

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Інтелектуальні системи енергопостачання»

**АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Методичні рекомендації до лабораторної роботи

Електронний аналог
друкованого видання

ДНІПРО
2023

УДК 621.331
А 22

Укладачі:
В.М. Ляшук , Д.Р. Земський

Експерти:
д.т.н., проф. *О.В. Остапчук* (КПІ)
д.т.н., проф. *Б.Є. Боднар* (УДУНТ)

Рекомендовано МКФ УЕП (протокол №3 від 15.11.2022)
Зареєстровано НМВ УДУНТ (Підстава № 606 від 02.05.2023)

Автоматизація систем електропостачання: методичні рекомендації до лабораторної роботи / уклад.: В. М. Ляшук; Український державний університет науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2023. – 42 с.

Методичні рекомендації призначені для використання студентами всіх форм навчання спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка під час проведення лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизація систем електропостачання» та їх самостійної роботи, можуть бути використані слухачами інституту післядипломної освіти.

Методичні рекомендації містять основні теоретичні положення для засвоєння матеріалу, інструкції до виконання лабораторних робіт, вимоги до аналізу результатів та оформлення робіт. У методичних вказівках наведено принципові схеми експериментальних установок, завдання, рекомендації щодо проведення дослідів та самостійної обробки результатів виміру, контрольні запитання для самоперевірки.

© Ляшук В.М., Земський Д.Р. укладання, 2023

© Вид-во Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ, ОФОРМЛЕННЮ	
ЗВІТІВ.....	4
Лабораторна робота №1. RC - КОЛА.....	5
Лабораторна робота №2. КОНДЕНСАТОРНІ ЕЛЕМЕНТИ ЧАСУ	
НА НАПІВПРОВІДНИКАХ.....	9
Лабораторна робота №3. ТРИГЕРИ НА ТРАНЗИСТОРАХ.....	16
Лабораторна робота №4. МУЛЬТИВІБРАТОР НА НАПІВПРОВІДНИКО-	
ВИХ ТРАНЗИСТОРАХ.....	20
Лабораторна робота №5. ОДНОВІБРАТОР НА ТРАНЗИСТОРАХ.....	24
Лабораторна робота №6. БЛОКІНГ - ГЕНЕРАТОР.....	27
Лабораторна робота №7. ФАНТАСТРОННІ ГЕНЕРАТОРИ ІМПУЛЬСІВ	34
Лабораторна робота №8. АМПЛІТУДНІ ДІОДНІ ОБМЕЖУВАЧІ.....	36
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	41

ВСТУП

Дисципліна «Автоматизація систем електропостачання» відноситься до вибіркової компоненти освітньо-професійної програми. Електротехнічні системи електроспоживання.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт сприяють досягненню наступних очікуваних результатів навчання – проводять натурні або імітаційні експерименти чи досліди в спеціально обладнаних навчальних лабораторіях з використанням устаткування, пристосованого для умов навчального процесу. У ході підготовки до кожної лабораторної роботи передбачається обов'язкове використання підручників, конспекту лекцій, а в окремих випадках і спеціальної літератури або Інтернету. Усі лабораторні роботи містять елементи дослідницького характеру.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ, ОФОРМЛЕННЮ ЗВІТІВ

1. До виконання лабораторної роботи кожний студент повинен:
 - 1.1. Пройти інструктаж з охорони праці (одноразово на початку семестру).
 - 1.2. Зробити заготовку у зошиті з лабораторних робіт.
 - 1.3. Підготуватися по основній та додатковій літературі.
2. Кожний студент зобов'язаний вести робочий зошит, у який заноситься наступне:
 - найменування та мета роботи;
 - схема електричних з'єднань;
 - таблиця для запису характеристик апаратів і приладів, використаних у лабораторній роботі;
 - графіки та характеристики (за необхідності);
 - висновки.
3. При складанні складних схем спочатку потрібно збирати силове коло, а потім-вторинні кола: керування, сигналізації, виміру. Подавати напругу можна лише після перевірки схеми викладачем або завідувачем лабораторією.
4. До виконання роботи рекомендується приступати тільки тоді, коли чітко встановлена послідовність її виконання і розподілені обов'язки між членами бригади.
5. По закінченню роботи слід показати викладачеві результати вимірів і побудувати по них графіки, дати характеристики, не розбираючи схеми. Після перевірки результатів схему потрібно розібрати й розмістити прилади, апаратуру й проводи в такому порядку, у якому вони були перед початком роботи.
6. Звіти в лабораторних роботах оформляються в спеціально виділених зошитах; схеми виконуються з дотриманням вимог діючих ДСТУ .
7. Звіт по лабораторній роботі представляється викладачеві на наступному черговому занятті в лабораторії.
8. Заліки по кожній лабораторній роботі здаються на занятті, або в час консультацій згідно з розкладом. Лабораторне заняття проводиться зі студентами, кількість яких, як правило, не перевищує 10 осіб. [1].

RC - КОЛА

Мета роботи. Дослідження роботи диференційних та інтегруючих кіл.

1. Короткі теоретичні відомості**1.1. Призначення та класифікація кіл RC.**

RC-кола призначені для перетворення тривалості імпульсів, які подаються на вхід RC кола від генератора імпульсів. Їх використовують у пристроях автоматики, телемеханіки та цифрової апаратури.

Якщо RC-коло скорочує тривалість вхідного імпульсу, його називають диференційним (скорочувальним). У цьому колі вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ знімається з активного опору (рис. 1.1, а). Окрім цього, конденсатор повинен заряджатися задовго до закінчення імпульсу, тому для диференційного кола має виконуватися умова:

$$\tau \ll t_i, \quad (1.1)$$

де τ – постійна часу кола ($\tau = RC$);

t_i – тривалість вхідного імпульсу.

Коло RC, яке подовжує тривалість імпульсу, називають інтегруючим (подовжувальним). В інтегруючому колі вихідна напруга знімається з конденсатора (рис. 1.1, б), який заряджається повільно при виконанні умови:

$$\tau \gg t_i. \quad (1.2)$$

1.2. Дія прямокутного імпульсу на диференційне коло.

В момент надходження на вхід кола позитивного імпульсу величиною U_m (рис. 1.1, в), на резисторі R виділяється весь позитивний стрибок вхідної напруги U_m , так як напруга на конденсаторі C миттєво змінитися не може. Далі починає заряджатися конденсатор C за експоненціальним законом:

$$u_c = U_{\text{вх}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = U_m \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \quad (1.3)$$

Внаслідок цього, напруга на виході кола $U_{\text{вих}}$ (рис. 1.1, д), рівна різниці $U_{\text{вх}}$ і u_c зменшується з тією же швидкістю, з якою напруга на конденсаторі u_c збільшується. Так як, конденсатор заряджається швидко до величини вхідної напруги U_m , то напруга на виході стає рівною нулеві задовго до закінчення вхідного імпульсу.

Після закінчення вхідного імпульсу конденсатор стає підключеним через джерело живлення до резистора R . При цьому на виході з'являється напруга величиною U_m з негативною полярністю на верхньому кінці резистора R і позитивною полярністю на нижньому кінці резистора. Конденсатор швидко розряджається через резистор й напруга на виході зменшується до нуля.

Таким чином, кожний вхідний прямокутний імпульс перетворюється розглянутим колом в два експоненціальних короточасних імпульси різної полярності.

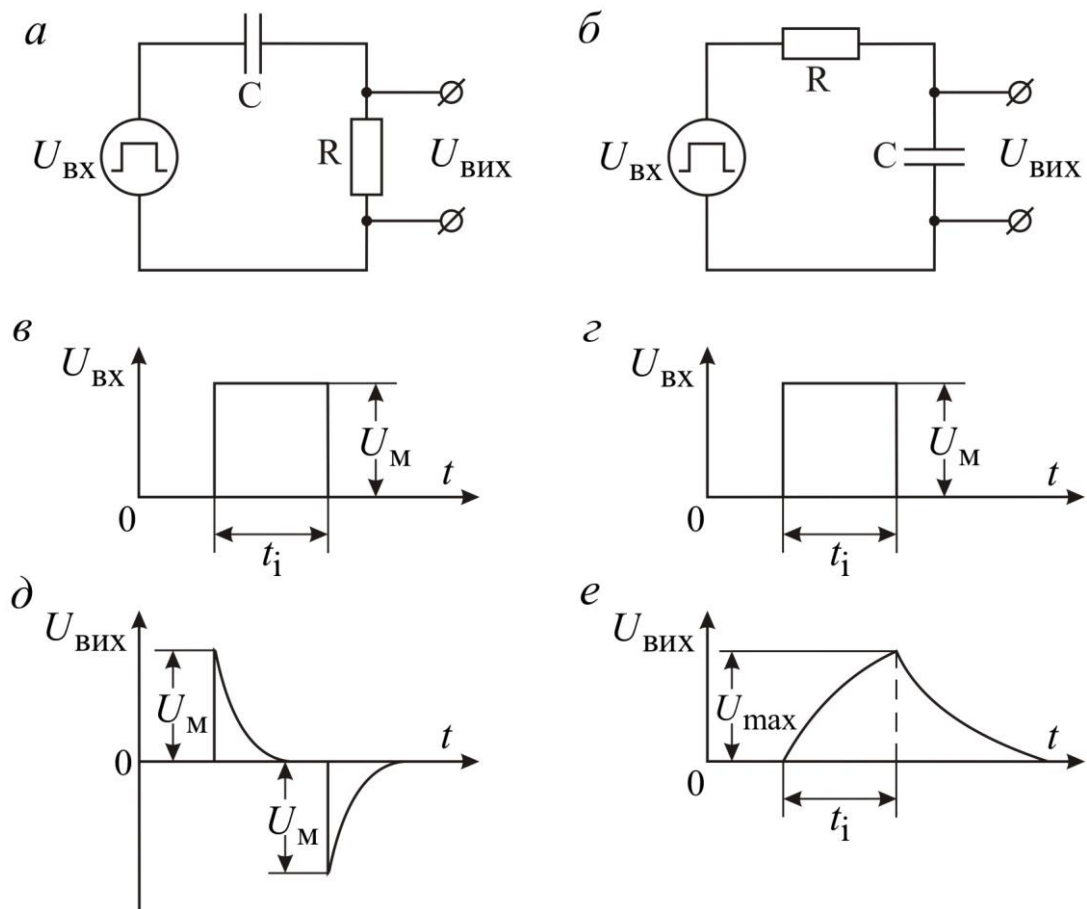


Рисунок 1.1. Дія імпульсної напруги на RC-кола: а – схема диференційного кола; б – схема інтегруючого кола; в, г – вхідна напруга кіл; д, е – напруга виходу кіл.

1.3. Дія прямокутного імпульсу на інтегруюче коло.

Так як, напруга на конденсаторі C (рис. 1.1, б) миттєво змінитися не може, то в момент надходження прямокутного імпульсу (рис. 1.1, г) вся вхідна напруга виділяється на резисторі R , а вихідна напруга $U_{\text{вих}} = u_C$ дорівнюватиме нулеві (рис. 1.1, е). Далі конденсатор починає повільно заряджатися ($\tau \gg t_i$) за експоненціальним законом (1.3).

До моменту закінчення вхідного імпульсу конденсатор зарядиться до деякого максимального значення напруги U_{max} , потім почне розряджатися через резистор R , формуючи задній фронт імпульсу. Приблизно через час 3τ після закінчення вхідного імпульсу конденсатор C практично розрядиться, тобто тривалість імпульсу на виході розглянутого кола дорівнюватиме:

$$t_{i \text{ вих}} = t_i + 3\tau. \quad (1.4)$$

З виразу (1.4) виходить, що RC-коло з ємнісним виходом подовжує тривалість вхідного імпульсу, а з виразу (1.5) видно, чому його називають інтегруючим.

$$U_{\text{вих}} = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_{\text{вх}} dt \quad (1.5)$$

2. Порядок виконання роботи

- 2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.
 2.2. Розрахувати схему реального диференційного кола (рис. 1.2). Вихідні дані для розрахунку задаються керівником лабораторних робіт за табл. 1.1.

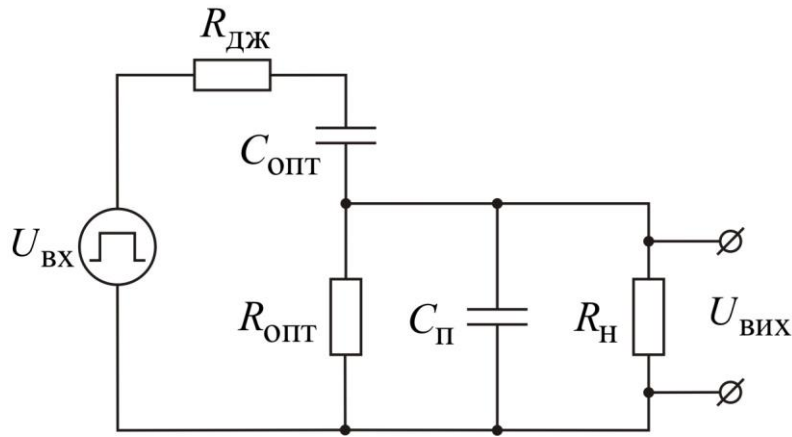


Рисунок 1.2. Схема реального диференційного кола

Таблиця 1.1

Вихідні дані для розрахунку схеми реального диференційного кола

Параметри	Номер варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активна тривалість вихідного імпульсу t_{ia} , мкс	100	120	140	150	130	140	120	150	130	100
Опір джерела прямокутних імпульсів $R_{дж}$, кОм	4,2	3,5	2,5	3,5	4,5	3,0	3,8	4,8	5,3	3,0
Паразитна ємність підключеного навантаження C_n , пФ	350	400	250	300	350	300	250	200	350	400

– визначити постійну часу кола за формулою:

$$\tau = \frac{t_{ia}}{0,7}, \quad (1.6)$$

де t_{ia} – активна тривалість вихідного імпульсу (проміжок часу при якому імпульсна напруга або струм перевищує деякий рівень, оцінений в долях

амплітудного значення; зазвичай активну тривалість імпульсу вимірюють на рівні 50 % від амплітудного значення), с;

- розрахувати оптимальну величину робочого опору:

$$R_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\tau R_{\text{дк}}}{C_n}}, \quad (1.7)$$

де $R_{дж}$ – опір джерела прямокутних імпульсів, Ом;

C_n – паразитна ємність підключеного навантаження, Ф;

– визначити оптимальну величину робочої ємності:

$$C_{\text{опт}} = \frac{\tau}{R_{\text{опт}}}. \quad (1.8)$$

2.3. Виконати моделювання схеми реального диференційного кола (рис. 1.2). Параметри схеми встановити відповідно до розрахункових одержаних в пункті 2.2. При цьому опір підключеного навантаження в схемі для всіх варіантів становить 500 кОм. Виміряти активну тривалість вихідного імпульсу. Порівняти виміряну тривалість з розрахунковою.

