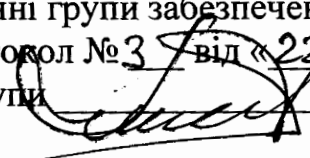
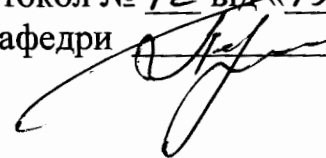


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
До лабораторних робіт
з навчальної дисципліни «Електротехніка та електроніка»
для студентів денної та заочної форми навчання

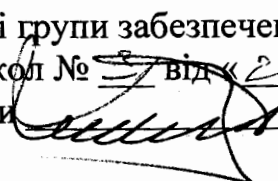
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 3 від «22» 06 2020р.
Голова групи  Мещеряков В.І.

Затверджено
на засіданні кафедри АСМНС
Протокол № 12 від «15» серпня 2020р.
Завідувач кафедри  Перелигин Б.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
До лабораторних робіт
з навчальної дисциплін «Електротехніка та електроніка»
для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 3 від 22/06 2020р.
Голова групи  Мещеряков В.І.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка та електроніка» для студентів другого року навчання денної та заочної форми за спеціальністю 122 - «Комп'ютерні науки», рівень вищої освіти – бакалавр.
Доцент кафедри АСМНС Лавріненко Юліан Володимирович - Одеса,
ОДЕКУ, 2020.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
1 Лабораторна робота № 1 “Вивчення законів Кірхгофа”	5
2 Лабораторна робота № 2 “Дослідження властивостей реактивних елементів у колах змінного струму”	11
3 Лабораторна робота № 3 “Дослідження частотних властивостей електричних кіл змінного струму з активним і реактивним опорами”.	18
4 Лабораторна робота № 4 “Дослідження вольт-амперної характеристика р-п переходу”	26
5 Лабораторна робота № 5 “Вивчення оптронів і тиристорів”.....	31
6 Лабораторна робота № 6 “Зняття вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора ”	36
7 Лабораторна робота № 7 “Дослідження перехідних процесів в електричних колах ”.....	42
8 Лабораторна робота № 8 "Дослідження роботи випрямлячів змінного струму".....	56
9 Лабораторна робота № 9 "Дослідження характеристик каскаду підсилювача на транзисторі".....	61
Перелік посилань	66

ВСТУП

Найефективнішим засобом підготовки студентів до лабораторних робіт є їх самостійна робота безпосередньо в лабораторії. Вона повинна включати: вивчення лабораторного устаткування та методики вимірювань під час виконання лабораторної роботи; вивчення особливих вимог техніки безпеки при роботі на даному устаткуванні.

В результаті виконання лабораторних робіт студенти повинні:
знати фізичні основи роботи електричних кіл.

Після проходження курсу лабораторних робіт студенти повинні:
вміти проводити вимірювання основних параметрів електротехнічних схем за допомогою електровимірювальних приладів.

Контрольні запитання, що наведені в кожній роботі, призначені для самостійного контролю під час підготовки до занять. Вони ж використовуються викладачем під час контролю підготовленості студентів до початку занять.

Після виконання роботи студент повинен представити індивідуальний звіт про виконання лабораторної роботи. Оформлення звіту повинно здійснюватись, як правило, впродовж виконання роботи. Звіти по лабораторних роботах захищаються по циклах, кожен цикл включає дві роботи.

Згідно з робочою програмою лабораторні роботи розбиті на 3 цикли, кожен цикл оцінюється як практичний модуль.

ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ

1. Для роботи з електрообладнанням і електровимірювальними приладами допускаються особи, які вивчили пристрій і порядок його використання, знають правила техніки безпеки і порядок надання першої допомоги потерпілим від ураження електричним струмом.

2. Перед кожною лабораторною роботою студенти повинні проходити інструктаж під підпис в журналі з техніки безпеки.

3. Об'єм та порядок проведення робіт з устаткуванням, приладами, електрообладнанням устанавлюється викладачем.

4. Усі з'єднальні проводи повинні мати наконечник. Корпуси всієї апаратури і обладнання повинні бути заземлені.

5. Вмикання та вимикання на щитах керування проводиться викладачем або інженером лабораторії.

6. Усі особи, що працюють з електроприладами, повинні ретельно керуватися завданням.

Лабораторна робота №1

"Вивчення законів Кірхгофа"

1.1 Паралельне з'єднання приймачів електричної енергії, перший закон Кірхгофа

Мета роботи. Здійснити паралельне з'єднання приймачів електроенергії. Визначити електричні струми в окремих приймачах і загальний струм; переконатися в правильності першого закону Кірхгофа.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- перший закон Кірхгофа;
- правила підключення вольтметра і амперметра до вимірюваного кола;
- порядок визначення провідності елементів та споживаної ними потужності;
- правила безпеки при роботі в лабораторії;

вміти:

- збирати електричні кола постійного та змінного струму;
- проводити електричні вимірювання напруги та струму;
- обчислювати значення параметрів електричного кола за результатами вимірювань;
- обчислювати величину потужності, що розсіюється.

Пояснення. З'єднання, при якому всі провідники підключені своїми початками до затиснення А (рис. 1.1), а кінцями до затиснення В, називається паралельним [1, 2].

Якщо до загального затиснення А або В приєднано більше двох приймачів, то цей затиск називається вузлом.

Перший закон Кірхгофа говорить, що алгебраїчна сума всіх струмів вузла дорівнює нулю.

$$\sum I_k = 0, \text{ для } k = 1, 2, \dots, n;$$

де I_k – струм k -тої гілки,

n – кількість гілок, що примикають до вузла.

Або іншими словами сума всіх струмів які протікають до даного вузла, дорівнює сумі струмів, що випливають з нього. Таким чином, для схеми, представленої на рис. 1.1 рівняння першого закону Кірхгофа буде мати вигляд:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I.$$

Напруга на всіх прийमाчах однакова, тому що їхні кінці приєднані до того самого джерела напруги:

$$U_1 + U_2 + U_3 = U.$$

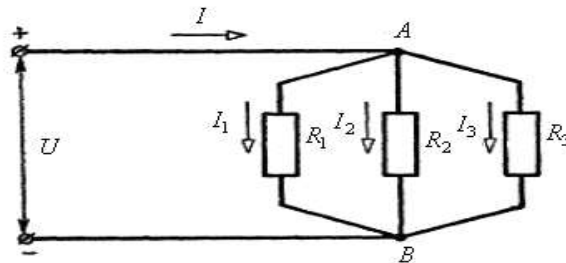


Рисунок 1.1 – Схема для вивчення Першого закону Кірхгофа

Струми в окремих гілках визначаються за законом Ома наступним чином:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Величина, зворотна опору, називається провідністю:

$$\frac{1}{R} = g, \quad \frac{1}{R_1} = g_1, \quad \frac{1}{R_2} = g_2, \quad \frac{1}{R_3} = g_3.$$

Згідно з першим законом Кірхгофа загальний струм:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Розділивши обидві частини рівняння на U , отримаємо:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

або

$$g = g_1 + g_2 + g_3.$$

Таким чином, загальна провідність кола паралельно включених приймачів дорівнює сумі провідностей окремих приймачів.

