеного експерименту. Звіт повинен містити досліджувані схеми, мету роботи, перелік використаних приладів, таблиці вимірюваних та обчислених параметрів, часові діаграми напруги, що дають уявлення про фізичні процеси в схемі, висновки по кожному пункту роботи. Зразок оформлення звіту приведено у додатку А.

При оформленні звіту необхідно дотримуватись ДСТУ (креслення схем, літерні позначення основних величин, елементів схем та ін.) Найменування ДСТУ приведені в додатку Б.

Правила безпеки роботи в лабораторії

Щоб запобігти ураження електричним струмом під час проведення лабораторних робіт і забезпечення збереження приладів та устаткування, необхідно дотримуватись наступних правил:

- до лабораторних робіт допускаються студенти, що пройшли інструктаж з техніки безпеки, про що виконується запис у спеціальному журналі;
- виконання експерименту проводиться бригадами, що складаються не менш чим з 2-х студентів;
- перед виконанням роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами експлуатації всієї наявної на робочому місці апаратури;
- зібрану схему дозволяється вмикати тільки після перевірки її викладачем або лаборантом;
- при виявленні оголених провідників або інших неполадок апаратури студент зобов'язаний вимкнути схему і доповісти про це викладачу або лаборанту;
- категорично забороняється під час роботи з електронною чи радіовимірювальною апаратурою доторкатися до радіаторів центрального опалення;

- у випадку ураження електричним струмом негайно вимкнути електроживлення робочого місця, потерпілому надати першу допомогу, у важких випадках викликати лікаря;
- при виникненні пожежі вимкнути електроживлення робочого місця і погасити вогонь вогнегасником;
- під час виконання лабораторних робіт не дозволяється вести голосну розмову, займатися сторонніми справами.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5, 6
Дослідження мультівібраторів (автоколивальний режим та чекаючий режим), тригерів (лічильників імпульсів)

Мета роботи

1. Вивчити електричні схеми тригерів та мультівібраторів, принцип їх роботи.
2. Провести виміри параметрів схем та їх зміну при різних значеннях елементів R, C.
3. Замалювати осцилограми напруги в базах та колекторах транзисторів, провести аналіз вихідних імпульсів генераторів.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 5.1) складається:

- стенд зі схемами мультівібраторів і тригера;
- осцилографа С1–93 (С1–77);
- електронного вольтметра В7–16А (В7–21);
- електронного частотоміра ЧЗ–34.

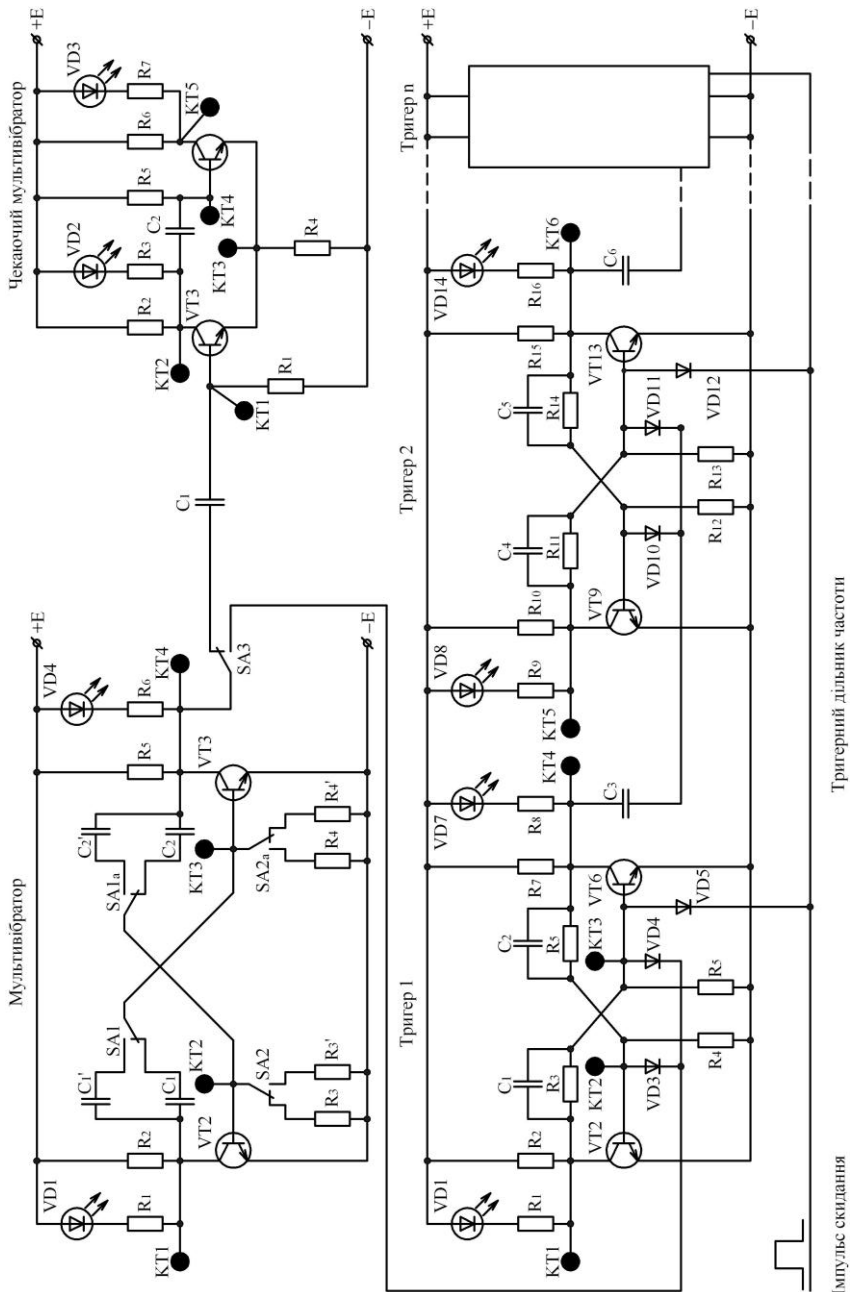


Рисунок 5.1 – Принципові схеми мультивібраторів і тригерів на стенді

Загальні відомості

В імпульсних пристроях широке використання знаходять генератори, вихідна напруга яких має форму, що значно відрізняється від синусоїдної.

Коливання такої форми мають назву релаксаційних і можуть бути прямокутними, пилкоподібними, трикутними та іншими.

Такі генератори використовують в ролі запусकाючих, перемикаючих елементів, для ділення частоти коливань в “n” разів, розгортки променя в осцилографах, телевізійних електронно–променевих трубках та інших пристроях.

Подібно генераторам синусоїдних коливань в релаксаційних генераторах енергія джерела постійного струму перетворюється в енергію електричних коливань.