2.4. Дослідити роботу диференційного та інтегруючого кола за схемою (рис. 1.3) при відповідних положеннях перемикачів.

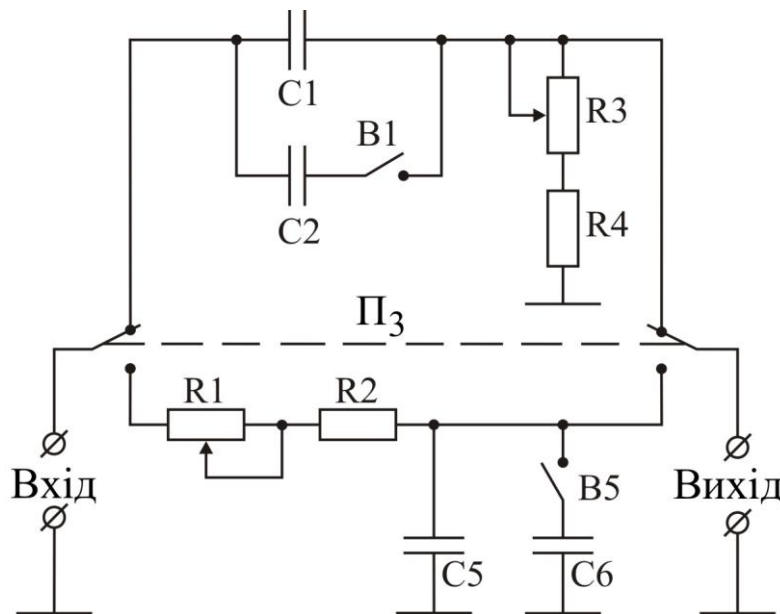


Рисунок 1.3. Схема диференційного та інтегруючого кола

2.4.1. Перемикач Π_3 встановити в верхнє положення, B_1 розімкнути. Зняти осцилограми вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ при $R_3 = \max, R_3 = \min$.

2.4.2. Замкнувши перемикач B_1 зняти осцилограми $U_{\text{вих}}$ ($R_3 = \text{max}$, $R_3 = \text{min}$).

2.4.3. Встановити перемикач Π_3 в нижнє положення, B_5 розімкнути. Зняти осцилограми $U_{\text{вих}}$ ($R_1 = \max, R_1 = \min$).

2.4.4. Замкнувши перемикач B_5 , зняти осцилограми $U_{\text{вих}}$ ($R_1 = \text{max}$, $R_1 = \text{min}$).

3. Зміст звіту

- 3.1. Назва роботи.
- 3.2. Мета роботи.
- 3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 3.4. Схеми рис. 1.2 та рис. 1.3.
- 3.5. Розрахунок реального диференційного кола за п. 2.2.
- 3.6. Осцилограми вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ за п. 2.4.
- 3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення диференційного кола?
2. Яке призначення інтегруючого кола?
3. Яка умова має виконуватися для диференційного кола?
4. Яка умова має виконуватися для інтегруючого кола?
5. Який принцип дії диференційного кола?
6. Який принцип дії інтегруючого кола?
7. За яким законом змінюється напруга на конденсаторі в RC колах?

Лабораторна робота № 2

КОНДЕНСАТОРНІ ЕЛЕМЕНТИ ЧАСУ НА НАПІВПРОВІДНИКАХ

Мета роботи. Дослідження реле часу та транзисторно-ємнісної лінії затримки.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення реле часу.

Реле часу призначене для створення необхідної затримки при передачі впливу між частинами приладів автоматики. В реле можна виділити три характерні частини:

- сприймаючу, куди надходить вхідний сигнал;
- сповільнювану, яка здійснює задану витримку часу;
- виконавчу, яка формує вихідний сигнал.

1.2. Блок напівпровідникового реле часу.

В різних електронних пристроях автоматики, телемеханіки та релейного захисту для утворення часових інтервалів широке застосування знаходять схеми, в яких використовують перехідний процес заряду, розряду або перезаряду конденсаторів в аперіодичному колі.

Такі схеми автономні, готові до дії в будь-який момент часу, характеризуються високими показниками точності та надійності. Для реалізації цих схем необхідна мала кількість елементів. Можливий часовий інтервал роботи їх досить широкий: від мікросекунд до декількох десятків секунд.

Утворення часового інтервалу при розряді конденсатора можна розглянути на принципі дії блоку напівпровідникового реле часу, схема якого показана на

рис. 2.1.

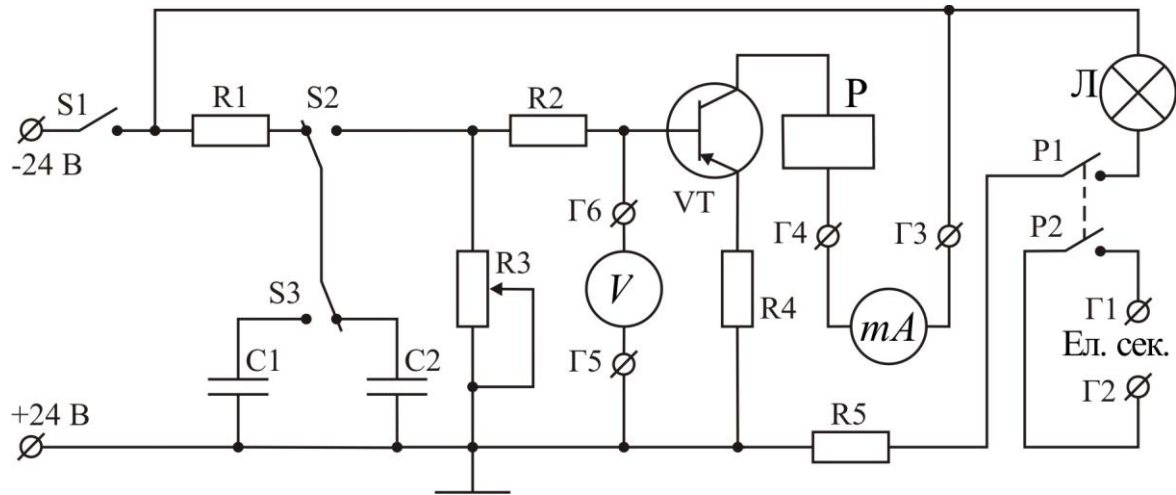


Рисунок 2.1. Схема напівпровідникового реле часу

Коли перемикач S_2 знаходиться у лівому положенні та увімкнений перемикач живлення S_1 , то один з конденсаторів C_1 або C_2 (в залежності від положення перемикача S_3) заряджається до напруги живлення через резистор R_1 . Транзистор VT знаходиться в закритому положенні, через реле P колекторний струм транзистора не протікає, тому реле має відпущений якір та його вихідні контакти P_1 та P_2 розімкнені. Сигнальна лампочка L не горить. Перемкнувши S_2 в праве положення, від'ємна напруга конденсатора відкриває транзистор та починається розряд конденсатора через потенціометр R_3 та ланцюг R_2 – відкритий транзистор VT – R_4 . При цьому колекторний струм транзистора різко зростає та досягає струму спрацювання електромагнітного реле P . Останнє притягує свій якір, замикає вихідні контакти й загоряється лампочка. Реле буде утримувати свої контакти, створюючи витримку часу.

По мірі розряду конденсатору зменшується від'ємний потенціал на базі транзистора VT та він закривається. Колекторний струм транзистора зменшується до струму відпускання реле P , таким чином, реле відпустить свій якір і розімкне вихідні контакти, після чого лампочка погасне.

Отже, витримка часу залежить від ємності конденсатора й величини опорів.

1.3. Транзисторна-ємнісна лінія затримки.

Досить часто в пристроях телемеханіки потрібно формувати затриманий прямокутний імпульс заданої тривалості, зсунений на визначений час відносно початку керуючого імпульсу. Принцип формування такої затримки прямокутного імпульсу можна вияснити, розглянувши схему транзисторна-ємнісної лінії затримки (рис. 2.2) та діаграму роботи даної схеми (рис. 2.3).

В початковому стані транзистори $VT_1 - VT_n$ відкриті та насичені, так як негативний потенціал від $-E_k$ надходить через резистор R_6 на їх бази. На вхід лінії надходить нуль (позитивна напруга величиною приблизно $0,5\text{ В}$). Діод зв'язку VD_3 при цьому відкритий й потенціал його катоду приблизно рівний

нулю, хоча й трішки від'ємний. Струм від джерела сигналу протікає по ланцюгу: діод VD_3 – резистор R_1 – $(-E_k)$. Між катодом діода VD_3 і базою транзистора VT включені компенсаційні діоди VD_{k1} та VD_{k2} . Струм зміщення від $+E_{зм}$, протікаючи через діоди VD_{k1} та VD_{k2} , створює на них пряме падіння напруги, по абсолютній величині більше потенціалу катода діода VD_3 . В результаті потенціал бази транзистора вище нуля, тому транзистор VT в початковому стані закритий.

Оскільки транзистор VT закритий, то потенціал лівої обкладинки конденсатора C_1 приблизно рівний величині $-E_k$, а потенціал правої дорівнюватиме нулю, потенціалу корпусу (падіння напруги на діоді VD_1 близьке до нуля). Отже, конденсатор C_1 заряджений приблизно до величини $-E_k$. Всі інші конденсатори лінії затримки $C_2 - C_n$ розряджені, потенціали їх правих і лівих обкладинок однакові (потенціал лівих обкладинок конденсаторів рівний нулю, так як падіння напруги на переходах «емітер-колектор» відкритих транзисторів $VT_1 - VT_n$ близьке до нуля).

Якщо на вхід схеми подати негативний потенціал, діод VD_3 при цьому закривається, потенціал бази транзистора VT стає негативним і транзистор відкривається. Як тільки транзистор VT відкриється, напруга на його колекторі стане близькою до нуля й конденсатор C_1 почне розряджатися через діод VD_2 – резистор R_6 . При розряді конденсатора C_1 транзистор VT_1 закривається, потенціал його колектору стає негативним. З цього моменту буде заряджатися конденсатор C_2 по ланцюгу: $-E_k - R_k - C_2 - VD_1$. Заряд ємності C_2 відбудеться швидше ніж розряд конденсатора C_1 , оскільки постійна часу заряду τ_3 ($\tau_3 = R_k C_2$) значно менша постійної часу розряду τ_p ($\tau_p = R_6 C_1$).

Після закінчення розряду конденсатора C_1 транзистор VT_1 знову відкривається, і починається розряд ємності C_2 . Транзистор VT_2 при цьому закривається та починається заряд ємності C_3 . Таким чином, процес буде здвигатися від першого каскаду затримки до другого, від другого до третього і т. д., поки на виході лінії затримки не з'явиться позитивний імпульс. Диференційна схема, підключена до виходу, передає позитивний диференційний імпульс на навантаження.

Час затримки каскаду в такій схемі не може бути більше тривалості керуючого вхідного імпульсу:

$$t_{зтн} \leq t_{кер}. \quad (2.1)$$

Якщо виконується умова (2.1) та $C_1 = C_2 = \dots = C_n = C$ і $R_{61} = R_{62} = \dots = R_{6n} = R_6$, то час затримки n -го каскаду може бути приблизно розрахований, як:

$$t_{зтн} \approx 0,7 R_6 C. \quad (2.2)$$

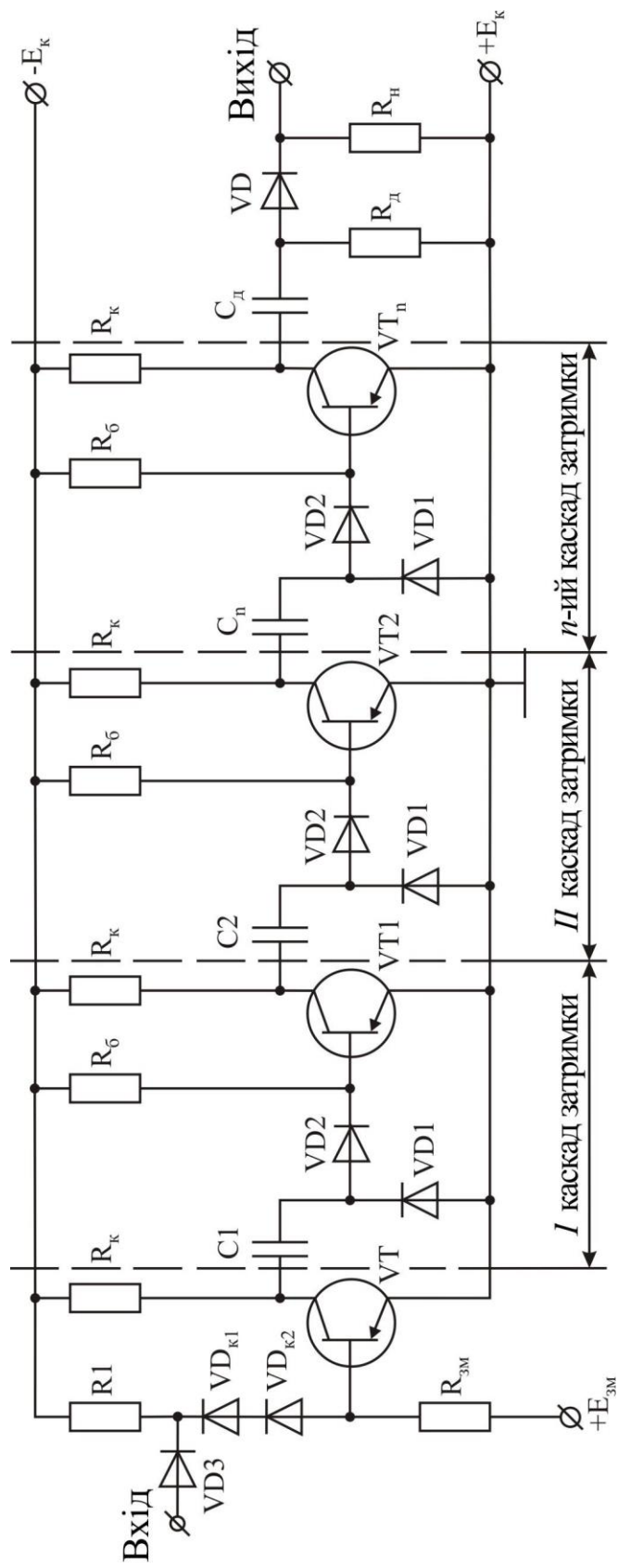


Рисунок 2.2. Схема транзисторно-ємнісної лінії затримки

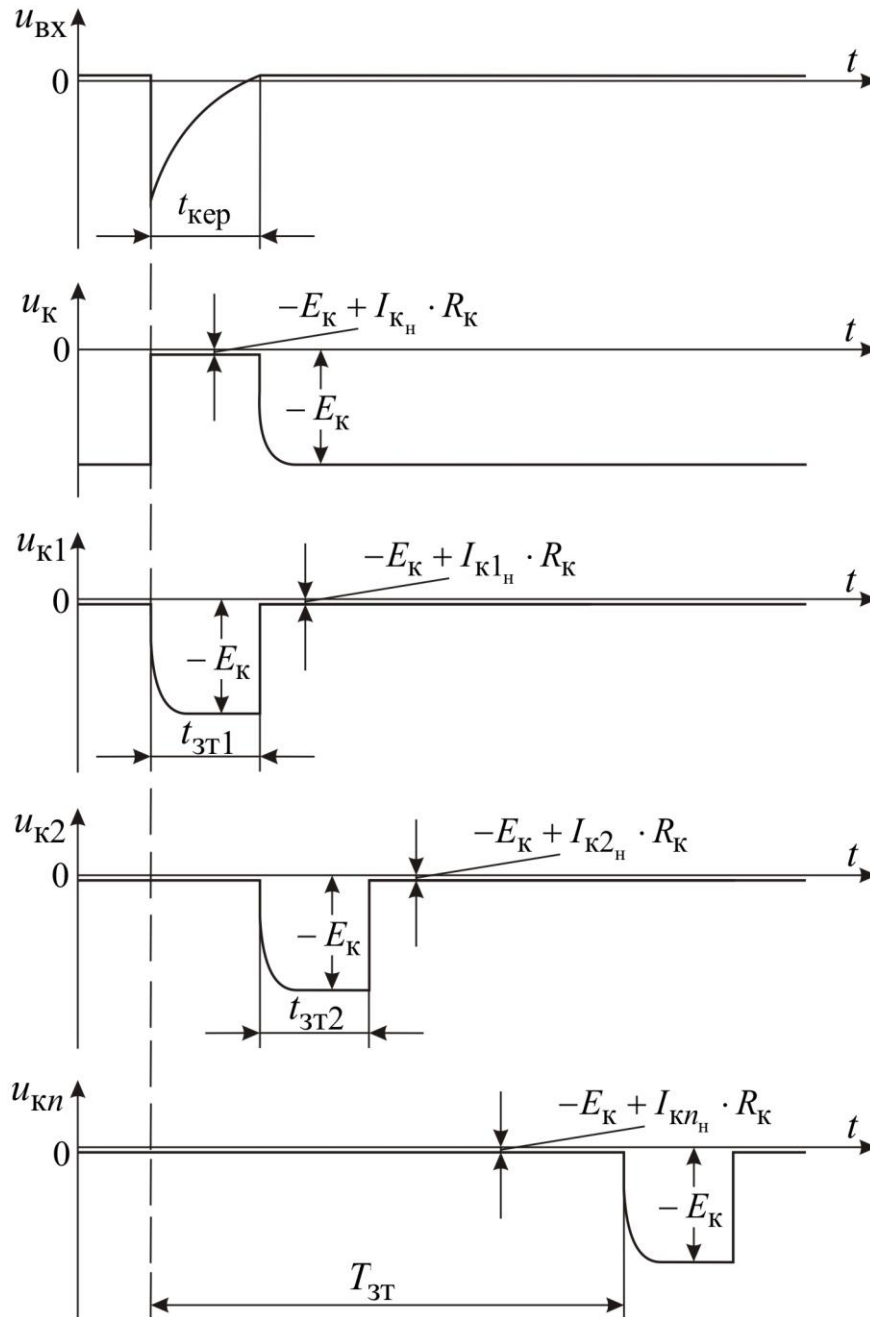


Рисунок 2.3. Діаграма роботи транзисторно-емісної лінії затримки

Так як останній транзистор не створює затримки, а тільки фіксує час закінчення роботи попереднього каскаду, то повний час затримки лінії $T_{зТ}$ приблизно дорівнюватиме:

$$T_{зТ} \approx 0,7(n-1)R_6C, \quad (2.3)$$

де n – число каскадів затримки.

Перевагами даної транзисторно-емісної лінії затримки є: відсутність затухання імпульсів (в кожному каскаді затримки відбувається повне відновлення амплітуди сигналу), можливість забезпечення тривалих витримок часу при великій завадостійкості. Недоліком являється залежність

часу затримки каскаду від тривалості керуючого імпульсу.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Дослідити ступінчате регулювання витримки часу схеми блоку напівпровідникового реле часу (рис. 2.1) шляхом перемикання ємностей C_1 і C_2 перемикачем S_3 та регулюючи значення потенціометра R_3 . Отримані дані секундоміра часу замкнутого стану контактів реле P занести до табл. 2.1.

2.3. Виміряти струм спрацювання $I_{\text{спр}}$ та відпускання $I_{\text{відп}}$ реле P схеми блока напівпровідникового реле часу (рис. 2.1).

Для цього необхідно до гнізд Γ_3 і Γ_4 підключити ланцюг з послідовним з'єднанням міліамперметра та потенціометра R_6 (рис. 2.4). Перемикачем S_3 ввести в роботу конденсатор, при якому час замкнутого стану контактів реле максимальний та встановити значення потенціометра R_3 на максимум. Регулюючи значення потенціометра R_6 , виконати вимір кожного струму тричі.

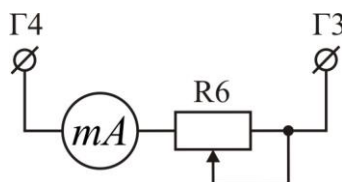


Рисунок 2.4. Ланцюг для виміру струму спрацювання та відпускання реле P

За середнім значенням струму спрацювання $I_{\text{спр}}$ та струму відпускання $I_{\text{відп}}$ реле визначити коефіцієнт повернення за формулою

$$k_{\text{пов}} = \frac{I_{\text{відп}}}{I_{\text{спр}}}. \quad (2.4)$$

Таблиця 2.1

Результати дослідження ступінчатого регулювання часу схеми блоку напівпровідникового реле часу

Конденсатор, який знаходиться в роботі	Положення потенціометра R_3	Час замкнутого стану контактів реле t , с
C_1	$R_3 = \text{max}$	
	$R_3 = \text{min}$	
C_2	$R_3 = \text{max}$	
	$R_3 = \text{min}$	

2.4. Розрахувати час затримки n -го каскаду $t_{\text{зт}n}$ та повний час затримки $T_{\text{зт}}$ транзисторно-ємнісної лінії затримки (рис. 2.2) для чотирьох каскадів за формулами (2.2) і (2.3) відповідно. Значення опору R_6 та ємності C для розрахунку задаються керівником лабораторних робіт. Результати розрахунку занести до табл. 2.2.

Результати дослідження транзисторно-ємнісної лінії затримки

Час затримки каскадів t_{zt} , с				Повний час затримки лінії T_{zt} , с	
Вимірний			Розрахунковий	Вимірний	Розрахунковий
Першого	Другого	Третього			

2.5. Виконати моделювання схеми транзисторно-ємнісної лінії затримки (рис. 2.2), яка складається із чотирьох каскадів. Параметри схеми встановити відповідно до розрахункових одержаних у п. 2.4.

2.5.1. Виміряти час затримки кожного каскаду та повний час затримки схеми. Результати дослідження занести до табл. 2.2.

2.5.2. Зняти діаграму роботи схеми відповідно до рис. 2.3.

3. Зміст звіту

- 3.1. Назва роботи.
- 3.2. Мета роботи.
- 3.4. Схеми рис. 2.1 та рис 2.2.
- 3.5. Таблиці результатів дослідження 2.1 та 2.2.
- 3.6. Діаграма роботи схеми транзисторно-ємнісної лінії затримки за п. 2.5.2.
- 3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення реле часу?
2. Який принцип дії блоку напівпровідникового реле часу?
3. Як впливає на роботу блоку напівпровідникового реле часу зміна значення потенціометра R_3 ?
4. Який принцип дії транзисторно-ємнісної лінії затримки?
5. Яку умову необхідно виконати для правильної роботи транзисторно-ємнісної лінії затримки?
6. Чому заряд конденсатора в каскаді транзисторно-ємнісної лінії затримки відбувається швидше, а ніж розряд?
7. Як впливає на час затримки каскаду транзисторно-ємнісної лінії затримки збільшення або зменшення значення ємності конденсатора в каскаді?
8. Як впливає на час затримки каскаду транзисторно-ємнісної лінії затримки збільшення або зменшення значення опору у ланцюгу бази транзистора в каскаді?
9. Які переваги та недоліки використання транзисторної-лінії затримки?

ТРИГЕРИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Мета роботи. Дослідження схеми тригера із автоматичним зміщенням та його розрахунку.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення тригерів.

Тригери – основні перемикаючі елементи в електронних пристроях автоматики та телемеханіки. Вони здатні необмежено довго зберігати будь-який із станів стійкої рівноваги і майже миттєво під дією керуючого імпульсу переходити в інший стійкий стан. Існують наступні схеми тригерів: без зміщення, із незалежним зміщенням, із автоматичним зміщенням.

Тригери без зміщення не знайшли практичного застосування. Найбільш широко в пристроях автоматики та телемеханіки використовують тригери із незалежним і автоматичним зміщенням.

1.2. Тригер із автоматичним зміщенням.

Схема тригера з автоматичним зміщенням представлена на рис. 3.1. Тригер складається із двох підсилювально-інверторних каскадів, з'єднаних між собою за допомогою двох резисторних колекторно-базових зв'язків та представляє собою схему, в якій відсутнє додаткове джерело напруги зміщення. В даній схемі напруга зміщення утворюється у вигляді падіння напруги на резисторі R_7 , який ввімкнений у загальний ланцюг емітерів обох транзисторів. Так як один із транзисторів обов'язково відкритий, то струм через резистор R_7 завжди протікає, таким чином, відбувається зниження потенціалу емітера. В малому інтервалі часу, коли відбувається перемикання тригера, напруга зміщення забезпечується за рахунок енергії конденсатора C_2 . Тригер може володіти двома станами рівноваги, які умовно позначаються «стан нуля» та «стан одиниці». Прийнято вважати «стан нуля» таким, коли лівий транзистор закритий, а правий відкритий. Для зміни стану тригера необхідно за допомогою перемикача Π_1 подати позитивний імпульс на базу транзистора VT_2 (верхнє положення перемикача).

Коли відсутній імпульс запуску, обидва діоди VD_1 та VD_2 закриті. Однак напруга закриття на діоді VD_1 буде невеликою, майже рівною напрузі на колекторному опорі закритого транзистора VT_1 . Діод VD_2 закритий напругою, близькою до E_k , так як потенціал його катоду, рівний потенціалу колектора відкритого транзистора VT_2 , близького до нуля.

Якщо на вхід схеми подати позитивний імпульс, амплітуда якого більша, ніж напруга на колекторному опорі VT_1 , то відкриється діод VD_1 . Імпульс запуску позитивної полярності надходить тільки на колектор закритого транзистора VT_1 , а через ланцюг зв'язку – на базу відкритого транзистора VT_2 , який при цьому закривається, викликаючи перекидання тригера. При

відкритті транзистора VT_1 та збільшення потенціалу його колектора, закривається діод VD_1 . Це приводить до того, що генератор імпульсів запуску відключається та не впливає на роботу тригера.