Устаткування та апаратура

Вольтметр постійної та перемінної напруги з межами вимірювання 0 – 30 В, амперметр постійного та перемінного струму з межами вимірювання 0 – 1 А, омметр, набір резисторів, комплект з'єднувальних дротів.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою вимірювання і приладами.
2. Зібрати схему вимірювання (рис. 1.2) і перевірити правильність включення всіх приладів.

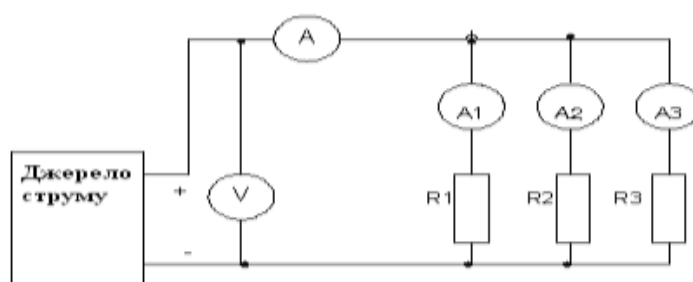


Рисунок 1.2 – Схема для вивчення паралельного з'єднання приймачів електричної енергії

3. Підключити схему до джерела живлення, зняти показники вольтметра та всіх амперметрів.
4. Переконатися в правильності Першого закону Кірхгофа.
5. Обчислити опір і провідність кожного приймача та всього кола. Записати результати в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Перший закон Кірхгофа

Результати експериментів	Номер елемента		
	1	2	3
Струм у колі елемента – I , А			
Струм у загальному колі – I , А			
Напруга живлення – U , В			
Опір елемента – R_i , Ом			
Проводимість елемента – g_i , Сім			
Спожив. потужність елементом – P_i , Вт			

6. Повторити пункти пп.2 – пп.5 при живленні схеми змінним струмом, переконатися в інваріантності закону Кірхгофа до виду струму.
7. Скласти звіт про виконану роботу та зробити висновки.

1.2 Другий закон Кірхгофа

Мета роботи. Здійснити змішане з'єднання приймачів і джерел електроенергії. Визначити падіння напруги на окремих прийमाках і загальний струм у колі; переконатися в правильності Другого закону Кірхгофа.

Пояснення. З'єднання, при якому частина приймачів електричної енергії включені послідовно, а частина паралельно називається змішаним. У цьому випадку можуть бути виділені контури, що представляють замкнуту послідовність приймачів і джерел (рис. 1.3).

Згідно Другому закону Кірхгофа, *алгебраїчна сума падінь напруг на елементах контуру дорівнює алгебраїчній сумі електро-рухаючих сил (е. р. с.) джерел діючих в контурі при будь-якому напрямку обходу контуру* [1, 2].

Іншими словами, алгебраїчна сума падінь напруг на елементах контуру й е. р. с. діючих в контурі джерел дорівнює нулю:

$$\sum_{i=1}^n U_i + \sum_{k=1}^m E_k = 0,$$

де U_i – падіння напруги на i -ому елементі контуру;

E_k – електрорушійна сила k – го джерела в контурі;

n і m – кількість споживачів та джерел в контурі, відповідно.

Перевірку дії Другого закону Кірхгофа розглянемо на схемі, представленій на рис. 1.3. Схема містить чотири резистори (споживачі енергії) і два джерела е. р. с. (джерела енергії), які утворюють три контури. Перший контур включає в себе: $R_1 - R_2 - E_2 - R_3$. Другий контур включає в себе: $R_3 - E_1 - R_4$. Третій контур включає в себе: $R_1 - R_2 - E_2 - R_4 - E_1$.

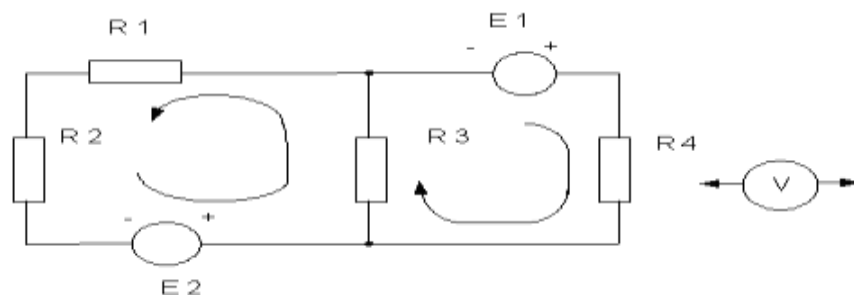


Рисунок 1.3 – Схема для вивчення дії другого закону Кірхгофа

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою вимірювання та приладами
2. Зібрати схему вимірювання (рис. 1.3) та перевірити правильність включення всіх приладів.
3. Підключити схему до джерела живлення, за допомогою вольтметра виміряти з урахуванням знака падіння напруги на кожному елементі контуру, результат занести в табл. 1.2.
4. Просумувати отримані величини і переконатися в правильності Другого закону Кірхгофа.
5. Скласти звіт про виконану роботу.

Таблиця 1.2 – Другий закон Кірхгофа

Номер елемента	Спадання напруги на i – тому елементі, В					
	R1	R2	R3	R4	E1	E2
Виміряна напруга – U_i , В						
Сумарна напруга першого контуру, В	$U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} + U_{E2} =$					
Сумарна напруга другого контуру, В	$U_{R3} + U_{R4} + U_{E1} =$					
Сумарна напруга третього контуру, В	$U_{R1} + U_{R2} + U_{R4} + U_{E1} + U_{E2} =$					

Зміст звіту

1. Найменування виконаного завдання.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів та обладнання, необхідних для проведення даної лабораторної роботи.
3. Електричні схеми вимірювань.
4. Табл. 1.1 та табл. 1.2 з виміряними та обчисленими величинами.
5. Формула для визначення опору паралельно з'єднаних приймачів.
6. Формула для визначення провідності окремого приймача та паралельного з'єднання приймачів.

7. Формула для визначення потужності споживаної приймачами електричної енергії.
8. Висновки по роботі.