Якщо в генераторі синусоїдних коливань LC – типу відбувається безперервний обмін енергією між конденсатором C та котушкою індуктивності L і за період коливань T витрачається незначна частина енергії джерела постійного струму, то в релаксаційному генераторі енергія джерела зосереджується в реактивному елементі (частіше – це конденсатор) і ця енергія виділяється як тепло в активних опорах. Транзистори генератора в цьому випадку працюють як ключі – перемикаючи конденсатори на заряд або розряд.

Одним із різновидів релаксаційних генераторів є мультивібратор, що виробляє електричні коливання близькі по формі до прямокутних. Такі коливання мають широкий спектр частот. Цим і визначається назва мультивібратор, що означає генератор множин коливань.

Мультивібратори збираються на дискретних елементах або мікросхемах. Для того, щоб з’ясувати принцип роботи мультивібратора, розглянемо схему зібрану на дискретних елементах.

Основна схема мультивібратора (рис. 5.1) представляє собою двокаскадний підсилювач на резисторах.

Підсилювач має глибокий позитивний зворотний зв’язок: вихід одного каскаду зв’язаний С–R ланцюжком з входом другого каскаду. Якщо при цьому виконуються умови самозбудження, то схема працює як генератор незатухаючих коливань.

Елементи схеми підібрані так, щоб забезпечити ідентичність кожного підсилюючого каскаду зібраних на однотипних транзисторах $VT1, VT2, R_{к1} = R_{к2}, R_{б1} = R_{б2}, C_1 = C_2$. Такий мультивібратор називається симетричним і навпаки, якщо елементи R, C різних номіналів – несиметричним.

При подачі напруги E_K на транзистори, при повній симетрії елементів, транзистори повинні бути відкритими і стан схеми стійкий. В дійсності такого стану досягти неможливо тому, що ідеальної симетрії елементів схеми практично немає. Навіть незначна асиметрія в схемі миттєво приведе до того, що один із транзисторів закриється, а другий буде відкритий і доведений до режиму насичення.

В схемі завжди присутні чинники, які приводять до асиметрії струмів колектора, бази і величин самих елементів R, C . Наприклад, це нестабільність джерела живлення E_K , флуктуації руху зарядів в транзисторах та елементах схеми, вплив температури середовища та ін.

Припустимо, що по тій чи іншій причині колекторний струм транзистора $VT2 - I_{K2}$ зменшився на деяку величину. Це призведе до підвищення потенціалу колектора (конкретно U_{K2-e2}) на величину ΔU_{K2-e2} . Так як напруга на конденсаторі C не може змінитися стрибком (другий закон комутації), то в перший момент напруга ΔU_{K2-e2} цілком виділиться на резисторі $R_{\sigma 1}$. Ця напруга, діючи на базу $VT1$, спричинить незначне підвищення колекторного струму I_{K1} , що в свою чергу вплине на потенціал колектора U_{K2-e2} (U_{K1-e1}), реально до зниження його на величину $-\Delta U_{K1-e1}$. Через конденсатор $C1$ цей від'ємний перепад напруги передається на базу транзистора $VT2$, що призведе до ще більшого зменшення струму I_{K2} .

За рахунок підсилюючих властивостей каскадів схеми кожен послідовний стрибок напруги на базі більший чим попередній. Цей процес зростає лавиноподібно і практично через малий проміжок часу транзистор $VT2$ закриється (режим відсічки), а транзистор $VT1$ повністю відкриється (режим насичення).

Так як перекидання транзисторів проходить практично миттєво, то напруга на конденсаторах $C1, C2$ за цей час не встигає змінитися від початкового стану і починає змінюватися тільки після стрибка напруги.

При запиранні $VT2$ конденсатор $C2$ заряджається по колу:
 $+ E_K \rightarrow$ ділянка: база – емітер $VT1 \rightarrow C2 \rightarrow \dot{R} \rightarrow - E_K$.

Конденсатор $C1$ розряджається через відкритий транзистор $VT1$ та резистор R . Перемикання схеми із одного стану в другий залежить від швидкості заряд – розряд конденсаторів $C1, C2$: так по мірі

зарядження $C2$ позитивний потенціал –точка "а" (права обкладинка $C2$) все більше зростає, а потенціал точки "б" (ліва обкладинка $C1$) все більше спадає.

Потенціал бази $VT1$ поступово зростає, а потенціал бази $VT2$ – знижується. Так як транзистори $VT1$, $VT2$ $p-n-p$ типу, то через деякий час транзистор $VT2$ відкриється, а $VT1$ –закриється. Надалі процес перемикання схеми повторюється.

Таким чином, транзистори в мультивібраторі, що працює в автоколебальному режимі, по чергово знаходяться в стані або відсічки (закритий), або насичення (відкритий).

З колекторів $VT1$, $VT2$ можливо зняти прямокутні імпульси з амплітудою близької до значення E_K . Схема буде працювати в режимі самозбудження весь час поки ввімкнено джерело живлення. На рис. 5.2 показані часові діаграми напруги на колекторах та базах транзисторів. Початковий момент t_0 відповідає тому випадку, коли $VT1$ закритий, $VT2$ – відкритий.

Моменти t_1 , t_2 , t_3 відповідають перемиканню схеми.

Тривалість вихідних імпульсів $VT1$, $VT2$ розраховується за виразом:

$$\begin{aligned}\tau_{u1} &= 0,7C1 \times R, \\ \tau_{u2} &= 0,7C2 \times R.\end{aligned}\tag{5.1}$$

Для симетричного мультивібратора: $\tau_{u1} = \tau_{u2}$, для несиметричного тривалості вихідних імпульсів різні, тому що різні величини $C1$, $C2$, або базових резисторів $R_{\delta1}$, $R_{\delta2}$.