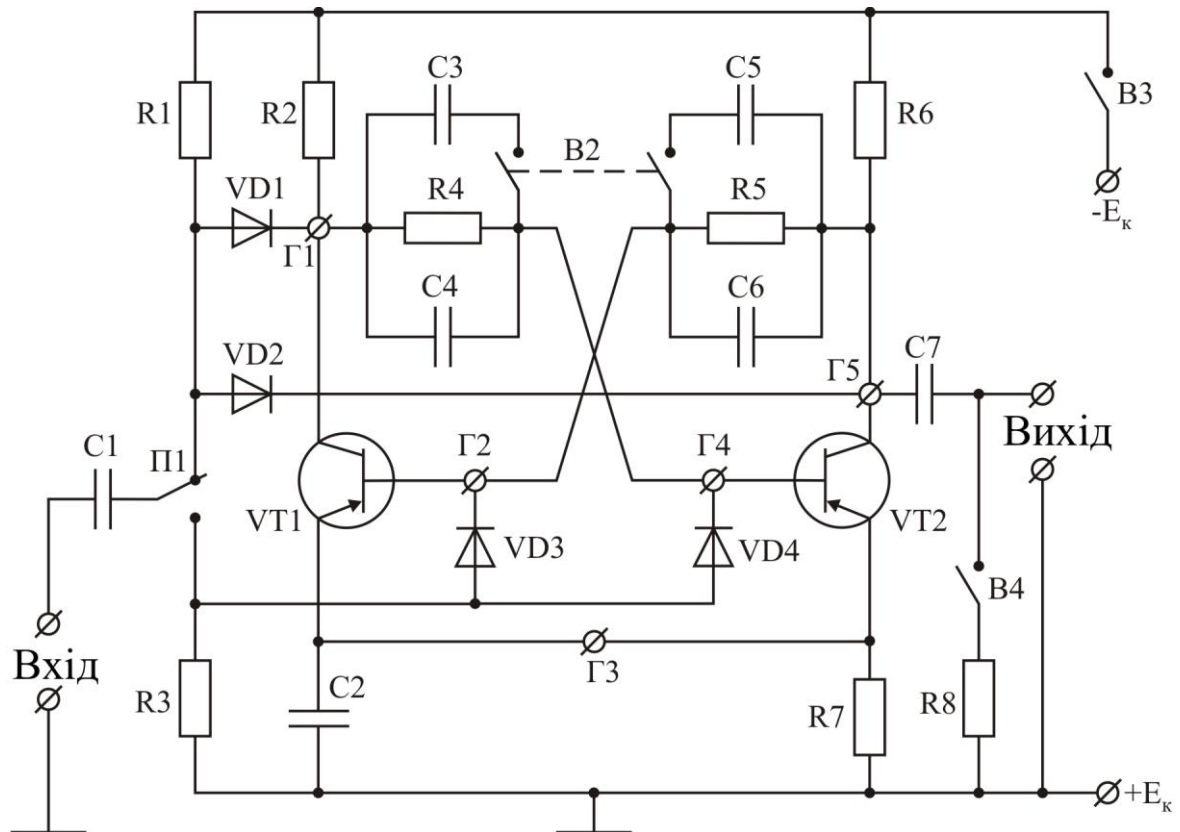


Рисунок 3.1. Схема тригера з автоматичним зміщенням

Коли необхідно виключити надходження імпульсів запуску безпосередньо на вхід наступного каскаду, зв'язаного з колектором одного із транзисторів тригера (у блоці з VT_2), то застосовують базову схему запуску тригера (перемикач Π_1 знаходиться в нижньому положенні).

Недоліком пропонованої схеми запуску по ланцюгу бази являється те, що імпульси позитивної полярності діють не тільки на базу відкритого транзистора, але й на базу закритого, що заважає перекиданню тригера. Краще перекидання тригера можливо, якщо на базу закритого транзистора подати негативний потенціал.

Конденсатори C_3 і C_4 , C_5 і C_6 являються прискорювальними. Вони сприяють прискоренню лавинopodobному процесу перекидання тригера. За звичай ці ємності не повинні бути менше 200 пФ.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Виконати розрахунок тригера з незалежним зміщенням (рис. 3.2), зібраного на транзисторах типу КТ203Б. Вихідні дані для розрахунку задаються керівником лабораторних робіт за табл. 3.1.

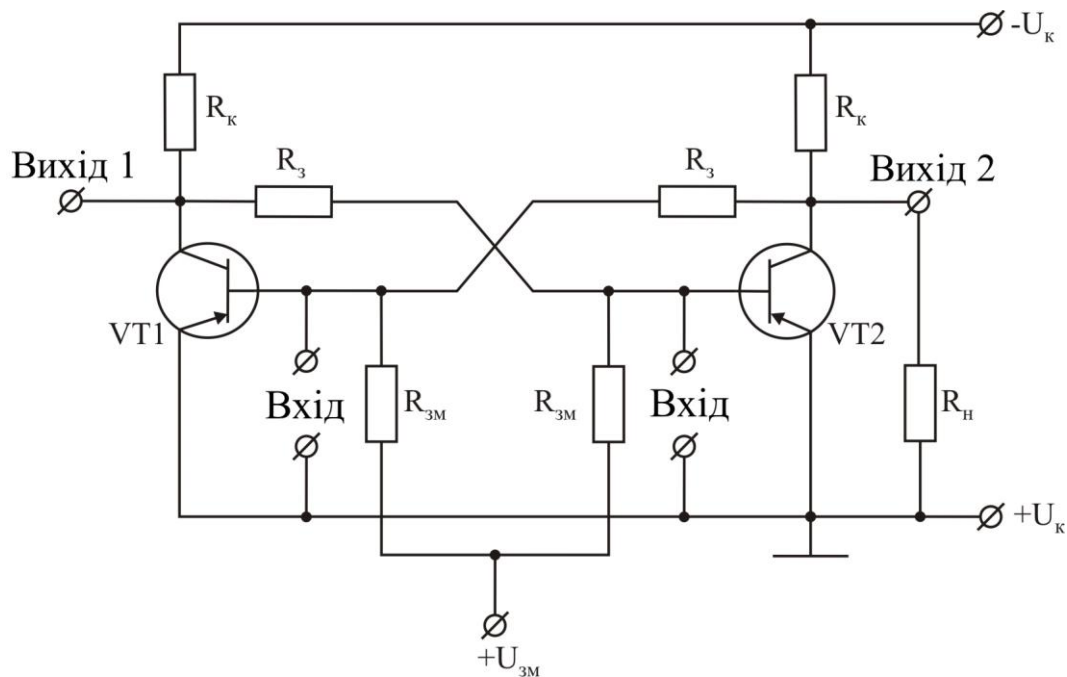


Рисунок 3.2. Схема тригера з незалежним зміщенням

2.2.1. Визначити відношення опору зворотного зв'язку до опору колектору:

$$k = \frac{R_3}{R_k} \leq \beta \frac{U_{min}}{U_{kmin}}, \quad (3.1)$$

де β_{min} – мінімальний коефіцієнт підсилення транзистора;

U_{min} – мінімальна напруга на навантаженні, В;

U_k – колекторна напруга, В;

2.2.2. Розрахувати значення опору в ланцюгу колектора транзистора:

$$R_k = R_n \left(\frac{U_k}{U_{min} \frac{k+1}{k}} \right), \quad (3.2)$$

де R_n – опір зовнішнього навантаження, Ом;

2.2.3. Визначити дійсний струм навантаження транзистора:

$$I_{kn} = \frac{U_k}{R_k} < I_{kmax}; \quad (3.3)$$

2.2.4. Розрахувати опір зворотного зв'язку:

$$R_3 = kR_k; \quad (3.4)$$

2.2.5. Визначити розрахунковий нульовий струм колекторного переходу закритого транзистора для заданої температури:

$$I_{k0poz} = I_{k0} 2^{\frac{t_{poz}-20}{10}} \cdot \frac{U_k}{U_{k6max}}, \quad (3.5)$$

де I_{k0} – нульовий струм колекторного переходу закритого транзистора при температурі 20 °C, А;

$t_{\text{роз}}$ – розрахункова температура, °C;

$U_{\text{кбmax}}$ – максимально допустима напруга колектор-база, В;

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку тригера з незалежним зміщенням

Параметри	Номер варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Колекторна напруга U_{κ} , В	26	30	22	28	20	26	24	22	28	20
Мінімальний коефіцієнт підсилення транзистора β_{min}	30	40	50	60	15	55	25	20	35	45
Опір зовнішнього навантаження $R_{\text{н}}$, кОм	2,4	3,6	4,5	2,5	2,0	5,0	3,7	4,0	3,0	4,0
Мінімальна напруга на навантаженні U_{min} , В	24	25	20	24	18	24	20	25	22	18
Розрахункова температура $t_{\text{роз}}$, °С	+35					+45				
Напруга зміщення $U_{\text{зм}}$, В	6					4				
Максимально допустима напруга колектор-база $U_{\kappa\delta_{max}}$, В	30									
Максимально допустимий імпульсний струм колектору $I_{\kappa_{max}}$, мА	50									
Нульовий струм колекторного переходу закритого транзистора при 20 °С I_{κ_0} , мкА	15									

2.2.6. Визначити опір зміщення тригера:

$$R_{\text{зм}} \leq \frac{U_{\text{зм}}}{I_{\text{к0роз}}}, \quad (3.6)$$

де $U_{\text{зм}}$ – напруга зміщення, В;

2.2.7. Розрахувати дійсну напругу на навантаженому виході тригера:

$$U_{\text{вих.2}} = \frac{U_{\text{к}}}{1 + \frac{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}{R_{\text{з}}}} \geq U_{\text{min}}; \quad (3.7)$$

2.2.8. Розрахувати дійсну напругу на ненавантаженому виході тригера:

$$U_{\text{вих.1}} = U_{\text{к}} \frac{R_{\text{з}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{з}}}. \quad (3.8)$$

2.3. Дослідити схему тригера з автоматичним зміщенням (рис. 3.1).

2.3.1. Замкнути перемикач B_3 , перемикач B_4 розімкнути. Виміряти рівень напруги на гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_4, \Gamma_5$.

2.3.2. Замкнути перемикач B_4 , виміряти рівень напруги на гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_4, \Gamma_5$.

2.3.3. Перемикачем Π_1 перемкнути тригер по колекторно-базовим та базовим зв'язкам.

3. Зміст звіту

3.1. Назва роботи.

3.2. Мета роботи.

3.3. Короткі теоретичні відомості.

3.4. Схеми рис. 3.1 та рис. 3.2.

3.5. Розрахунок тригера за п. 2.2.

3.6. Значення напруги в гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_4, \Gamma_5$ при замкнутому та розімкнутому перемикачі B_4 .

3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення тригерів?

2. Які існують різновидності тригерів?

3. Який принцип дії тригера з автоматичним зміщенням?

4. Як впливає на роботу тригера підключення конденсаторів C_5 і C_6 перемикачем B_2 ?

5. Яка зазвичай величина прискорювальних конденсаторів тригера з автоматичним зміщенням?

Лабораторна робота № 4

МУЛЬТИВІБРАТОР НА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ

Мета роботи. Дослідження роботи схеми мультівібратора з від'ємними базами та виконання його розрахунку.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення мультівібратора.

У пристроях телемеханіки широке застосування знаходять генератори, форма вихідної напругу яких різко відрізняється від синусоїдальної. Коливання такої форми носить назву релаксаційних коливань та бувають прямокутними, пилкоподібними, пилкоподібно-імпульсними і так далі.

Генератори релаксаційних коливань використовують в якості запускаючих та перемикаючих елементів, для ділення частоти, розвертки електронного променя в осцилографах і так далі.

Одним із видів релаксаційних генераторів являється мультивібратор, який виробляє електричні коливання, близькі по формі до прямокутних. Такі коливання мають широкий спектр частот. Цим визначається назва мультивібратор, що означає генератор великої кількості коливань.

1.2. Мультивібратор на транзисторах з від'ємними базами.

Мультивібратор на транзисторах, схема якого показана на рис. 4.1 складається із двох підсилювально-інверторних каскадів, кожний з яких має транзистор (відповідно VT_1 і VT_2), опір у ланцюгу бази (R_2 і R_4 ; R_3 і R_5) та опір у ланцюгу колектору (R_1 і R_6). Колектор транзистора VT_1 з'єднаний з базою транзистора VT_2 конденсатором C_2 (або C_1 та C_2 при замкнутому перемикачі B_1), а колектор транзистора VT_2 – з базою транзистора VT_1 конденсатором C_4 (або C_3 та C_4 при замкнутому перемикачі B_2). Таким чином, мультивібратор має ємнісні колекторно-базові зв'язки.

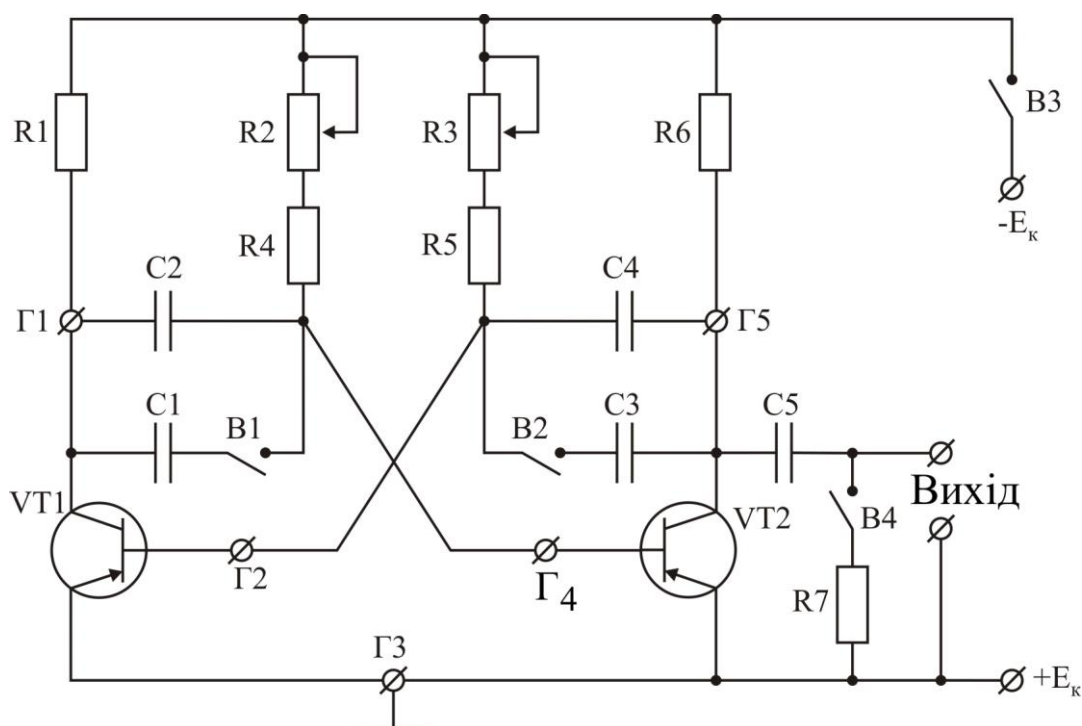


Рисунок 4.1. Схема мультивібратора на транзисторах з від'ємними базами

Мультивібратор має два режиму роботи – режим розкачування та режим основної роботи. Режим розкачування характеризує роботу мультивібратора від моменту подання напруги на схему до сталого генерування імпульсів (режим основної роботи).