Відповіді усно на наступні питання

1. Що таке провідність приймача струму, в яких одиницях вона вимірюється?
2. Чому дорівнює провідність паралельного з'єднання приймачів, якщо опір кожного з них дорівнює R ? Чому дорівнює опір такого кола?
3. Як розподіляється струм по опорах, сполучених паралельно, якщо загальний струм в колі I , число опорів n , величина кожного опору R ?
4. Як формулюється Перший закон Кірхгофа?
5. Як формулюється Другий закон Кірхгофа?
6. Чому дорівнює струм в окремій гілці кола, якщо падіння напруг на ній дорівнює U , а опір дорівнює R ?
7. Як зв'язати закони Кірхгофа з законом збереження енергії?
8. Чому дорівнює напруга на вхідних затискачах паралельного кола?
9. Чому дорівнює струм у паралельному колі, якщо відомі струми в окремих його гілках?
10. Чому дорівнює споживана потужність паралельного кола, якщо відомі потужності, споживані елементами в кожній гілці?

Лабораторна робота № 2

"Дослідження властивостей реактивних елементів у колах змінного струму"

2.1 Дослідження електричного кола змінного струму з активним і індуктивним опорами

Мета роботи. Ознайомитися з найпростішими колами змінного струму, що мають активний і реактивний (індуктивний або ємкісний) опори, виміряти величини струмів і напруг на окремих ділянках кола і порівняти їх фазу.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати

- основні характеристики змінного електричного струму;
- властивості резисторів і реактивних елементів при живленні змінним струмом;
- порядок побудови трикутників опорів;
- правила безпеки при роботі в лабораторії;

вміти:

- збирати електричні кола змінного струму;
- виробляти електричні вимірювання напруги і струму;
- обчислювати значення параметрів електричного кола за результатами вимірювання;

Пояснення. Струм, який періодично змінюється за величиною і напрямом, називають змінним. Синусоїдальним змінним струмом називається струм, величина якого в часі змінюється за законом синуса:

$$i(t) = I_m \sin 2\pi ft,$$

де $i(t)$ – миттєве значення змінного струму, А;

I_m – амплітуда змінного струму (максимальне значення), А;

f – частота змінного струму, Гц;

t – поточний час, сек.

Зазвичай в техніці мають справу з синусоїдальним змінним струмом, тому такий струм часто називають просто змінним. Змінний струм, проходячи через котушку індуктивності, утворює навколо неї змінне магнітне поле, яке перетинаючи витки котушки наводить у ній е. р. с. самоіндукції, зрушену по фазі на 180° стосовно прикладеній напрузі. Таким чином, індуктивність кіл змінного струму впливає на силу струму як опір. Відповідна розрахункова величина носить назву індуктивного

опору; вона позначається X_L і вимірюється так само як активний опір, в Омх і визначається за формулою:

$$X_L = 2\pi fL,$$

де L – індуктивність котушки, Гн.

Як видно з формули, чим вище частота змінного струму, тим більше її індуктивний опір X_L .

Оскільки е. р. с. самоіндукції виникає тільки при зміні струму, то і максимальні значення е. р. с. настає при максимальній швидкості зміни струму в котушці, тобто при проходженні струму через нуль від позитивного значення до негативного і навпаки – від негативного до позитивного. Тому е. р. с. самоіндукції за часом відстає від струму на чверть періоду або по фазі на $\frac{\pi}{2}$ електричних радіан (90°). Напряга на котушці, будучи протилежною е. р. с., навпаки, випереджає струм за часом на чверть періоду або на $\frac{\pi}{2}$ радіан (90°). Якщо по котушці проходить синусоїдальний струм, то напряга, що діє на ній буде також змінюватися за синусоїдальним законом:

$$U_L(t) = 2\pi f LI_m \sin(2\pi ft + \frac{\pi}{2}),$$

де $u_L(t)$ – миттєве значення напруги на індуктивності.

Величина $\omega = 2\pi f$ – кутова частота змінного струму яка вимірюється в радіанах в секунду.

При проходженні змінного струму по колу, що складається з послідовно включених активного та індуктивного опорів (рис. 2.1), між вхідними затискачами кожного з цих елементів діє змінна синусоїдальна напряга.

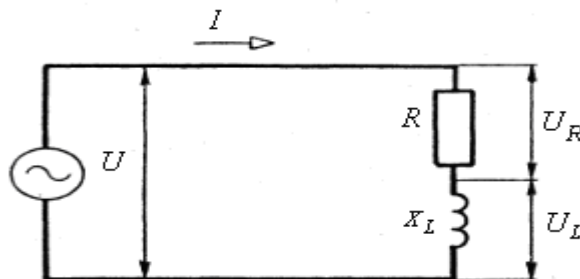


Рисунок 2.1 – Послідовне з'єднання активного та індуктивного елементів

Напруга, яка підведена до активного опору, по фазі збігається із струмом. На індуктивному опорі мине значення напруги:

$$u_L(t) = \omega L I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

Ця напруга по фазі випереджує струм на $\frac{\pi}{2}$ радіана.

Сума миттєвих значень напруги, що діє на елементах дорівнює миттєвому значенню вхідної напруги, підведеної до усього ланцюга :

$$u(t) = u_a(t) + u_L(t) = r I_m \sin \omega t + \omega L I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}),$$

$$u(t) = z I_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Напруга на затискачах активного опору, коли через нього проходить змінний синусоїдальний струм, збігається по фазі з цим струмом, тобто струм одночасно з напругою досягає максимального значення і проходить нульові значення (рис. 2.2) [1, 2].

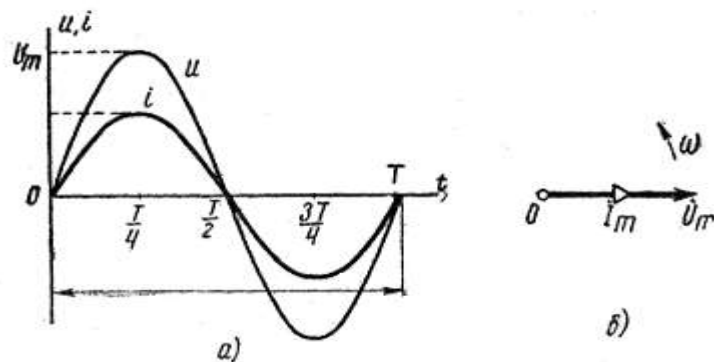


Рисунок 2.2 – Епюри напруги і струму на чисто активному опорі:
 а) синусоїдальні криві миттєвих значень; б) векторна діаграма

Коли ж змінний синусоїдальний струм проходить по чисто індуктивному опорі, то на затискачах цього опору випереджає по фазі цей струм на $\frac{\pi}{2}$ радіана, тобто коли напруга, змінюючись синусоїдально, досягає максимуму, струм в цей миттєвий час дорівнює нулю (рис. 2.3).