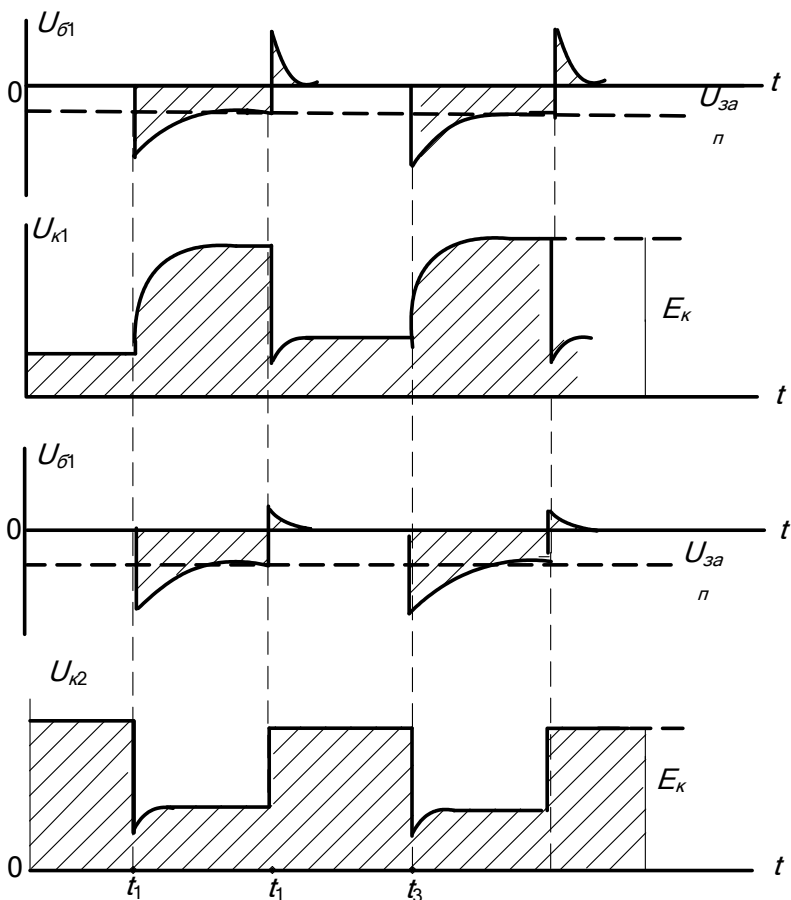


Рисунок 5.2 – Осцилограми сигналів в базах та колекторах транзисторів мультівібратора

Одновібратор (чекаючий мультівібратор)

Одновібратори використовуються для формування імпульсів напруги прямокутної форми необхідної тривалості при дії на вході схеми короткого імпульсу запуску. Одновібратори також мають два стани схеми. Але якщо в мультівібраторі, що працює в автоколивальному режимі обидва стани є нестійкими, то в одновібраторі один стан стійкий, а другий – нестійкий. Стійкий стан – це початковий режим роботи – *чекаючий режим*. Нестійкий стан настає з приходом вхідного імпульсу запуску.

Тривалість цього стану залежить від часозадавальних елементів схеми: після заряду – розряду конденсаторів через резистори одновібратор повертається до початкового стійкого стану. Вихідний імпульс формується в результаті дії послідовно двох тактів перемикання схеми.

На практиці використовуються в основному дві схеми одновібраторів:

- а) з колекторно – базовими зв’язками;
- б) з емітерними зв’язками.

Розглянемо схему одновібратора з колекторно – базовими зв’язками (рис. 5.3).

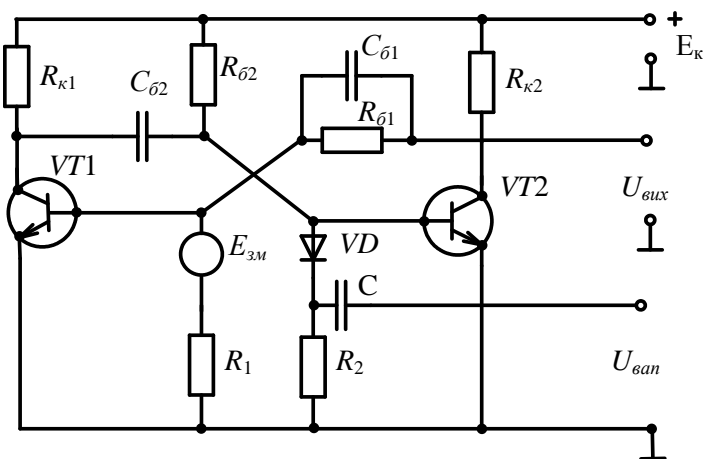


Рисунок 5.3 – Схема одновібратора з колекторно–базовими зв’язками

Схема одновібратора являє собою двокаскадний підсилювач з позитивним зворотним зв’язком, зібраного на транзисторах $VT1$, $VT2$. Транзистори ввімкненні за схемою з спільним емітером (СЕ).

Позитивний зворотний зв’язок забезпечується подачею напруги $U_{к1}$ транзистора $VT1$ через конденсатор $C_{\delta 2}$ на базу $VT2$. Аналогічно колекторна напруга $VT2$ через $R_{\delta 1}$, $C_{\delta 1}$ поступає на базу $VT1$.

Джерело від’ємного зміщення $E_{зм}$ призначене для надійного утримання $VT1$ закритим, коли схема знаходиться в сталому режимі (чекаючому).

Діод VD , конденсатор C , резистор $R2$ – елементи кола запуску, які переводять схему у нестабільний стан під дією зовнішньої напруги.

Вихідна напруга знімається з колектора VT2. Форма вихідної напруги – прямокутний імпульс.

До приходу імпульсу запуску схема знаходиться в стані рівноваги: VT1 закритий напругою $E_{зм}$, VT2 – відкритий під дією струму $I_{\delta 2}$. Конденсатор $C_{\delta 2}$ заряджений до напруги E_k (полярність показана на схемі).

Струм $I_{\delta 2} = I_1 + I_2$, а так як $I_2 = 0$ (C_2 заряджений) то:

$$I_{\delta 2} = I_1 = E_k / R_{\delta 2} \quad (5.2)$$

При подачі на базу VT2 короткого імпульсу негативної полярності через коло $C-R-VD$ транзистор VT2 закривається (одновібратор перекидається). Колекторна напруга VT2 – позитивний стрибок – подається на базу VT1, який відкривається.

Конденсатор $C_{\delta 2}$ в даному разі приєднується через транзистор VT1 у запиральному напрямку до бази VT2, тобто, після закінчення дії імпульсу запуску ПЗЗ утримує транзистор VT2 закритим, а VT1 – відкритим. Конденсатор $C_{\delta 2}$ перезаряджається по колу: $+ E_k \rightarrow R_{\delta 2} \rightarrow C_{\delta 2} \rightarrow VT1 \rightarrow - E_k$.

Коли напруга на $C_{\delta 2}$ становитиме близько нуля, запиральна напруга на базі транзистора VT2 зникає, транзистор VT2 відкривається а VT1 – закривається. Схема повернеться до початкового стану. Час розряду конденсатора $C_{\delta 2}$ від напруги E_k до нуля визначає перебування схеми в квазістійкому стані: за час $t_1 = 0,7 R_{\delta 2} \times C_{\delta 2}$ на виході формується імпульс напруги.

Схема відновлюється для прийому чергового імпульсу запуску через час t_2 :

$$t_2 \approx 3R_{к1} \times C_{\delta 2}. \quad (5.3)$$

На рис. 5.4 показані часові діаграми роботи одновібратора.