При поданні напруги перемикачем B_3 обидва транзистора починають відкриватися, так як на їх бази подана негативна напруга від джерела живлення через базові опори. Крім цього, негативна напруга подається на бази транзисторів через колекторні опори і закорочені в перший момент подання напруги ємності (згідно до закону комутації).

Кожний транзистор, відкриваючись, намагається закрити протилежний, подаючи через ємності позитивні напруги на бази. Із-за технологічного

розкиду параметрів елементів схеми один із транзисторів буде відкриватися швидше, отже, і його закриваючий вплив на протилежний транзистор буде більший. У кінцевому результаті це приведе до того, що один із транзисторів відкриється повністю, а інший закриється. На цьому закінчується режим розкачування.

Припустимо, що в результаті режиму розкачування транзистор VT_1 опинився відкритий, а транзистор VT_2 – закритим. У цей час відбувається заряд конденсатора C_4 (перемикачі B_1 та B_2 розімкнені) по ланцюгу: $(+E_K) - \text{корпус} - \text{перехід «емітер-база» відкритого транзистора } (VT_1 - C_4 - R_6 - (-E_K))$. Закритий стан транзистора VT_1 підтримується за рахунок розряду ємності C_2 по ланцюгу: $C_2 - R_4 - R_2 - (-E_K) - (+E_K) - \text{корпус} - \text{перехід «емітер-колектор» відкритого транзистора } VT_1 - C_2$. Струм розряду створює на опорах R_2 і R_4 позитивне падіння напруги по відношенні до бази транзистора VT_2 .

Після закінчення розряду конденсатора C_2 , транзистор VT_2 відкривається, так як до його бази буде прикладена негативна напруга. З цього моменту почне розряджатися ємність C_4 по ланцюгу: $C_4 - R_5 - R_3 - (-E_K) - (+E_K) - \text{корпус} - \text{перехід «емітер-колектор» відкритого транзистора } VT_2 - C_4$. Струм розряду створює на опорах R_3 і R_5 позитивне падіння напруги по відношенні до бази транзистора VT_1 та він закривається. При цьому буде заряджатися ємність C_2 по ланцюгу: $(+E_K) - \text{корпус} - \text{перехід «емітер-база» відкритого транзистора } VT_2 - C_2 - R_1 - (-E_K)$. Потім процеси повторюються.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Виконати розрахунок мультівібратора з від'ємними базами (рис. 4.1), зібраного на транзисторах типу КТ203Б. Вихідні дані для розрахунку задаються керівником лабораторних робіт за табл. 4.1.

2.2.1. Визначити величину опору у ланцюгах колекторів транзисторів:

$$R_K \geq \frac{E_K}{I_{K_{\text{роз}}}}, \quad (4.1)$$

де E_K – напруга джерела живлення, В;

$I_{K_{\text{роз}}}$ – розрахунковий струм навантаження транзисторів, А;

2.2.2. Знайти величину опору у ланцюгах баз транзисторів:

$$R_6 \leq \beta_{\text{min}}, \quad (4.2)$$

де β_{min} – мінімальний коефіцієнт підсилення транзисторів за струмом;

2.2.3. Розрахувати необхідну величину ємностей колекторно-базових зв'язків:

$$C = \frac{1}{1.4 R_6 f_{\text{роз}}}, \quad (4.3)$$

де $f_{\text{роз}}$ – розрахункова частота генеруючих імпульсів, Гц.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для розрахунку мультівібратора з від’ємними базами

Параметри	Номер варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розрахункова частота генеруючих імпульсів $f_{\text{роз}}$, Гц	35	55	45	40	60	50	45	30	55	35
Мінімальний коефіцієнт підсилення транзисторів за струмом β_{min}	30	35	20	25	15	35	30	25	20	15
Напруга джерела живлення E_k , В	18					24				
Розрахунковий струм навантаження транзисторів $I_{k_{\text{роз}}}$, мА	35					25				

2.3. Дослідити схему мультівібратора з від’ємними базами (рис. 4.1).

2.3.1. Зняти осцилограми напруги в гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_4, \Gamma_5$ при розімкнутому перемикачі B_4 :

- перемикачі B_1 і B_2 розімкнені, $R_2 = \text{max}, R_3 = \text{max}$;
- перемикачі B_1 і B_2 розімкнені, $R_2 = \text{min}, R_3 = \text{min}$;
- перемикачі B_1 і B_2 замкнені, $R_2 = \text{max}, R_3 = \text{max}$;
- перемикачі B_1 і B_2 замкнені, $R_2 = \text{min}, R_3 = \text{min}$.

2.3.2. Зняти осцилограми напруги в гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_4, \Gamma_5$ при замкнутому перемикачі B_4 :

- перемикачі B_1 і B_2 розімкнені, $R_2 = \text{max}, R_3 = \text{max}$;
- перемикачі B_1 і B_2 розімкнені, $R_2 = \text{min}, R_3 = \text{min}$;
- перемикачі B_1 і B_2 замкнені, $R_2 = \text{max}, R_3 = \text{max}$;
- перемикачі B_1 і B_2 замкнені, $R_2 = \text{min}, R_3 = \text{min}$.

3. Зміст звіту

- 3.1. Назва роботи.
- 3.2. Мета роботи.
- 3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 3.4. Схеми рис. 4.1.
- 3.5. Розрахунок мультівібратора за п. 2.2.
- 3.6. Осцилограми напруги за п. 2.3.
- 3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення мультівібратора?
2. Який принцип дії мультівібратора на транзисторах з від'ємними базами?
3. Як впливає на роботу мультівібратора збільшення або зменшення ємності в колекторно-базових зв'язках транзисторів?
4. Як впливає на роботу мультівібратора збільшення або зменшення значення потенціометрів R_2 і R_3 у ланцюгу баз транзисторів?
5. Як впливає на роботу мультівібратора підключення навантаження?
6. У чому полягає розрахунок мультівібратора?

Лабораторна робота № 5

ОДНОВІБРАТОР НА ТРАНЗИСТОРАХ

Мета роботи. Дослідження режиму роботи одновібратора на транзисторах та виконання його розрахунку.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення одновібратора.

Одновібратором називається одноканальний генератор, який збуджується короткими імпульсами, що подаються на вхід та призначений для отримання імпульсів заданої тривалості.

1.2. Одновібратор на транзисторах.

Розглянемо роботу схеми одновібратора на транзисторах, яка зображена на рис. 5.1.

При поданні напруги перемикачем B_3 транзистор VT_2 відкривається, а транзистор VT_1 закривається. В такому стані одновібратор знаходиться тривалий час, впродовж якого заряджається конденсатор C_3 (або C_3 та C_2 при замкнутому перемикачі B_1). Закритий стан транзистора VT_1 підтримується напругою зміщення $+E_{зм}$. Одновібратор переводиться в тривалий стійкий стан за допомогою імпульсу, який надходить на вхід схеми. Перемикач $П_1$ може знаходитися у верхньому або нижньому положенні. Якщо перемикач $П_1$ знаходиться у верхньому положенні то позитивний імпульс із входу через діод VD_1 надходить на конденсатор C_3 . Останній починає розряджатися через резистор R_4 та потенціометр R_3 , створюючи позитивне падіння напруги по відношенню до бази транзистора VT_2 . При цьому транзистор VT_2 закривається, на його колекторі з'являється високий негативний потенціал, який через резистор R_5 надходить на базу транзистора VT_1 . Останній відкривається та буде відкритий впродовж часу розряду конденсатора C_3 , після чого одновібратор повернеться в початковий стан.

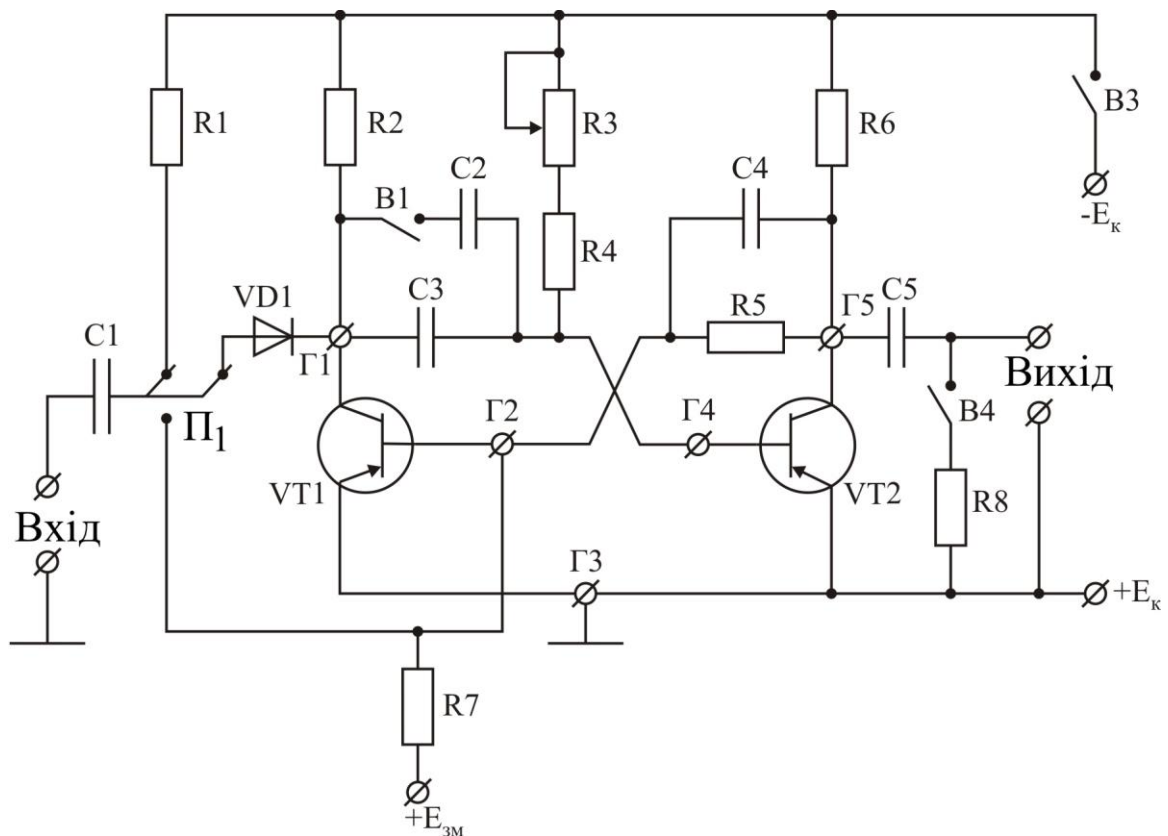


Рисунок 5.1. Схема одновібратора на транзисторах

Якщо перемикач Π_1 знаходиться у нижньому положенні, то в цьому випадку імпульс запуску повинен бути негативної полярності. При цьому негативний імпульс надходить на базу транзистора VT_1 , останній відкривається. Конденсатор C_3 починає розряджатися через резистор R_4 та потенціометр R_3 , транзистор VT_2 закривається. Після закінчення розряду конденсатора C_3 одновібратор повертається в початковий стан.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Виконати розрахунок одновібратора (рис. 5.1), зібраного на транзисторах типу КТ203Б. Вихідні дані для розрахунку задаються керівником лабораторних робіт за табл. 5.1.

2.2.1. Визначити величину опору у ланцюгах колекторів транзисторів:

$$R_k \geq \frac{E_k}{I_{k_{роз}}}, \quad (5.1)$$

де E_k – напруга джерела живлення, В;

$I_{k_{роз}}$ – розрахунковий струм навантаження транзисторів, А;

2.2.2. Знайти величину опору у ланцюгах баз транзисторів:

$$R_6 = R_3 + R_4 \leq \beta \kappa_{min}, \quad (5.2)$$

де β_{min} – мінімальний коефіцієнт підсилення транзисторів за струмом;

2.2.3. Розрахувати величину ємності у колекторно-базовому зв'язку транзисторів VT_1 та VT_2 за розрахунковим часом імпульсу (тривалість вихідного імпульсу, гніздо Γ_1):

$$C = \frac{t_{i_{\text{роз}}}}{0,7 R_{\delta}}, \quad (5.3)$$

де $t_{i_{\text{роз}}}$ – розрахунковий час імпульсу, с;

2.2.4. Знайти час вихідного імпульсу на виході (гніздо Γ_5):

$$t_{i_{\text{вих}}} = 0,7 R_{\delta} C + 5 R_{\kappa} C. \quad (5.4)$$

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку одновібратора на транзисторах

Параметри	Номер варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мінімальний коефіцієнт підсилення транзисторів за струмом $\beta_{\min}$	25	20	40	30	15	45	35	30	25	20
Розрахунковий час імпульсу $t_{i_{\text{роз}}}$, мс	2,0	1,4	1,8	0,7	0,9	1,2	1,0	1,6	0,8	0,6
Напруга джерела живлення E_{κ} , В	24					18				
Розрахунковий струм навантаження транзисторів $I_{\kappa_{\text{роз}}}$, мА	25					35				

2.3. Дослідити схему одновібратора на транзисторах (рис. 5.1).