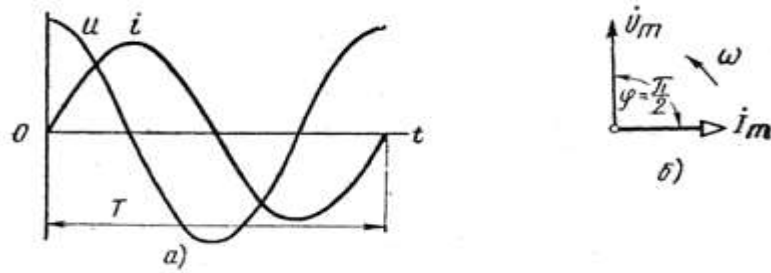


Рисунок 2.3 – Співвідношення напруги і струму на чисто індуктивному опорі
 а) синусоїдальні криві миттєвих значень; б) векторна діаграма.

Електричне коло, по якому проходить змінний струм споживає з мережі активну, реактивну і повну потужності. Повна потужність, яка вимірюється в вольт-амперах (ВА), дорівнює добутку струму I на напругу U :

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Активна потужність P , яка вимірюється у ватах, дорівнює добутку напруги U на струм I і на коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ або добутку квадрата струму на активний опір:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 r.$$

Реактивна потужність Q , вимірюється в вольт-амперах реактивних (вар), дорівнює добутку напруги U на струм I і на синус кута зсуву фаз між прикладеною напругою і струмом $\sin \varphi$, або добутку квадрата струму на реактивний опір:

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 x.$$

Співвідношення цих потужностей між собою представлені на рис. 2.4 вони утворюють трикутник потужностей.

При проведенні лабораторних робіт слід мати на увазі, що індуктивний опір являє собою котушку намотану з провідника, а всякий провідник має активний опір і тому індуктивний опір в чистому вигляді виконати дуже важко.

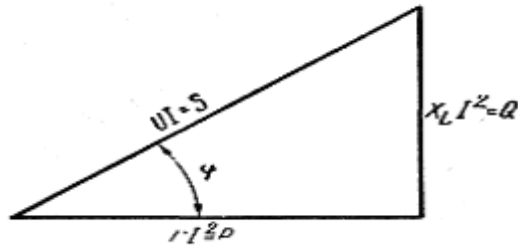


Рисунок 2.4 – Трикутник потужностей

Реальна індуктивна котушка завжди володіє і якимось активним опором; таким чином, повний опір котушки завжди визначається за формулою:

$$Z = \sqrt{r^2 + X_L^2}.$$

Устаткування та апаратура

Двохпроменевий осцилограф, вольтметр змінного струму 0 – 30 В, котушка індуктивності, резистори та комплект з'єднуючих дротів.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему (рис. 2.5).

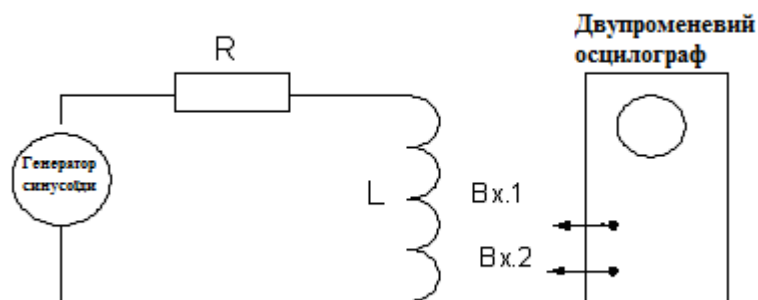


Рисунок 2.5 – Схема електричних вимірювань активно-індуктивного кола

2. Подати живлення на схему від генератора змінного струму частотою 300-600 Гц і виміряти вхідні напруги та напруги на активному і індуктивному опорі. Результати замірів записати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. – Електричні параметри кола

	Активний опір – R	Індуктивний опір – X_L
Амплітуда напруги на елементі – U , В		
Період коливань – T , мс		
Фазове зрушення – $\Delta\varphi^\circ$		

Примітка.

1. Регулювання величини вхідної напруги виконувати потенціометром "Вихід" на джерелі змінної напруги (генераторі звукової частоти).

2. Замалювати епюри напруги на активному та реактивному опорі і визначити різницю їх початкових фаз за формулою:

$$\Delta\varphi^\circ = (t / T) \cdot 360^\circ,$$

де t - зрушення початку синусоїд по осі X в мс;

T - тривалість періоду коливань в мс.

2.2 Дослідження електричного кола змінного струму з активним і ємнісним опорами

Пояснення. Ємність у колі змінного струму періодично заряджається і розряджається. Цей процес не може відбуватися миттєво, так як при цьому була потрібна нескінченно велика потужність джерела. Реально, час який витрачається на перезаряд не дорівнює нулю, що призводить до появи реактивного ємнісного опору величина якого визначається виразом:

$$X_C = -\frac{1}{2\pi fC},$$

де C – величина ємності, Ф.

На протипагу індуктивності, струм через ємність випереджає напругу на ній в ідеальному випадку на $\frac{\pi}{2}$, тому реактивний опір місткості прийнято вважати негативним. Епюри струму та напруги (рис. 2.3.а) і векторна діаграма (рис. 2.3.б) мають такий же вигляд як показано, якщо тільки позначення струму та напруги поміняти місцями. Всі інші співвідношення для визначення: повного опору, активної, реактивної та повної потужності мають такий же вигляд як і у випадку індуктивного реактивного опору.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, наведену на рис. 2.5, встановивши замість котушки індуктивності конденсатор.
2. Повторити всі вимірювання та розрахунки по пп.2 – пп.6 попереднього підрозділу 2.1 для випадку, коли замість котушки індуктивності в схему на рис. 2.5 включена ємність.
3. Порівняти отримані результати.

Зміст звіту

1. Назва лабораторної роботи.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів і устаткування, які необхідні для виконання даної лабораторної роботи.
3. Електрична схема вимірювання.
4. Таблиці з вимірними й обчисленими величинами.
5. Осцилограми напруги на резисторах і реактивних елементах.
6. Порівняльна оцінка зсуву фази між струмом і напругою для реактивного опору різного виду (індуктивне і ємкісне).
7. Висновки по роботі

Відповісти усно на наступні питання

1. Який струм називається синусоїдальним змінним струмом?
2. Чому дорівнює реактивний опір індуктивності?
3. Чому дорівнює реактивний опір ємності?
4. Чому дорівнює миттєва напруга на індуктивності (ємності) і на активному опорі, якщо по них протікає змінний струм?
5. Чому дорівнює кутова частота? У яких одиницях вона вимірюється?
6. Чому дорівнюють діючі значення синусоїдальних струму і напруги?