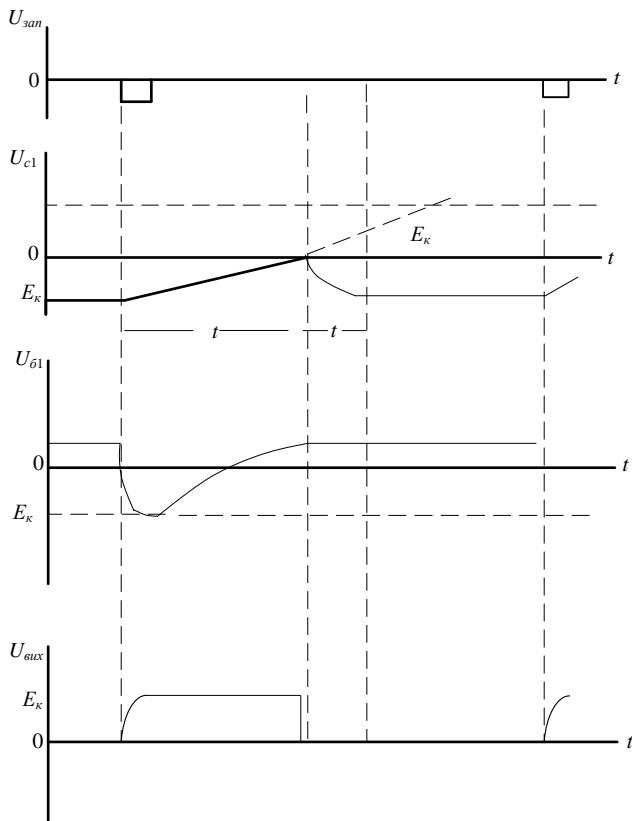


Рисунок 5.4 – Часові діаграми роботи чекаючого мультивібратора

Тригери

Короткі теоретичні відомості

В імпульсній та цифровій техніці широко використовуються функціональні вузли які можуть зберігати двійкову інформацію (стан 0 або 1) після закінчення дії входних імпульсів. Такі вузли називаються тригерами.

Тригер може мати один або два стійких стани. З такого стану тригер виводиться зовнішнім сигналом запуску, який викликає в схемі лавиноподібний процес. Тригер з двома стійкими станами переходить в кожен з них тільки під дією стартового сигналу. Тригер з одним

стійким станом знаходиться в ньому до приходу стартового імпульсу, який переведе його в нестійкий стан. Схема, в залежності від параметрів, буде знаходитись в такому стані деякий час і надалі повернеться самостійно в початковий стійкий стан.

За рахунок лавиноподібних процесів в схемі форма вихідних сигналів тригера близька до прямокутної і не залежить від форми імпульсів запуску на вході тригера.

Тригер з двома стійкими станами називається *реостатним тригером*, а з одним стійким станом – *реактивним тригером, чекаючим мультівібратором, кіп-реле*.

Технічні реалізації тригерів відрізняються типом використаних активних компонентів та способом їх ввімкнення. Тригер представляє собою пристрій, що складається з елементу запам'ятовування та елементу керування. Для забезпечення перемикання елементу запам'ятовування з одного стану в другий з максимальною швидкістю, в тригері використовують так званий *регенеративний режим*, який буде присутній при наявності в схемі ПЗЗ. В системах з ПЗЗ регенеративні процеси виникають при умові що модуль коефіцієнта передачі $|K_i| > 1$, де K_i – модуль передачі напруги (струму) ланок контуру. Вказана умова це умова *балансу амплітуд*, вона виконується якщо згасання сигналу на пасивних елементах компенсується підсиленням сигналу активними елементами. Як активні елементи використовують транзистори (біполярні, польові), електронні ключі, комбінаційні логічні елементи. Також використовують електронні компоненти з ділянкою негативного динамічного опору на ВАХ – *негатрони* (диністори, тиристори, тунельні діоди).

Тригер на дискретних елементах

Типова схема тригера на біполярних р–п–р транзисторах показана на рис. 5.5. Схема представляє собою два послідовно з'єднаних інвертувальних транзисторних ключа: вихід одного транзистора приєднаний до входу другого і навпаки. Коефіцієнт підсилення за напругою транзисторів:

$$K_{U1} = K_{U2} \approx -\beta \times R_k / R_k + R_1. \quad (5.4)$$

Умова балансу амплітуд виконується вибором β , R_k , R_1 так, щоб $K = K_{U1} \times K_{U2}$.

Кожен ключ інвертує сигнал, або зсуває фазу сигналу на 180° , сумарний зсув в контурі $\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = 0^\circ$ (360°), що відповідає ПЗЗ (тобто, виконується баланс фаз).

Одночасне виконання умов балансу амплітуд та балансу фаз відповідає нестійкому стану схеми. При ввімкненні джерел живлення через транзистори принципово можуть текти однакові по величині колекторні струми (при симетричній схемі). Але достатньо незначної зміни струму одного із транзисторів, наприклад, за рахунок нерівномірності дифузії зарядів в транзисторі з емітера в базу і з бази в колектор та ін., як схема вийде з стану рівноваги – один транзистор відкриється до насичення, другий перейде в режим відсічки.

Конденсатори $C1$, $C2$ – прискорювальні, завдяки їм стрибки напруги з колекторів транзисторів передаються на бази значно швидше, що зменшує час перекидання схеми з одного стану в другий. Це впливає на форму вихідного імпульсу напруги – форма імпульсу близька до прямокутної.

Резистори R_2 та джерело зміщення $E_{зм}$ забезпечують стійку роботу тригера в широкому інтервалі зміни температури або розкиду параметрів елементів схеми.

Запуск (керування тригером) може виконуватися як по колекторному, так і по базовому колах. Схема запуску в колекторне коло позитивним імпульсом реалізується діодами $VD1$, $VD2$ та з'єднаними з ними R_p , C_p .

Припустимо, що при ввімкненні джерел живлення E_k , $E_{зм}$, транзистор $VT1$ відкритий, $VT2$ – закритий. Діод $VD2$ закритий напругою $U_{зворот2} = -\frac{E_k \cdot R_1}{R_1 + R_k}$. Діод $VD1$ закритий напругою $\approx -E_k$.

При подачі на вхід U_{ex2} імпульсу позитивної полярності $U_{m.вх} > U_{зворот2}$ Діод $VD2$ відкривається, в базовім колі $VT1$ потече запиральний струм, що приведе до регенеративного процесу в схемі – перекиданню тригера: $VT1$ закриється, $VT2$ відкриється.

Схема запуску на бази транзисторів реалізується діодами $VD3$, $VD4$. Припустимо знову, що при подачі напруги на схему, транзистор $VT1$ відкритий, $VT2$ закритий, тобто, на колекторі $VT1$ низький

потенціал (логічний 0), на колекторі $VT2$ – високий потенціал $\approx -E_k$ (логічна 1).