2.3.1. Зняти осцилограми напруги в гніздах Γ_1 , Γ_2 , Γ_4 , Γ_5 при розімкнутому перемикачі B_4 :

- перемикач B_1 розімкнений, $R_3 = \text{max}$;
- перемикач B_1 розімкнений, $R_3 = \text{min}$;
- перемикач B_1 замкнений, $R_3 = \text{max}$;
- перемикач B_1 замкнений, $R_3 = \text{min}$;

2.3.2. Зняти осцилограми напруги в гніздах Γ_1 , Γ_2 , Γ_4 , Γ_5 при замкнутому перемикачі B_4 :

- перемикач B_1 розімкнений, $R_3 = \text{max}$;
- перемикач B_1 розімкнений, $R_3 = \text{min}$;
- перемикач B_1 замкнений, $R_3 = \text{max}$;
- перемикач B_1 замкнений, $R_3 = \text{min}$;

3. Зміст звіту

- 3.1. Назва роботи.
- 3.2. Мета роботи.
- 3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 3.4. Схеми рис. 5.1.
- 3.5. Розрахунок одновібратора за п. 2.2.
- 3.6. Осцилограми напруги за п. 2.3.
- 3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення одновібратора?
2. Який принцип дії одновібратора на транзисторах?
3. Як впливає на роботу одновібратора збільшення або зменшення ємності в колекторно-базовому зв'язку транзисторів VT_1 і VT_2 ?
4. Як впливає на роботу мультивібратора збільшення або зменшення значення потенціометрів R_3 у ланцюгу бази транзистора VT_2 ?
5. Як впливає на роботу одновібратора підключення навантаження?
6. У чому полягає розрахунок одновібратора?

Лабораторна робота № 6

БЛОКІНГ-ГЕНЕРАТОР

Мета роботи. Дослідження режиму роботи блокінг-генератора та виконання його розрахунку.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення блокінг-генератора.

Блокінг-генератор (БГ) – однокаскадний трансформаторно-транзисторний підсилювач, замкнений за допомогою трансформатора у кільцеву схему з сильним позитивним зворотнім зв'язком. Блокінг-генератори використовують в імпульсній та цифровій техніці в якості порівняно потужних генераторів імпульсів, близьких за формою до прямокутних. БГ можуть бути використані в якості основного елементу перетворювача низької постійної напруги в більш високу. За допомогою БГ можливо отримати короткочасні прямокутні імпульси великої скважності (відношення інтервалу між імпульсами до тривалості самого імпульсу) в порівнянні з мультивібраторами та одновібраторами.

1.2. БГ з колекторно-базовим зв'язком на транзисторі з загальним емітером.

Розглянемо принцип дії БГ за рис. 6.1, на якому показана його схема з колекторно-базовим зв'язком на транзисторі VT_1 з загальним емітером. Позитивний зворотній зв'язок між колектором і базою транзистора VT_1

здійснюється за допомогою обмоток трансформатора Tr_1 . Такий БГ працює в режимі автоколивань.

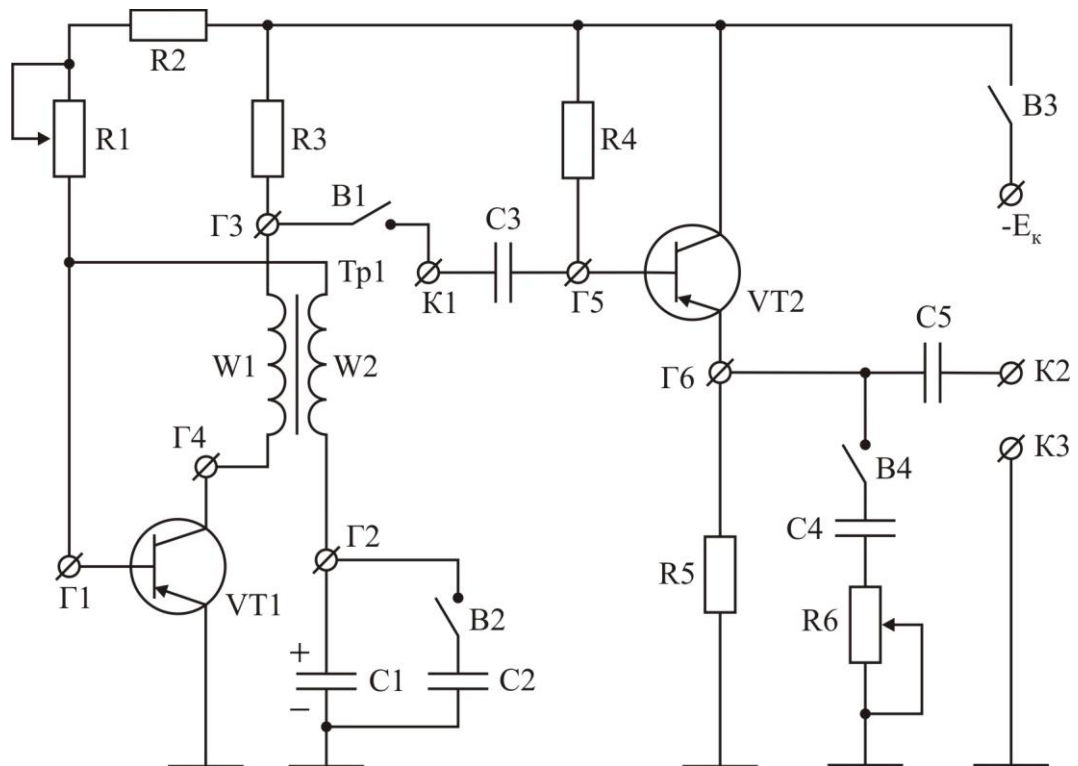


Рисунок 6.1. Схема блокінг-генератора з колекторно-базовим зв'язком на транзисторі з загальним емітером

Нехай спочатку на конденсаторі C_1 напруга (при розімкненому перемикачі B_2) має полярність, вказану на рис. 6.1. Тоді транзистор VT_1 знаходиться в закритому стані та конденсатор C_1 розряджається через обмотку W_2 імпульсного трансформатора Tr_1 , потенціометр R_1 , резистор R_2 і джерело живлення. Індуктивністю обмотки W_2 можливо знехтувати, так як швидкість зміни струму на цьому етапі невелика.

Коли напруга на конденсаторі, прямує до негативного рівня $-E_6$, спадає до нуля, транзистор VT_1 відкривається та починається другий етап перехідного процесу. На цьому етапі зростаючий колекторний струм наводить у вторинній обмотці W_2 трансформатора ЕРС негативної полярності, яка сприяє відкриванню транзистора VT_1 . Колекторна напруга впродовж другого етапу падає від величини $-E_k$ практично до нуля (рис. 6.2).

На третьому етапі відбувається розсмоктування накопичених у базі транзистора носіїв. При цьому колекторна напруга U_k остається близькою до нуля, тобто формується вершина імпульсу (див. рис. 6.2). Через деякий час заряд неосновних носіїв у базі зменшується до такої величини, при якій транзистор VT_1 виходить із насичення. Після цього настає етап закривання, впродовж якого колекторний струм лавиноподібно спадає до нуля, а колекторна напруга знову досягає величини $-E_k$. Потім відбувається викид

напруги, обумовлений розсіянням енергії, накопиченої в осерді трансформатора. По закінченню викиду напруги схема повертається в початковий стан і розглянутий раніше цикл повторюється.

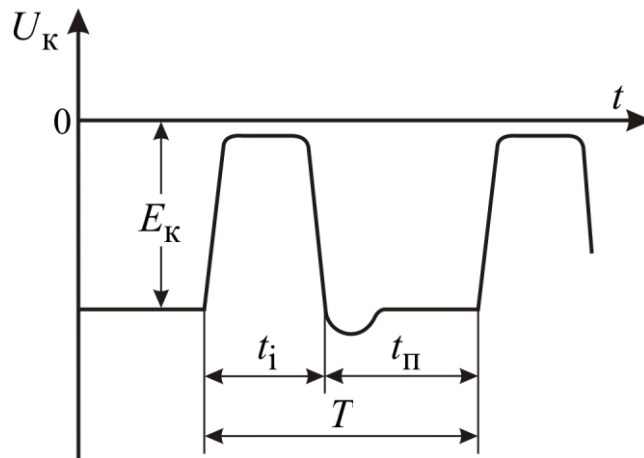


Рисунок 6.2. Залежність колекторної напруги транзистора VT_1 від часу

Позитивна напруга на конденсаторі C_1 , яку ми запропонували на початку циклу, утворюється в процесі формування вершини імпульсу, коли через конденсатор великий базовий струм. Так як на кінці обмотки W_2 зі сторони бази транзистора VT_1 негативний потенціал, а на другому її кінці – позитивний і величиною більший за $+E_k$, то на другій обкладинці конденсатора C_1 вказаний негативний потенціал. Фронти імпульсу зазвичай короткі за часом, а напруга на конденсаторі C_1 за цей час майже не змінюється.

Резистор R_3 ввімкнений для обмеження максимального струму колектора транзистора VT_1 при генерації імпульсів малої скважності, зменшення залежності часових параметрів транзистора і, отже, після імпульсного викиду, напруги на базі і колекторі транзистора.

Із резистора R_3 знімається прямокутний імпульс дещо спотвореної форми, яка в подальшому може бути виправлена формувальним ланцюгом R_6 і C_4 на виході емітерного повторювача.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Виконати розрахунок блокінг-генератора, схема якого зображена на рис. 6.3. Вихідні дані для розрахунку задаються керівником лабораторних робіт за табл. 6.1. Необхідні параметри транзисторів для розрахунку приведені в табл. 6.2.

2.2.1. Визначити величину напруги джерела живлення:

$$E_k = (0,5 \dots 0,7) U_{ке_{max}}, \quad (6.1)$$

де $U_{ке_{max}}$ – максимально допустима напруга колектор-емітер, В (табл. 6.2);

2.2.2. Розрахувати коефіцієнт трансформації для обмотки навантаження:

$$n_H = \frac{E_K}{U_{\text{вих}}}, \quad (6.2)$$

де $U_{\text{вих}}$ – амплітуда напруги вихідного імпульсу, В (табл. 6.1);

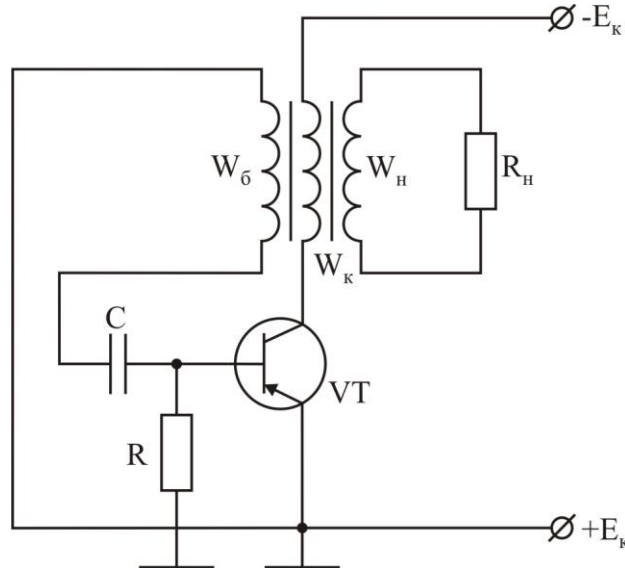


Рисунок 6.3. Схема блокінг-генератора з трансформаторним способом підключення навантаження

2.2.3. Знайти приведений опір навантаження:

$$R'_H = R_H n_H^2, \quad (6.3)$$

де R_H – опір навантаження, Ом (табл. 6.1);

2.2.4. Визначити приведену ємність навантаження:

$$C'_H = \frac{C_H}{n_H^2}, \quad (6.4)$$

де C_H – ємність навантаження, Ф (табл. 6.1);

2.2.5. Розрахувати оптимальне значення коефіцієнта трансформації ланцюгу зворотного зв'язку:

$$n_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{R'_H \tau_{TN}}{r_{\delta} \left[\tau_{TN} + R'_H \left(C_K + \frac{C'_H}{\beta_{\min}} \right) \right]}}, \quad (6.5)$$

де τ_{TN} – середній час прольоту носіїв через область бази, с (табл. 6.2);

r_{δ} – об'ємний опір бази, Ом (табл. 6.2);

C_K – диференційна ємність колекторного переходу, Ф (табл. 6.2);

$\beta_{\min}$ – мінімальний коефіцієнт передачі струму бази (табл. 6.2);

2.2.6. Визначити тривалість фронту:

$$t_{\text{фр}} = \frac{2,2}{n_{\text{опт}}} \left[\tau_{TN} + \sqrt{\tau_{TN}^2 + \tau_{TN} r_{\delta} (C_K + C'_H)} \right]; \quad (6.6)$$

Таблиця 6.1

Вихідні дані для розрахунку блокінг-генератора з трансформаторним способом підключення навантаження

Параметри	Номер варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплітуда напруги вихідного імпульсу $U_{\text{вих}}$, В	10	20	30	50	60	80	70	90	100	120
Тривалість вихідного імпульсу t_p , мкс	150	120	100	90	80	70	60	50	20	10
Опір навантаження R_n , кОм	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Ємність навантаження C_n , пФ	15	20	25	30	25	15	30	20	25	30
Період коливання вихідної напруги T , мкс	50	70	90	120	150	180	300	600	800	900
Допустима зміна коливання вихідної напруги із зміною температури $\frac{\Delta T}{T}$	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1
Тривалість фронту $t_{\text{фр}}$, мкс	4,5	3,0	3,5	2,5	2,0	1,5	2,5	3,0	4,0	1,5
Тип транзистора	КТ209Г		КТ209Б		КТ209Г		КТ209Б		КТ209Г	

Таблиця 6.2

Параметри транзисторів для розрахунку

Параметри	Тип транзистора	
	КТ209Б	КТ209Г
Максимально допустима напруга колектор-емітер $U_{\text{ке max}}$, В	15	20
Мінімальний коефіцієнт передачі струму бази β_{min}	50	50
Диференційна ємність колекторного переходу C_k , пФ	90	80
Середній час прольоту носіїв через область бази t_{TN} , мкс	0,1	0,1
Об'ємний опір бази r_b , Ом	300	200
Максимальний нульовий струм колектора при закритому стані транзистора $I_{\text{к0 max}}$, мкА	75	25

2.2.7. Розрахувати необхідну постійну часу RC-кола:

$$\tau_{RC} = \frac{T}{\ln\left(1 + \frac{1}{n_{\text{опт}}}\right)}, \quad (6.7)$$

де T – період коливання вихідної напруги, с (табл. 6.1);

2.2.8. Визначити найбільше значення опору RC-кола, враховуючи допустиму зміну періоду коливання вихідної напруги із зміною температури:

$$R \leq \frac{E_{\text{зм}}}{I_{\text{к0max}} \frac{\Delta T}{T}}, \quad (6.8)$$

де $E_{\text{зм}}$ – напруга зміщення, В ($E_{\text{зм}} = E_{\text{б}} = E_{\text{к}}$);

$I_{\text{к0max}}$ – максимальний нульовий струм колектора при закритому стані транзистора, А (табл. 6.2);

$\frac{\Delta T}{T}$ – допустима зміна коливання вихідної напруги із зміною температури (табл. 6.1);

2.2.9. Розрахувати ємність хронуального конденсатора RC-кола:

$$C = \frac{1}{R \cdot \ln\left(1 + \frac{1}{n_{\text{опт}}}\right)}. \quad (6.9)$$

2.3. Дослідити схему блокінг-генератора з колекторно-базовим зв'язком на транзисторі з загальним емітером (рис. 6.1).