Лабораторна робота № 3

"Дослідження частотних властивостей електричних кіл змінного струму з реактивними LC - елементами"

Мета роботи. Ознайомитися з найпростішими колами змінного струму, що складаються з ємнісних й індуктивних елементів, що утворюють частотні фільтри й резонансні контури; виміряти величини струмів і напруг на окремих ділянках кола при різних значеннях частоти живлячої напруги.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- види електричних фільтрів та їх основні характеристики;
- фізичну сутність процесу виникнення резонансу в електричних колах;
- вплив параметрів окремих елементів на величину частоти резонансу контуру й ширину смуги пропускання фільтра.

вміти:

- розраховувати й практично визначати смугу пропускання фільтра;
- будувати амплітудно-частотну характеристику фільтра по крапках за допомогою вольтметра й осцилографа;
- розраховувати й практично визначати резонансну частоту й смугу пропускання коливального контуру;

3.1 Дослідження фільтрів нижніх і верхніх частот

Пояснення. У практиці електротехніки часто виникає необхідність додати колам частотно-селективні властивості. Тобто коливання, наприклад нижніх частот, повинні проходити з мінімальними втратами, а коливання верхніх частот – з більшим ослабленням. Таке коло називається частотним фільтром нижніх частот. Існують і використовуються також частотні фільтри верхніх частот – проникними є тільки верхні частоти, смугові – *проникні* частоти від ω_n до будь-якої величини ω_v та режекторні – *не проникні* частоти від ω_n до будь-якої величини ω_v [1, 2].

На рис. 3.1 показаний приклад схеми найпростішого LC – фільтра нижніх частот (ФНЧ). При подачі сигналу певної частоти на вхід фільтра (ліворуч), напруга на виході фільтра (праворуч) визначається відношенням реактивних опорів котушки індуктивності ($X_L = \omega L$) і конденсатора

$$(X_C = \frac{1}{\omega C}).$$

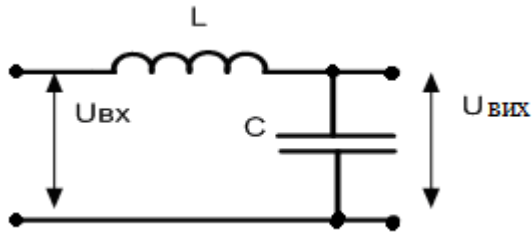


Рисунок 3.1 – Ланка фільтру нижніх частот

Коефіцієнт передачі ФНЧ можна обчислити, розглядаючи дільник напруги, утворений частотнозалежними опорамі реактивності L і C . Комплексне (з урахуванням зрушення фаз між напругою й струмом) опір котушки індуктивності:

$$Z_L = j\omega L = jX_L,$$

і конденсатора:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -jX_C,$$

де $j = \sqrt{-1}$ – уявне число;

$\omega = 2\pi F$ – кутова поточна частота.

Для не навантаженого LC – фільтра коефіцієнт передачі буде:

$$K = \frac{Z_C}{Z_L + Z_C}.$$

Підставляючи значення комплексних опорів, одержимо для частотно - залежного коефіцієнта передачі:

$$K(\omega) = \frac{1}{1 - \omega^2 LC} = \frac{1}{1 - (\omega/\omega_0^2)}.$$

Залежності модуля комплексного коефіцієнта передачі фільтра від частоти називають *амплітудно-частотною характеристикою* (АЧХ). Як видно, коефіцієнт передачі не навантаженого ідеального ФНЧ необмежено зростає з наближенням до частоти $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, і потім зменшується. На дуже низьких частотах коефіцієнт передачі ФНЧ близький до одиниці, на дуже високих – до нуля.

У реальних схемах до виходу фільтра підключається активне навантаження, що знижує добротність фільтра й запобігає резонансу АЧХ поблизу частоти ω_0 . Величина цього опору визначається по формулі:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ і називається характеристичним опором фільтра.}$$

ФНЧ, навантажений на опір, рівний характеристичному, має нерезонансну (рівномірну) АЧХ, приблизно постійну для частот $\omega < \omega_0$, і спадає як $\frac{1}{\omega^2}$ на частотах вище ω_0 . Тому, частоту ω_0 називають *частотою зрізу* і вона визначає смугу пропускання фільтра. На рис. 3.2 представлена ідеалізована АЧХ навантаженого фільтра нижніх частот. Для зручності порівняння по вертикальній осі відкладається не абсолютне значення коефіцієнта передачі, а нормоване до максимального, тобто

$$K_0 = K / K_{\max}.$$

На практиці прийнято відраховувати смугу пропускання при зменшенні відносного коефіцієнта передачі до рівня 0,707.

Аналогічним образом будується й *LC* – *фільтр* верхніх частот. У схемі ФВЧ міняються місцями котушка індуктивності й конденсатор. Для не навантаженого ФВЧ виходить наступний коефіцієнт передачі:

$$K(\omega) = -\frac{(\omega / \omega_0)^2}{1 - (\omega / \omega_0)^2}.$$

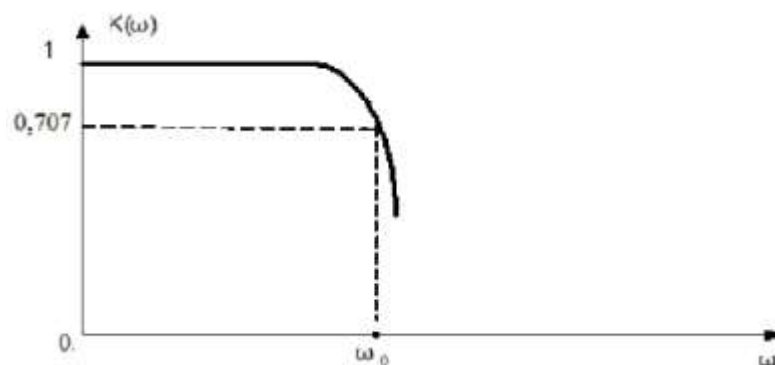


Рисунок 3.2 – Амплітудно-частотна характеристика ФНЧ

На дуже низьких частотах модуль коефіцієнта передачі ФВЧ близький до нуля. На дуже високих – до одиниці. Характеристичний опір визначається за тією ж формулою. Ідеалізована амплітудно-частотна характеристика ФВЧ представлена рис. 3.3.