Діод $VD3$ буде закритий напругою $U_{зворот1} = |E| + |U_{бнас}|$, а діод $VD4$ закритий напругою $U_{зворот2} = |E| + |U_{бзакр}|$, де $U_{бнас}$, $U_{бзакр}$ – напруга на базі насиченого (відкритого) та закритого транзистора.

Діод $VD5$ – фіксуючий, прискорює розряд конденсатора C_p в інтервалах між імпульсами запуску.

Пусковий позитивний імпульс відкриває $VD3$ і під дією запирального струму транзистор $VT1$ починає виходити з режиму насичення і закривається.

Діод $VD4$ відкривається або одночасно з $VD3$ (якщо амплітуда імпульсу запуску достатня), або з деякою затримкою, що залежить від процесу зменшення напруги на базі $VT2$ за рахунок зростання від'ємної напруги $U_{к1}$.

Таким чином, обидва транзистори під час дії імпульсу запуску закриваються і перекидання схеми відбувається після закінчення дії вхідного імпульсу. Діоди $VD3$, $VD4$ закриваються, транзистори $VT1$, $VT2$ під дією напруги E_k починають відкриватися, але так як струм бази $VT2$ $I_{б2} \gg I_{б1}$ (тому що $U_{c1} \ll U_{c2}$), то транзистор $VT2$ відкриється до насичення, $VT1$ закритється, тобто, тригер змінить свій стан.

Висновок: В тригері на дискретних елементах кола запуску складають систему керування (СК), а елемент запам'ятовування (ЕЗ) виконаний на двох підсилювачах–інверторах $VT1$, $VT2$, які охоплені перехресним позитивним зворотнім зв'язком (ПЗЗ), що забезпечує два стійких стани схеми в статичному режимі і регенеративне (лавиноподібне) перемикання схеми із одного стійкого стану в другий при дії вхідного сигналу запуску.

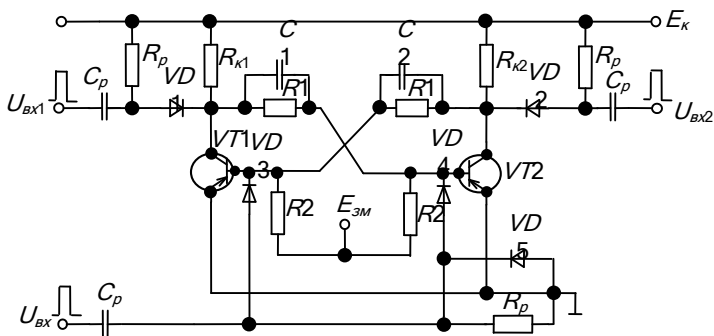


Рисунок 5.5 – Схема тригера на дискретних елементах

Різновиди тригерів в інтегральному виконанні

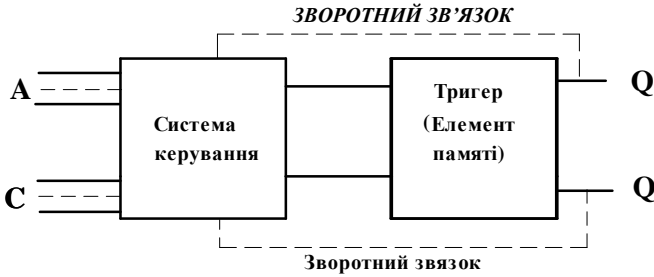
Розрізняють *тактовні та нетактовні тригери*. Зміна стану нетактовного (*асинхронного*) тригера відбувається негайно після відповідної зміни потенціалів на його керуючих входах.

В тактовнім (*синхроннім*) тригері зміна стану може відбутися тільки в момент присутності відповідного сигналу на тактовім вході.

Тактування може виконуватися імпульсом або фронтом (перепадом потенціалу). В першому випадку сигнали на керуючих входах впливають на стан тригера тільки при наявності на тактовім вході потенціалу дозволу. В другому випадку дія керуючих сигналів проявляється тільки в момент переходу *одиниця – нуль* або *нуль – одиниця* на тактовім вході. Існують також тригери, котрі зветься *універсальними*, які працюють як в тактовнім, так і в нетактовнім режимі.

Тригер складається з пристрою керування і власне самого тригера (елемента пам'яті). На рис. 3.6 показана структурна схема тригера.

СТРУКТУРНА СХЕМА ТРИГЕРА



- А** Інформаційні входи
- С** Синхронізуючі входи
- Q** Прямий вихід (логічна одиниця -1
- Q** Інверсний вихід (логічний нуль -0)

Рисунок 5.6 – Структурна схема тригера

Робота тригера описується за допомогою таблиці переходів (або таблиці стану тригера). В таблиці показані всі можливі комбінації сигналів на входах **А** в момент часу t_i та стан тригера в момент t_{i+1} , в *D-тригер*, або тригер затримки, при сигналі дозволу на тактовім якому він опиниться під дією вхідних сигналів.

Тригер може бути в такому стані:

0 – тригер має на вихідній клемі Q низький потенціал ($Q = 0$) незалежно від сигналів на вході;

1 – тригер має на виході високий потенціал (логічна одиниця, $Q=1$) незалежно від сигналів на вході;

Q_i – стан тригера не змінюється при зміні сигналу на вході;

Q_i – стан тригера змінюється на протилежний при зміні вхідних сигналів;

X – невизначений стан тригера, коли при зміні сигналів на входах, тригер рівнозначно може бути як в стані "0", так і в стані "1"

Основні типи тригерів в інтегральному виконанні мають такі назви: *D-тригер*, *T-тригер*, *RS-тригер*, *JK-тригер* та ін.

вході встановлюється в стан, що відповідає потенціалу на вході D . Якщо позначити вихідний сигнал тригера символом Q , то для *D-тригера* можливо записати рівняння: $Q_n = D_{n-1}$. Індеси n та $n-1$ вказують на те, що вихідний сигнал Q змінюється не зразу після зміни

вхідного сигналу D , а тільки з приходом сигналу дозволу (тактового сигналу). Зміна потенціалу на вході D синхронне з тактовим імпульсом, повториться на виході Q з затримкою на один період тактових імпульсів (звідси і назва – *тригер затримки*).

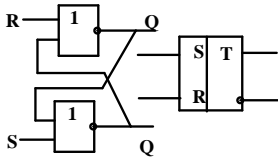
T – тригер, або лічильний тригер, спрацьовує тільки по відповідному фронту на тактовім вході, тобто, T -тригери бувають тільки тактовані фронтом. Крім тактового входу, T -тригер може мати один керуючий вхід – T -вхід. Сигнал на цьому вході дозволяє (якщо $T=1$) або не дозволяє (якщо $T=0$) спрацюванню тригера від фронтів імпульсів, що приходять на тактовий вхід.