2.3.1. Зняти осцилограми напруги в гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ при розімкнутому перемикачі B_1 :

- перемикач B_2 розімкнений, $R_1 = \text{max}$;
- перемикач B_2 розімкнений, $R_1 = \text{min}$;
- перемикач B_2 замкнений, $R_1 = \text{max}$;
- перемикач B_2 замкнений, $R_1 = \text{min}$;

2.3.2. Зняти осцилограми напруги в гніздах Γ_5, Γ_6 при замкнутому перемикачі B_1 :

- перемикач B_4 розімкнений, $R_6 = \text{max}$;
- перемикач B_4 розімкнений, $R_6 = \text{min}$;
- перемикач B_4 замкнений, $R_6 = \text{max}$;
- перемикач B_4 замкнений, $R_6 = \text{min}$;

3. Зміст звіту

- 3.1. Назва роботи.
- 3.2. Мета роботи.
- 3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 3.4. Схеми рис. 6.1, рис. 6.2 і рис. 6.3.
- 3.5. Розрахунок блокінг-генератора за п. 2.2.
- 3.6. Осцилограми напруги за п. 2.3.
- 3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення блокінг-генератора?
2. Яка відмінність блокінг-генератора від мультивібратора та одновібратора?
3. Який принцип дії блокінг-генератора з колекторно-базовим зв'язком на транзисторі з загальним емітером?
4. Як впливає на роботу схеми блокінг-генератора (рис. 6.1) намагнічування осердя трансформатора?
5. Яку функцію виконує резистор R_3 в схемі блокінг-генератора (рис. 6.1)?
6. Яке призначення диференційного ланцюга (при замкнутому перемикачі B_4) блокінг-генератора (рис. 6.1)?
7. У чому полягає розрахунок блокінг-генератора?

Лабораторна робота № 7

ФАНТАСТРОННІ ГЕНЕРАТОРИ ІМПУЛЬСІВ

Мета роботи. Дослідження режиму роботи фантастроу.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення фантастроу.

Фантастронними генераторами імпульсів (фантастронами) називаються релаксаційні генератори з лінійно-змінною напругою, яка формується компенсаційним методом з використанням напруги в колі негативного зворотного зв'язку.

Фантастроны використовують для розвертки електронного променя в електронно-промінних трубках з електростатичним відхиленням (наприклад, в осцилографах), в пристроях затримки імпульсів на калібрований час, в перетворювачах аналог-код і т. д.

1.2. Принцип дії фантастроу.

Запуск схеми фантастроу (рис. 7.1) виконується позитивними імпульсами, які подаються на вхід схеми. Фантастрон має чотири стани - сталий (чекання), запуску, робочий та відновлення.

В початковому сталому стані транзистор VT_1 відкритий, так як негативний потенціал від $-E_k$ приходить на його базу через опір R_2 . При цьому транзистор VT_3 також відкритий, а транзистор VT_2 закритий. Конденсатор C_3 заряджений по ланцюгу: $+E_k$ - корпус - перехід «емітер-база» відкритого транзистора VT_3 - $(+C_3)$ - $(-C_3)$ - R_9 - $(-E_k)$. Полярність обкладинок вказана на рис. 7.1.

При надходженні позитивного імпульсу на вхід схеми почне розряджатися ємність C_1 через діод VD_1 і опір R_2 , транзистор VT_1 при цьому

закривається. Потенціал його колектора стає негативним та надходить на базу транзистора VT_2 , в результаті чого останній відкривається. В наслідок цього ємність C_3 почне розряджатися по ланцюгу: $+C_3 - R_8 - R_7 - (-E_k) - (+E_k) -$ перехід «емітер-колектор» транзистора VT_3 – перехід «емітер-колектор» транзистора $VT_2 - (-C_3)$. Транзистор VT_3 виходить із стану насичення. Напруга між базою та емітером транзистора VT_1 стає позитивною, що буде підтримувати VT_1 у закритому стані й після закінчення позитивного вхідного імпульсу (підбирається величина ємності C_1).

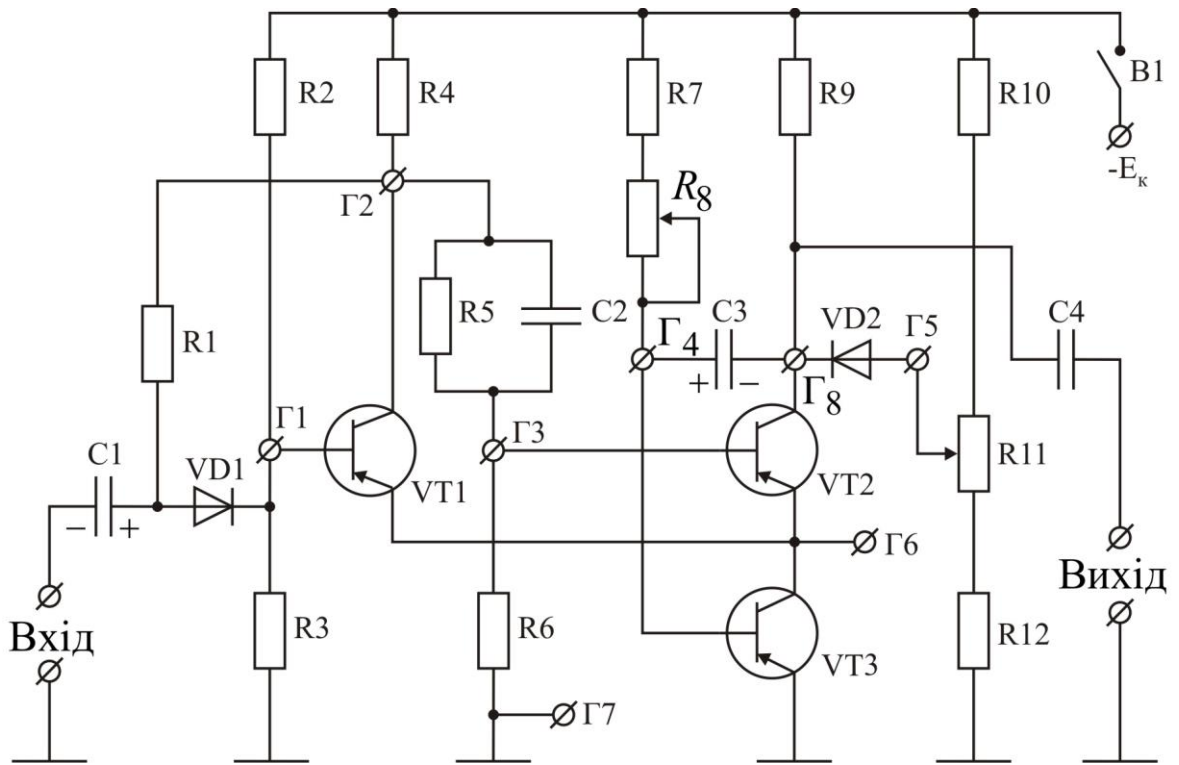


Рисунок 7.1. Схема фантастрону

Через конденсатор C_3 здійснюється негативний обернений зв'язок між колектором транзистора VT_2 та базою VT_3 . Внаслідок цього з плином часу потенціал бази транзистора VT_3 майже не змінюється, а потенціал колектора VT_2 – «слідкує» за зміною напруги на конденсаторі C_3 . По цій причині подібний обернений зв'язок іноді називають підсилювально-слідкувальним оберненим зв'язком (рис. 7.2).

Заключний етап робочої стадії відбувається наступним чином. Після закінчення розряду ємності C_3 транзистор VT_3 відкривається й напруга «база-емітер» транзистора VT_1 стає негативною. Транзистор VT_1 відкривається, закриваючи транзистор VT_2 , після чого настає стадія відновлення, протягом якої конденсатор C_3 заряджається.

Рівень напруги, до якого відбувається заряд конденсатора C_3 , визначається ділником напруги $R_{10} - R_{11} - R_{12}$ та може регулюватися за допомогою потенціометра R_{11} .

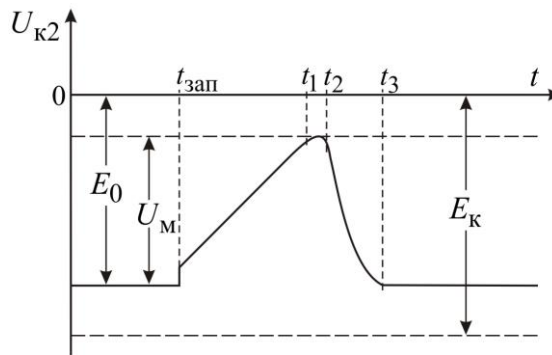


Рисунок 7.2. Залежність зміни напруги на колекторі транзистора VT_2 від часу

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Зняти осцилограми напруги в гніздах $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5, \Gamma_6, \Gamma_8$ при запуску фантастроу від генератора прямокутних імпульсів:

- при $R_8 = \text{max}, R_{11} = \text{max}$;
- при $R_8 = \text{min}, R_{11} = \text{max}$;
- при $R_8 = \text{max}, R_{11} = \text{min}$;
- при $R_8 = \text{min}, R_{11} = \text{min}$.

3. Зміст звіту

- 3.1. Назва роботи.
- 3.2. Мета роботи.
- 3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 3.4. Схеми рис. 7.1 і рис. 7.2.
- 3.5. Осцилограми напруги за п. 2.2.
- 3.7. Висновки.

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення фантастроу?
2. Який принцип дії фантастроу?
3. Як впливає на роботу схеми фантастроу зміна значення потенціометра R_8 ?
4. Як впливає на роботу схеми фантастроу зміна значення потенціометра R_{11} ?
5. Яку функцію виконує конденсатор C_1 в схемі фантастроу?
6. Чим визначається рівень напруги, до якого відбувається заряд конденсатора C_3 ?

АМПЛІТУДНІ ДІОДНІ ОБМЕЖУВАЧІ

Мета роботи. Дослідження режиму роботи амплітудних діодних обмежувачів.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Призначення та застосування амплітудних діодних обмежувачів.

Обмежувачі амплітуди на напівпровідникових діодах застосовують для формування імпульсів, селекції сигналів за амплітудою та полярністю, фіксування рівня та відновлення постійної складової сигналів.

Обмежувачами амплітуди називаються пристрої, напруга на виході яких пропорційна вхідній напрузі до тих пір, поки остання не досягає деякого рівня, який отримав назву поріг обмежування.

Щоб зберегти пропорційність між вихідною та вхідною напругою, характеристика має бути нелінійною. Тому необхідною деталлю в обмежувачі – нелінійним елементом – зазвичай являються напівпровідникові діоди.

1.2. Класифікація амплітудних діодних обмежувачів.

Розрізняють послідовні та паралельні обмежувачі, які можуть бути з обмеженням на нульовому рівні і ненульовому рівні, з обмеженням зверху і знизу, з одним порогом обмеження та двома (двосторонні обмежувачі).

Найпростішою схемою послідовного діодного обмежувача є обмежувач на нульовому рівні (рис. 8.1, а).