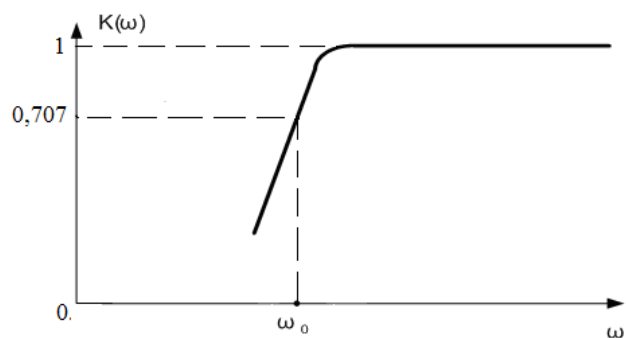


Рисунок 3.3 – Амплітудно-частотна характеристика ФВЧ

Устаткування та апаратура

Генератор синусоїдальних коливань, двопробеневий осцилограф, набір котушок індуктивності, конденсаторів, резисторів і комплект з'єднуючих дротів.

Порядок виконання роботи

1. Для конденсатора та котушки індуктивності, виданих викладачем, розрахувати величину частоти зрізу ω_0 і величину характеристичного опору ρ .

2. Зібрати схему ФНЧ, навантаженого на характеристичний опір, наведений на рис. 3.4.

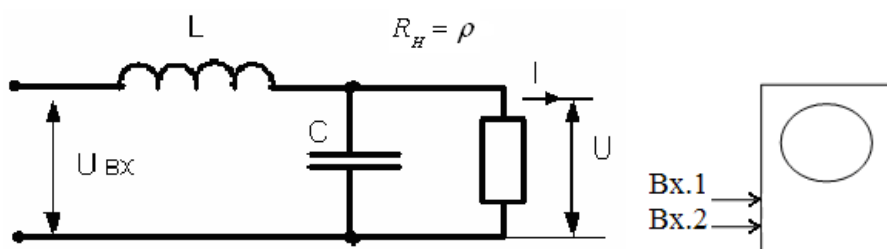


Рисунок 3.4 – Схема електричних вимірів ФНЧ

3. Підключити Вхід 1 осцилографа та генератор синусоїдальних коливань до входу фільтра, установити й підтримувати по екрану осцилографа протягом всіх вимірів амплітуду вихідної напруги генератора постійною, наприклад 1 В.

4. Підключити Вхід 2 осцилографа паралельно характеристичному опору й по екрану виміряти амплітуду вихідної напруги; змінюючи частоту генератора від мінімуму до максимуму, фіксувати амплітуду вихідної напруги, дані занести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність вихідної напруги фільтра від частоти

Частота генератора - F , Гц	F_1	$F_1 + \Delta F$	$F_1 + 2\Delta F$...	$F_1 + i\Delta F$...	$F_1 + (n-1)\Delta F$	$F_1 + n\Delta F$
Вхідна напруга - U , В								
Вихідна напруга - U , В								
Відносний коеф.перед. K_0								

Примітка. У таблиці прийняті наступні позначення: F_1 – початкова частота діапазону дослідження; ΔF – «крок» зміни частоти генератора; n – кількість кроків зміни частоти генератора.

5. За даними табл. 3.1 розрахувати величину відносного коефіцієнта передачі ФНЧ, побудувати графік залежності $K_0(\omega)$, визначити за графіком смугу пропускання ФНЧ.

6. Поміняти місцями конденсатор і котушку індуктивності, тим самим перейти від ФНЧ до ФВЧ і повторити пп. 2 – 5.

7. Зробити висновки.

3.2 Дослідження резонансного контуру

Пояснення. У практиці електротехніки часто використовується явище резонансу в коливальному контурі, що складається з ємності конденсатора й котушки індуктивності. В електронних пристроях резонанс виникає на певній частоті, коли індуктивна і ємнісна складові реакції системи врівноважені, що дозволяє енергії циркулювати між магнітним полем індуктивного елемента й електричним полем конденсатора [1, 2].

Механізм резонансу полягає в тому, що магнітне поле індуктивності генерує електричний струм, що заряджає конденсатор, а розрядка конденсатора створює магнітне поле в індуктивності – процес, що повторюється багаторазово, за аналогією з механічним маятником.

Електричний пристрій, що складається з ємності й індуктивності, називається коливальним контуром. Елементи коливального контуру можуть бути включені як послідовно, так і паралельно. При досягненні

резонансу, імпеданс послідовно з'єднаних індуктивності і ємності мінімальний, а при паралельному включенні – максимальний.

Частота, на якій відбувається резонанс, визначається величинами елементів які при цьому використовуються. У той самий час, резонанс може бути й шкідливий, якщо він виникає в несподіваному місці через ушкодження, недостатньо якісного проектування або виробництва електронного пристрою. Такий резонанс може викликати паразитний шум, перекручування сигналу, і навіть ушкодження компонентів.

Прийнявши, що в момент резонансу індуктивна і ємнісна складові імпедансу рівні, резонансну частоту можна знайти з виразу:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C},$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота,
 f – резонансна частота, Гц;
 L – індуктивність контуру, Гн;
 C – ємність контуру, Ф.

Формула для визначення резонансної частоти як послідовного так і паралельного контурів називається формулою Томсона та має вигляд:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Важливо, що в реальних системах поняття резонансної частоти нерозривно пов'язане зі смугою пропускання, тобто діапазоном частот, у якому реакція системи мало відрізняється від реакції на резонансній частоті.

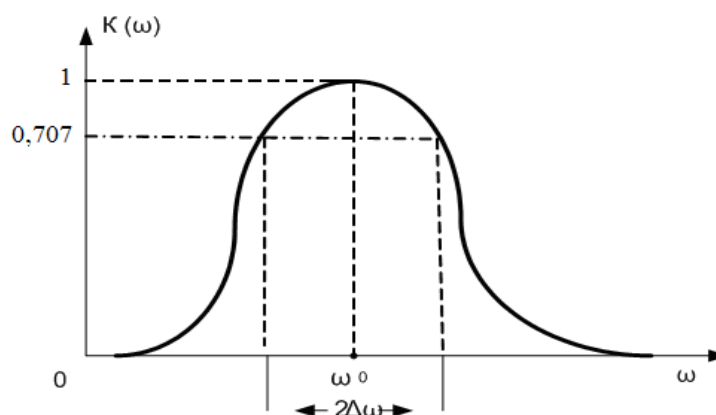


Рисунок 3.5 – Типова резонансна крива коливального контуру

Ширина смуги пропускання $2\Delta\omega$ визначається добротністю коливального контуру - Q . Чим добротність вище, тим вужче смуга пропускання (величина $2\Delta\omega$ менша) і скати резонансної кривої крутіші. Теоретично резонансна крива має бути «П- подібної» форми, на практиці резонансна крива має звіноподібну форму, показану на рис. 3.5. Смуга пропускання $2\Delta\omega$ визначається, як і для фільтрів за рівнем 0,707.