Для такого тригера $Q_n = (QT + QT)_{n-1}$. З рівняння випливає, що при $T=1$ відповідний фронт сигналу на тактовім вході переводить тригер в протилежний стан (із нуля в одиницю і навпаки). Частота зміни потенціалу на виході T -тригера у два рази менше частоти імпульсів на його тактовім вході. Ця властивість T -тригера дозволяє будувати на їх основі двійкові лічильники – звідки і назва тригерів такого типу – *лічильні*.

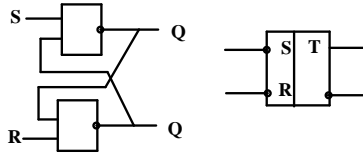
RS -тригер має два керуючих входи R та S . Потенціал "1" на вході S (при $R=0$) переводить тригер в стан $Q = 1$ (тобто, на виході встановиться високий потенціал – логічна одиниця); потенціал "1" на вході R (при $S = 0$) повертає тригер в стан, коли на виході Q буде низький потенціал ($Q = 0$).

JK – тригер має два керуючі входи J та K . Подібно тригеру RS входи J, K – це входи установки тригера в стан "1" або "0". JK - тригер одержують на основі T – тригера шляхом використання в його вхідних колах тривхідних логічних елементів I – HI , що і дозволяє мати два додаткових входи. Вхід для тактових імпульсів позначається символом C . Цей тип тригера називається *універсальним*, тому що при відповідному ввімкненні входів JK – тригер може виконувати функції RS, D, T – тригерів.

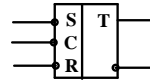
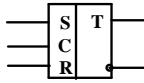
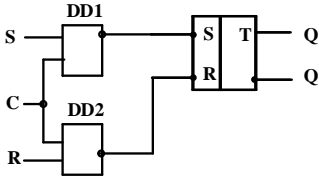
На рис. 5.7 показані основні типи тригерів на логічних елементах I – HI та ABO – HI , умовні позначення на схемах та наведено приклад таблиці переходів RS - тригера з прямими та інверсними входами, а також показані осцилограми сигналів на вході та виході T, D – тригерів.



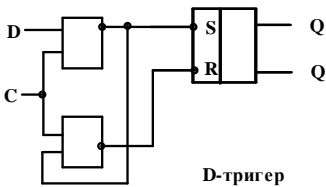
RS-тригер, логіка АБО-НІ, код прямий



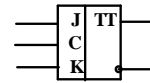
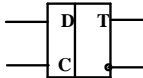
RS-тригер, логіка І-НІ, код інверсний



Синхронний одноступеневий RS-тригер; логіка І-НІ, код прямий; логіка АБО-НІ, код інверсний;



D-тригер



Двоступеневий JK-тригер

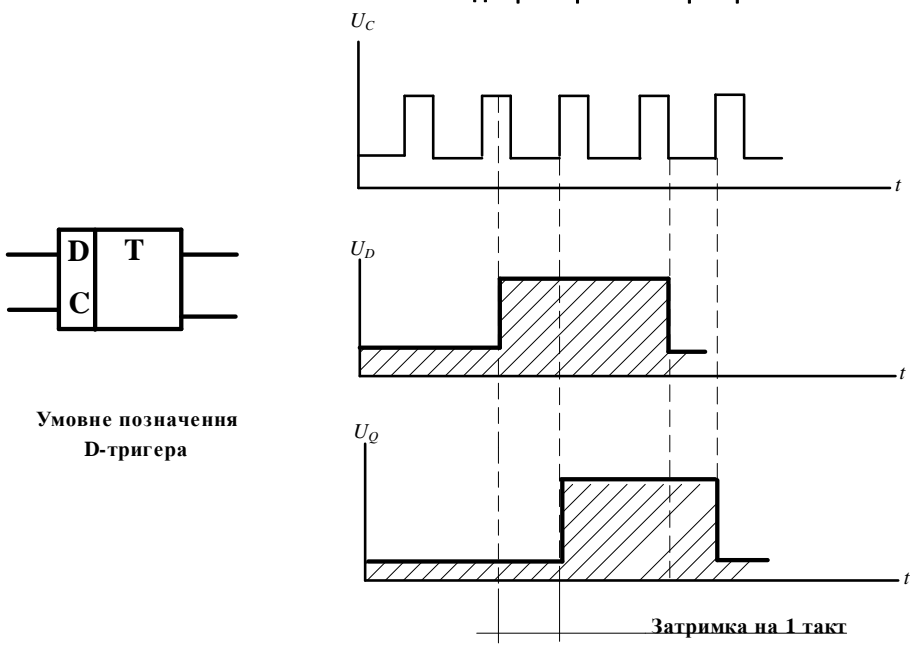
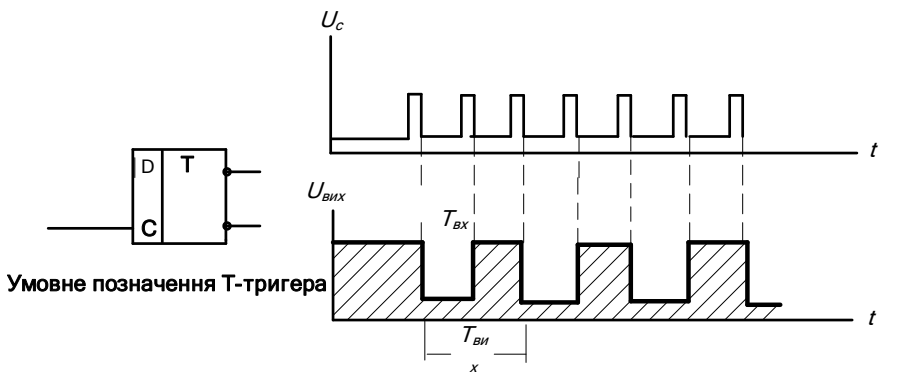


Рисунок 5.7 – Основні типи тригерів на логічних елементах І-НІ, АБО-НІ

Переходи RS-тригера з прямими (а) та інверсними (б) входами

S	R	Q
1	0	1
0	1	0
0	0	Q_i
1	1	X

а)

S	R	Q
1	0	0
0	1	1
1	1	Q_i
0	0	X

б)

Використання тригерів**Запам'ятовування та зберігання інформації при надходженні сигналів**

Рис. 5.8 пояснює принцип роботи тригера при запам'ятовуванні та зберіганні інформації. Перед початком роботи тригер переводиться в стан 0 на виході Q при подачі сигналу на вхід R .

В цьому стані тригер чекає сигнал на вхід S . Якщо на вхід S поступає імпульс запуску, тригер перемикається в стан $Q=1$ і залишається в цьому стані як завгодно довго. Вимірювши напругу на виході тригера в час t_0 (момент обробки інформації, який може бути на будь-якому віддалені від моменту надходження сигналу), можна зробити висновок про надходження або відсутність сигналу на вхід S .