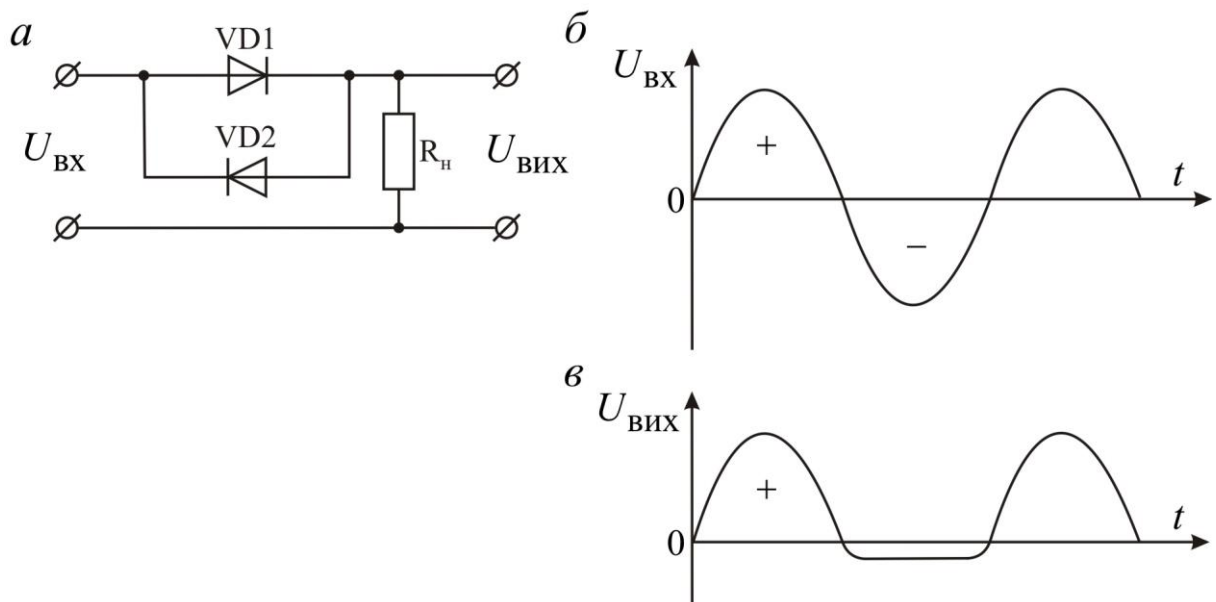


Рисунок 8.1. Дія синусоїдальної напруги на схему послідовного діодного обмежувача на нульовому рівні: а – схема послідовного діодного обмежувача на нульовому рівні; б – вхідна напруга схеми; в – вихідна напруга схеми

Для нормальної роботи даної схеми необхідно виконати наступне співвідношення параметрів:

$$R_{зв} \gg R_H \gg R_{пр}, \quad (8.1)$$

де $R_{зв}$ – зворотній опір діода, Ом;

R_H – опір навантаження, Ом;

$R_{пр}$ – прямий опір діода, Ом.

При подачі на вхід схеми позитивної півхвилі синусоїдальної напруги з амплітудою U_m (рис. 8.1, б), діод відкривається і практично вся вхідна напруга $U_{вх}$ виділяється на навантаженні R_H (рис. 8.1, в) і вихідна напруга $U_{вих}$ дорівнює:

$$U_{вих+} = U_m \frac{R_H}{R_H + R_{пр}} \approx U_m. \quad (8.2)$$

Якщо на вхід діє негативна півхвиля, то діод закритий і вихідна напруга дорівнює:

$$U_{вих-} = U_m \frac{R_H}{R_H + R_{зв}} \approx U_m \frac{R_H}{R_{зв}}. \quad (8.3)$$

Слід відмітити, що якість обмежувача суттєво залежить від коефіцієнта випрямлення діода:

$$k_{\epsilon} = \frac{R_{зв}}{R_{пр}}. \quad (8.4)$$

Для отримання схеми діодного обмежувача на ненульовому рівні необхідне додаткове включення джерела постійної напруги (рис. 8.2, а).

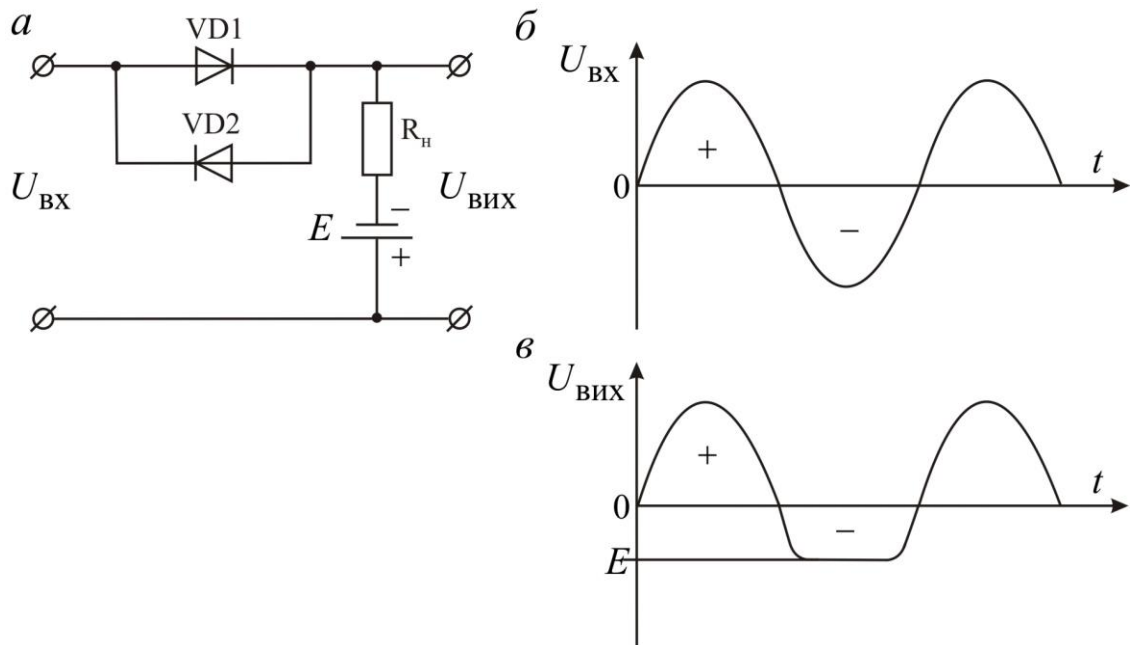


Рисунок 8.2. Дія синусоїдальної напруги на схему діодного обмежувача на ненульовому рівні: а – схема діодного обмежувача на ненульовому рівні; б – вхідна напруга схеми; в – вихідна напруга схеми

Суттєвий вплив на роботу послідовних діодних обмежувачів на нульовому рівні роблять паразитні ємності (рис. 8.3): між електродна ємність діода C_d та ємність C_o , яка складається із входної ємності наступного пристрою $C_{вх}$ і ємності монтажу C_m . Наявність вказаних ємностей приводить до спотворення форми вихідного імпульсу.

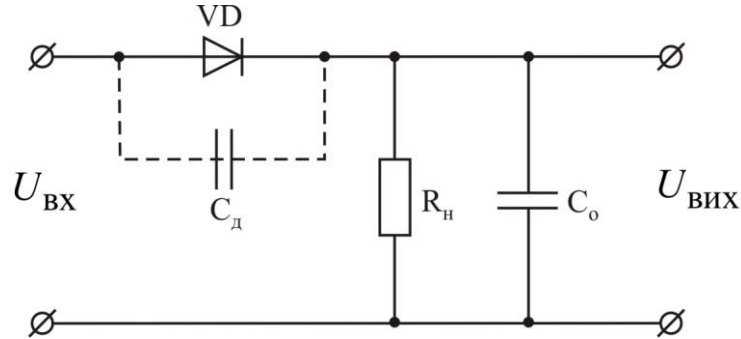


Рисунок 8.3. Схема послідовного діодного обмежувача на нульовому рівні з урахуванням паразитних ємностей

Найпростіша схема паралельного діодного обмежувача на нульовому рівні представлена на рис. 8.4.

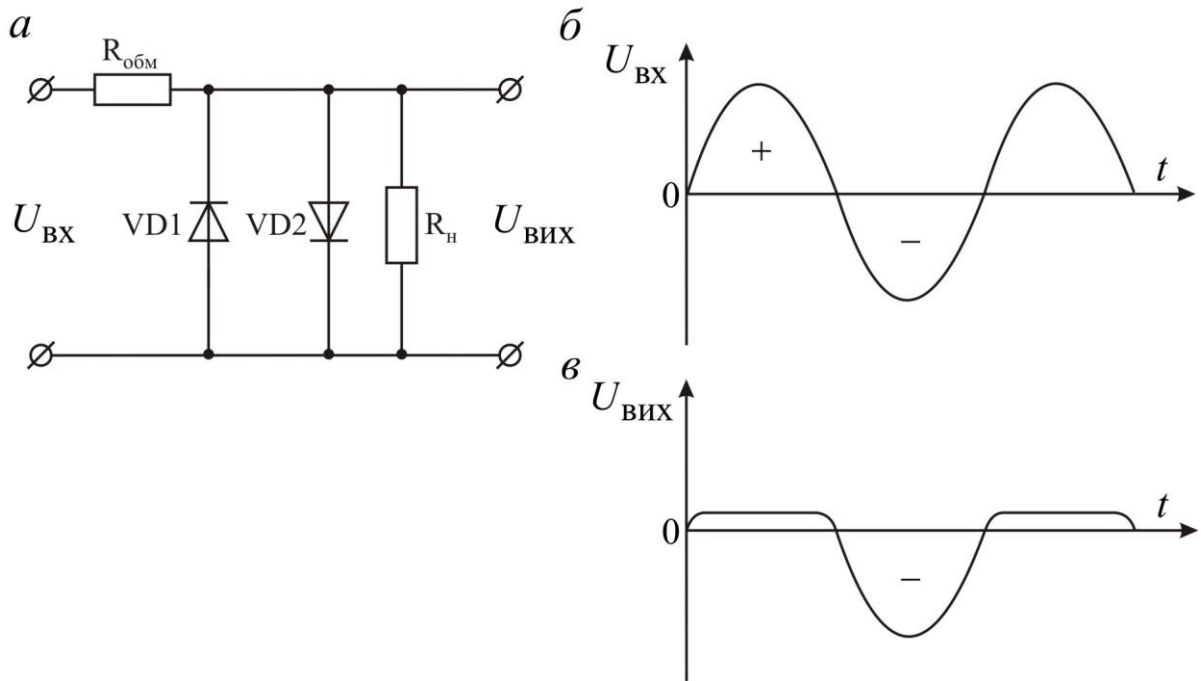


Рисунок 8.4. Дія синусоїдальної напруги на схему паралельного діодного обмежувача на нульовому рівні: а – схема паралельного діодного обмежувача на нульовому рівні;

б – входна напруга схеми; в – вихідна напруга схеми

Для якісного паралельного обмеження необхідно виконати умову:

$$R_{пр} \ll R_{обм} \ll R_n \ll R_{зв}. \quad (8.5)$$

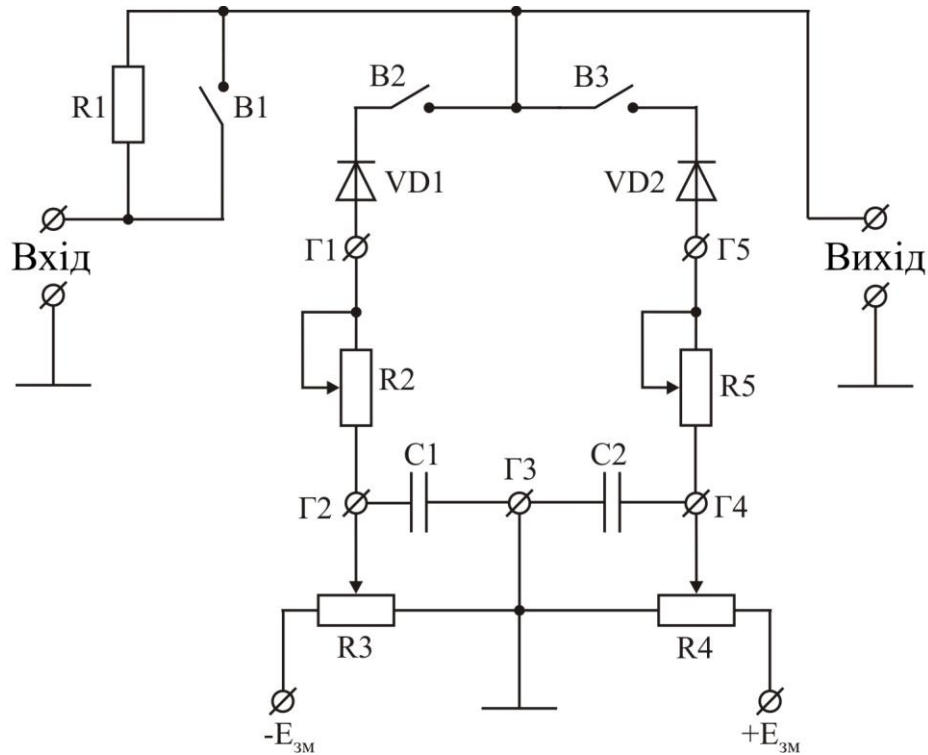
У паралельних обмежувачах можливо отримувати обмеження на

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями.

2.2. Дослідити схему діодних обмежувачів (рис. 8.5). На вхід схеми подаючи синусоїдну напругу, зняти діаграми вихідної напруги при відповідних положеннях перемикачів.

2.2. Дослідити схему діодних обмежувачів (рис. 8.5). На вхід схеми подаючи синусоїдну напругу, зняти діаграми вихідної напруги при повідних положеннях перемикачів.



2.2.1. Перемикач B_3 замкнений, перемикачі B_1 і B_2 розімкнені.
 2.2.2. Перемикач B_2 замкнений, перемикачі B_1 і B_3 розімкнені.
 2.2.3. Перемикач B_1 розімкнений, перемикачі B_2 і B_3 замкнені.
 2.2.4. Перемикачі B_1 , B_2 , B_3 замкнені, зняти діаграми вихідної напруги із гнізд Γ_1 і Γ_5 .

4. Контрольні запитання

1. Яке призначення амплітудних діодних обмежувачів?
2. Які існують типи амплітудних діодних обмежувачів?
3. Який принцип дії послідовного амплітудного діодного обмежувача?
4. Які умови повинні виконуватися для різних типів амплітудних діодних обмежувачів?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Положення про організацію освітнього процесу в Українському державному університеті науки і технологій – Дніпро, 2022. – 54 с.
2. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / [Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 163 с.
3. Основи наукових досліджень: підручник / Г. В. Альошин, С. В. Лістровий, С. В. Панченко, С. І. Приходько. Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 340 с.
4. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Радіоавтоматика в системах зв'язку: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2017. – 290 с.

Навчально-методичне видання

Ляшук Віталій Михайлович
Земський Денис Романович

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні рекомендації до лабораторної роботи

Редактор А. В. Безверхня
Комп'ютерна верстка В. В. Бердо

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Ум. друк.арк . 2,44. Обл.-вид. арк. 2,47.
Зам. № 36

Український державний університет
науки і технологій
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010