Порядок виконання роботи

1. Для конденсатора й котушки індуктивності, виданих викладачем, розрахувати частоту резонансу ω_0 .
2. Зібрати схему коливального контуру, наведену на рис. 3.6.
3. Підключити Вхід 1 осцилографа та генератор синусоїдальних коливань до входу фільтра, установити й підтримувати по екрану осцилографа протягом всіх вимірів амплітуду вихідної напруги генератора постійною, наприклад 1 В.
4. Підключити Вхід 2 осцилографа паралельно характеристичному опору й по екрану виміряти амплітуду вихідної напруги; змінюючи частоту генератора від мінімуму до максимуму, фіксувати амплітуду вихідної напруги, дані занести в табл. 3.1.
5. За даними табл. 3.1 розрахувати величину відносного коефіцієнта передачі контуру, побудувати графік залежності $\hat{E}_0(\omega)$, визначити за графіком смугу пропускання коливального контуру.

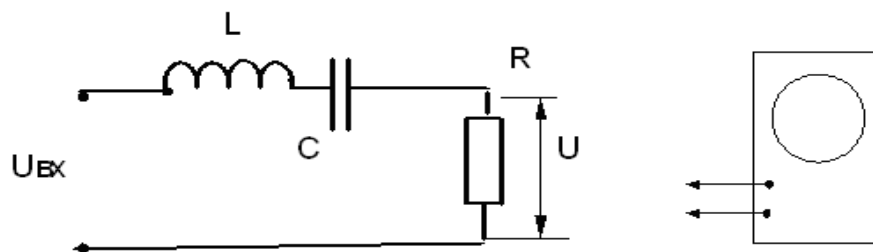


Рисунок 3.6 – Схема електричних вимірів коливального контуру

Зміст звіту

1. Назва лабораторної роботи.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів й устаткування, необхідних для виконання даної лабораторної роботи.
3. Електричні схеми вимірів.
4. Таблиці з обмірюваними й обчисленими величинами.
5. Графіки передатних характеристик фільтрів і контурів.

6. Висновки по роботі.

Відповісти усно на наступні питання

1. Для чого призначені частотні фільтри?
2. Які бувають частотні фільтри?
3. Чим обумовлені властивості частотних фільтрів?
4. Що таке частота зрізу фільтра?
5. Як визначається характеристичний опір фільтра?
6. Що таке смуга пропускання фільтра?
7. Що таке коливальний контур?
8. Де застосовуються коливальний контур?
9. Як визначається смуга пропускання контуру?
10. Як впливає добротність на смугу пропускання контуру?
11. Який характер має імпеданс контуру на резонансній частоті?

Лабораторна робота № 4

"Дослідження вольт-амперної характеристика р-п переходу"

Мета роботи. Зняти вольт-амперну характеристику р-п переходу і вивчити конструкцію напівпровідникових діодів.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- основні характеристики виникнення напівпровідникових матеріалів, відмінність їх від діелектриків та матеріалів;
- фізичну природу виникнення р-п переходу в напівпровідниках;
- основні властивості та параметри р-п переходу.

вміти:

- будувати за даними електричних вимірів пряму і зворотну гілку вольт-амперної характеристики р-п переходу;
- визначати працездатність напівпровідникових діодів за допомогою приладів електровимірювань.

4.1 Зняття вольт - амперної характеристики р-п переходу.

Пояснення. Напівпровідники займають проміжне положення між провідниками і ізоляторами. Носіями струму в них є, окрім вільних електронів, ще і, так звані, дірки. Це порожні місця, що виникають в кристалічній решітці атомів при відриві електронів. На це не заміщене місце може перейти електрон з сусіднього атома, залишивши після себе нову дірку. Таким чином, дірки можуть передаватися від одного атома до іншого атома, що рівноцінно руху позитивного заряду у напрямку переміщення дірки.

У хімічно чистому напівпровіднику (заздалегідь ретельно очищеному від домішок) концентрація вільних електронів і дірок однаково, тому такий чистий провідник погано проводить електричний струм. Бажано, щоб в напівпровіднику в якості носіїв струму значно переважали електрони або дірки. Для цього в напівпровідник вводять незначну, але точно визначену кількість домішок, яка надає провідності напівпровідника певний характер, - електронний або дірковий - і одночасно у багато разів збільшує провідність напівпровідника.

Якщо в кристал чистого чотиривалентного германію внести домішку п'ятивалентного елементу, наприклад сурми, то в нім з'явиться надлишок вільних електронів. Якщо в кристал чистого германію внести домішку тривалентного елементу, наприклад індію, то він матиме надлишок дірок.

Домішковий елемент, що створює надлишок електронів в напівпровіднику, називається **донором**. Напівпровідник з електронною провідністю називається напівпровідником з провідністю n типу. Домішковий елемент, що створює в напівпровіднику надлишок дірок, називається **акцептором** (провідність p - типу).

Якщо спаяти два кристали з різною провідністю (див. рис. 4.1), утворюється напівпровідниковий перехід p - n , який має дуже корисну властивість - вентильну дію, тобто добре проводить електричний струм тільки в одному напрямі, отже він може служити для випрямлення змінного струму. Його називають напівпровідниковим діодом, або напівпровідниковим вентиляем.

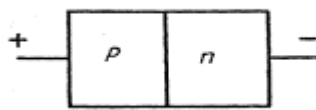


Рисунок 4.1 – Утворення p – n переходу

Якщо прикласти до переходу p - n різницю потенціалів полярністю, вказаною на рис. 4.1, то електрони, що знаходяться в області n , під дією електричного поля спрямуються через перехід в область p . Дірки, що знаходяться в області p , під дією цього ж електричного поля спрямуються через перехід в зону n . На стику областей дірки та електрони нейтралізуються, або, як то кажуть, рекомбінують.

Такий зустрічний рух носіїв заряду різного знаку є електричним струмом через перехід p - n напівпровідникового діода. При зворотній полярності дірки і електрони рухаються "від переходу". Через перехід немає руху носіїв заряду, тому і електричний струм через перехід майже не тече. Малий струм в непровідному напрямі діода створюється неосновними носіями струму - дірками, наявними у малій кількості в електронному напівпровіднику, і вільними електронами, наявними в дірковому напівпровіднику.