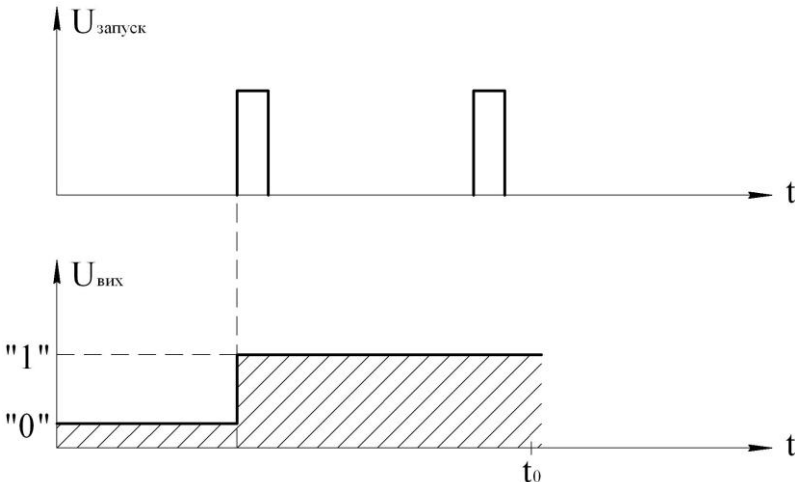


Рисунок 5.8 – Робота тригера при зберіганні інформації

Ділення частоти повторення

В режимі ділення частоти повторення тригер вмикається по схемі з лічильним запуском. В цьому випадку вихідна напруга тригера змінюється від 0 до 1 (або навпаки) при надходженні кожного чергового імпульсу на вхід (рис. 5.9). Якщо вхідні імпульси мають період повторення T , то вихідний сигнал має період $2T$. При поєднанні послідовно n тригерів в такому режимі роботи можливо знизити частоту вхідного сигналу в 2^n раз. На рис. 5.10 показано зниження частоти вхідного сигналу в 4 рази.

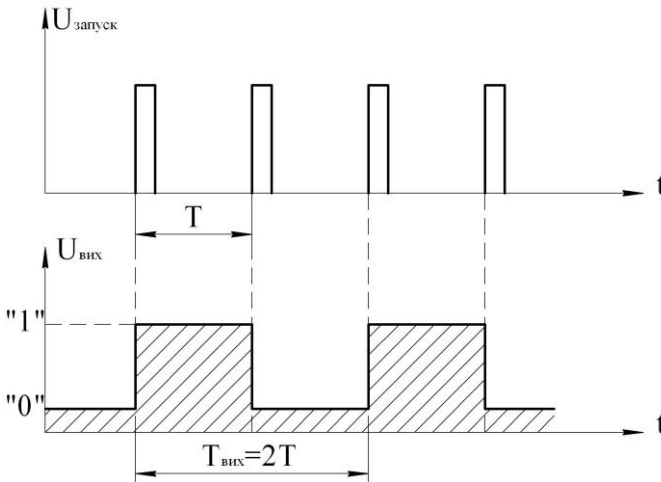


Рисунок 5.9 – Надходження чергового імпульсу на вхід

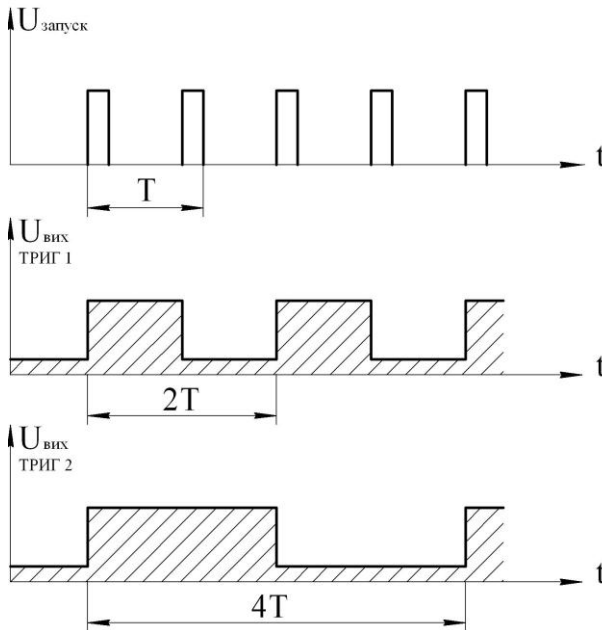


Рисунок 5.10 – Зниження частоти вхідного сигналу

Підрахунок числа імпульсів

Для підрахунку числа імпульсів також вмикають послідовно лічильні тригери. При дії декількох імпульсів на вході першого тригера про їх кількість можливо бачити по стану тригерів лічильного кола в двійковому коді.

Відновлення форми імпульсів

Ряд радіоелектронних пристроїв працюють з використанням Ш І М сигналів, наприклад, при передачі сигналів про температуру об'єкту, датчик температури може виробляти імпульси різної тривалості в залежності від зміни температури. Але при збільшенні тривалості імпульсів необхідно збільшувати і середню потужність передавача. В зв'язку з цим в передавачах використовують не весь імпульс, а тільки короткі імпульси, що відповідають початку та кінцю дії імпульсу датчика температури. В точці прийняття сигналів початкова форма імпульсу відновлюється тригером, що працює з

лічильним запуском: перший імпульс переводить тригер в стан логічної одиниці (1), другий імпульс повертає тригер в початковий стан –логічний нуль (рис. 5.11).

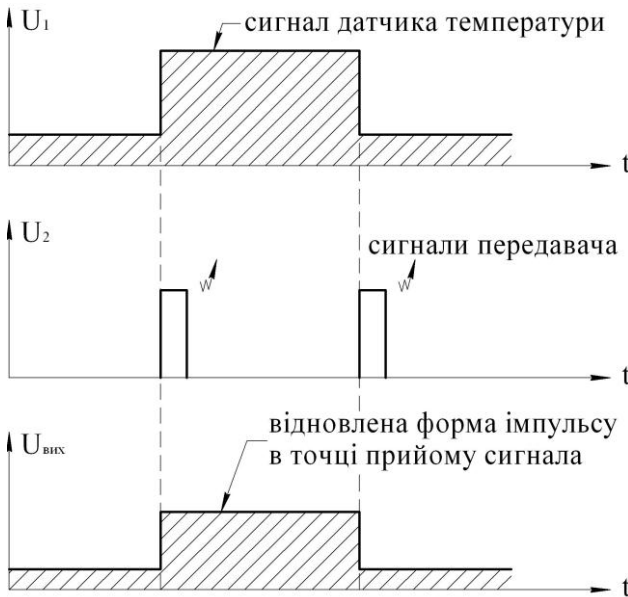


Рисунок 5.11 – Повернення тригера в початковий стан

Формування прямокутних імпульсів

В даному випадку використовують гістерезисну залежність тригера $U_{вих} = f(U_{вх})$. Наприклад, необхідно одержати напругу прямокутної форми з початкової синусоїдної напруги. Для цього на тригер подається напруга зміщення:

$$E_0 = 0,5(E_{01} + E_{02}), \tag{5.5}$$

де E_{01} , E_{02} – значення напруги при якій тригер переходить в другий стан (1 або 0).

Порядок виконання роботи

1) Візуальне спостереження за роботою мультівібраторів, тригерів і чекаючого мультівібратора.

1. При спостереженні за роботою мультівібратора ввімкнути *SA4* в положення "Вгору", *SA1* – "Вниз", *SA2* – "Вгору". При цьому буде перемикання одного або другого плеча мультівібратора, що фіксується випромінюючими світлодіодами. Перемикач *SA2* перевести в положення "Вниз" (при цьому відбувається незначна зміна частоти перемикання, що спостерігається візуально).

2. Спостереження за роботою тригерів виконується по випромінюванню діодів. *SA3* – положення "Вниз". Через даний перемикач сигнал з колектора *VT3* (*KT4*) надходить на вхід тригера 1, та діоди *VD3*, *VD4*.

Перемикач *SA6* ввімкнути в положення "Вгору". По частоті вмикання світлодіодів, можливо бачити стан тригерів.

3. За роботою чекаючого мультівібратора, спостерігають по випромінюванню діодів.

SA3 перевести в положення "Вгору". При цьому сигнал надходить на вхід чекаючого мультівібратора, через конденсатор *C1*.

SA5 перевести в положення "Вгору". По діодах *VD2*, *VD4* спостерігається перемикання чекаючого мультівібратора.

Імпульс запуску можна спостерігати на екрані осцилографа, приєднавши штекери до гнізда *KT1* та гнізда «Земля».

П) Вимір параметрів імпульсів мультівібраторів і тригерів

1. При дослідженні мультівібратора автоколивань перемикач *SA1* поставити в положення "Вгору", інші перемикачі залишити в попередньому стані. Спостерігається випромінювання світлодіодів, окрім *VD2* (чекаючий мультівібратор).

2. Приєднати канал I осцилографа до точок *KT1* і "корпус", канал II – до клем *KT4* і "корпус".

Замалювати форму імпульсів в гніздах *KT1* і *KT4*, *KT2* і *KT3*. Визначити тривалість, амплітуду і частоту імпульсів.

3. Перевести перемикач *SA2* в положення «Вниз», виміряти частоту та тривалість імпульсів в контрольних точках *KT1*, *KT4*, замалювати імпульси.

4. Замалювати імпульси в контрольних точках *KT1* – *KT4* тригера I.

5. Замалювати імпульси в контрольних точках *KT5*, *KT6* тригера II, та визначити тривалість імпульсів.

Порівняти тривалість і частоту імпульсів тригерів I і II з тривалістю і частотою імпульсів, мультівібратора (автоколивань).

6. Перед спостереженням і виміром параметрів імпульсів чекаючого мультівібратора, перемикач $SA1$ перевести в положення "Вниз".

Контрольні питання

1. Що називається імпульсом?
2. Перелічити та охарактеризувати параметри імпульсів.
3. У яких випадках ланцюг RC називається ланцюгом зв'язку, та у яких випадках цей ланцюг виконує роль ланцюга, що диференціює?
4. Призначення елементів схем мультівібратора і тригера.
5. Пояснити принцип роботи мультівібратора і тригера.
6. Якими з існуючих схем у даній лабораторній роботі можна здійснити затримку імпульсу в часі і яка схема дозволяє розширити імпульс?
7. Де можуть застосовуватися мультівібратори і тригери? Приведіть приклади.
8. Що відбудеться, якщо в тригері I від'єднаються конденсатори $C1$ і $C2$?
9. Що відбудеться, якщо від'єднається чи проб'ється конденсатор, що блокує джерело живлення?
10. Як впливає величина ємності $C2$ у чекаючому мультівібраторі, на тривалість імпульсу?
11. Що відбудеться, якщо змінити полярність під'єднання діодів $VD3$ і $VD4$ у схемі тригера 1?
12. Привести довідникові дані активних елементів, а також ІС, що використовуються у лабораторній роботі з урахуванням режимів роботи схеми (частоти, струму, потужності що розсіюється і прикладеної напруги).

Додаток А

Основні стандарти, що використовуються при оформленні лабораторних робіт

1. ДСТУ 2.702-75. Правила виконання електричних схем.
2. ДСТУ 2.701-76. Схеми. Види і типи. Загальні вимоги до виконання.
3. ДСТУ 2.747-68. Позначення. Умовні, графічні в схемах. Розміри умовних графічних позначень.
4. ДСТУ 2.743-72. Позначення умовні графічні в схемах. Двійкові логічні елементи.
5. ДСТУ 18.630-73. Трансформатори імпульсні. Основні параметри.

Буквені позиційні позначення елементів:

конденсатор – C ;

логічний елемент, мікросхема – D ;

резистор – R ;

потенціометр – RP ;

трансформатор, автотрансформатор – TV ;

діод, стабілітрон – VD ;

транзистор – VT ;

тиристор – VS .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, ОЭП. Справочник под редакцией Горюнова Н. Н. – М.: «Энергоиздат», 1987. – 744 с.
2. Новаченко И. В. Микросхемы для бытовой аппаратуры. Справочник / Новаченко И. В. и др. – М.: «Радио и связь», 1989. – 384 с.
3. Замятин В. Я. Тиристоры. Справочник / Замятин В. Я и др. – М.: "Радио и связь", 1987. – 576 с.
4. Терещук Р. М. Справочник радиолюбителя / Терещук Р. М. – Киев.: "Наукова думка", 1981. – 671 с.
5. Андреев Ю. Н. Резисторы. Справочник / Андреев Ю. Н. – М.: "Энергоиздат", 1981. – 352 с.
6. Нефедов А. В. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги. Справочник / Нефедов А. В., Гордеева В. И. – М.: "Радио и связь", 1990. – 401 с.
7. Забродин Ю. С. Промышленная электроника, учебник для ВУЗов. / Забродин Ю. С. – М.: "Высшая школа", 1982.
8. Транзисторы. Справочник под общей редакцией И. Ф. Николаевского. – М.: "Связь", 1969. – 624 с.

Навчальне видання

ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИВІБРАТОРІВ ТА ТРИГЕРІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи

ЧЕРЕНКОВ Олександр Данилович
ЧОРНА Марія Олександрівна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 2*

Наклад 50 пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44
Навчальне видання