Таким чином, напівпровідниковий діод добре пропускає електричний струм тільки в одному - прямому напрямі. Коли джерело напруги включене протилежною полярністю, струм тече у зворотному напрямі. Відповідно до цього введені поняття: прямий струм і пряма напруга (коли діод відкритий і пропускає струм) і зворотний струм і зворотна напруга (коли діод закритий і не пропускає струму). Основною характеристикою напівпровідникового діода є його вольт-амперна характеристика, тобто залежність струму від напруги, прикладеної до діода (рис.4.2, б). Вольт-амперну характеристику знімають за схемою, зображеною на рис. 4.2 а.

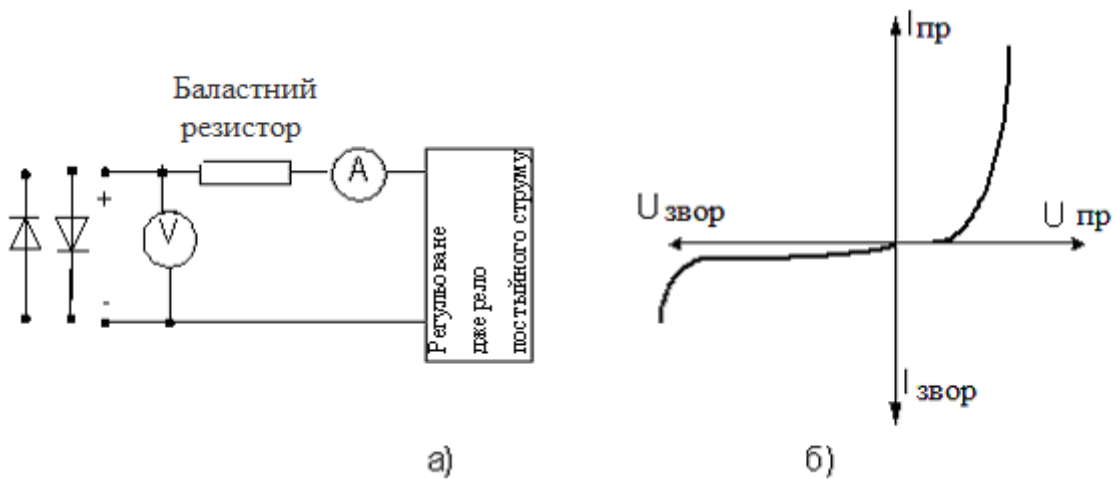


Рисунок 4.2 – Випробування напівпровідникових діодів:
 а – схема включення приладів для зняття вольт-амперної
 характеристики напівпровідникового діода;
 б – вольт-амперна характеристика діода.

Устаткування та апаратура

Міліамперметр, вольтметр, мікроамперметр постійного струму, напівпровідникові діоди (випрямляючий, стабілітрон, діод Шоткі), баластний резистор, регульоване джерело постійного струму.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему рис. 4.2 а, встановивши випрямляючий діод анодом до плюса джерела.
2. Зняти пряму гілку ВАХ р- n переходу випрямляючого діода, для чого подати плюс джерела до анода діода.
3. Ручкою «Установка напруги» джерела задати різні значення напруги (всього 6-8 точок) від нуля до 2В, записати показники приладів в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вольт-амперні характеристики напівпровідникового діода

Номер вимірювань	1	2	3	4	5	6	7
Пряма напруга, В							
Прямий струм, мА							
Зворотна напруга, В							
Зворотній струм, мкА							

4. Зняти зворотну гілку ВАХ р- n переходу випрямляючого діода, для чого подати мінус джерела на анод діода (витягнути діод з гнізда набірного поля і його на 180° встановити на колишнє місце); замінити міліамперметр на мікроамперметр і повторити пп.

3, змінюючи напругу від 0 до 30В, дані занести в табл. 4.1.

5. За даними табл. 4.1 по точках побудувати пряму і зворотну гілці ВАХ р - n переходу, тобто напівпровідникового діода.

6. Зняти зворотну гілку ВАХ р- n переходу стабілітрона, для чого на місце випрямляючого діода установити стабілітрон катодом до плюса джерела та виконати п.п. 3-5.

7. Зняти зворотну гілку ВАХ переходу Шоткі, для чого на місце випрямляючого діода установити діод Шоткі катодом до плюса джерела та виконати п.п. 3-5.

8. По отриманим даним (табл. 4.1 и три варіанта таблиці 4.2) побудувати на одному графіку чотири кривих (пряму гілку р- n переходу випрямляючого діода, зворотну гілку ВАХ р- n переходу випрямляючого діода, зворотну гілку ВАХ р- n переходу стабілітрона та зворотну гілку ВАХ переходу Шоткі).

9. Зробіть висновки.

4.2 Перевірка роботоздатності напівпровідникових діодів

Мета роботи. Навчитися за допомогою простих засобів перевіряти справність напівпровідникових діодів.

Пояснення. Напівпровідники діоди мають властивість односторонньої провідності, що витікає з їх ВАХ. Ґрунтуючись на цій властивості можна за допомогою омметра встановити справний або несправний напівпровідниковий діод до установки його в схему.

Устаткування та апаратура

Омметр з внутрішнім джерелом постійного струму(батареєю), набір напівпровідникових діодів, що містять несправності.

Порядок виконання роботи:

1. З'єднати виводи діода з дротами омметра, зняти показники.
2. Поміняти місцями виведення діода по відношенню до дротів омметра, зняти свідчення.
3. Порівняти показники, отримані в першому та другому випадку.
4. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Назва лабораторної роботи.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів й устаткування, необхідних для виконання даної лабораторної роботи.
3. Електричні схеми вимірів.
4. Таблиці з обмірюваними величинами.
5. Графіки ВАХ, залежності струму від напруги (пряма та зворотна гілка).
6. Висновки по роботі.

Відповісти усно на наступні питання

1. Яка конструкція напівпровідникового діода?
2. Принцип роботи напівпровідникового діода?
3. Що таке напівпровідник?
4. Чому до напівпровідникового діода необхідно прикласти різницю потенціалів (мінусом до області n і плюсом до області p), щоб з'явився електричний струм?
5. Що називають прямою та зворотною напругою діода?
6. Що називають прямим та зворотним струмом діода?
7. За яким законом змінюється струм через діод при зміні прямої напруги?
8. За яким законом змінюється струм через діод при зміні зворотної напруги?

Лабораторна робота № 5

"Вивчення оптронів і тиристорів"

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи оптронів і тиристорів.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- будову та принцип дії оптронів різних типів;
- будову та принцип дії тиристорів різних типів;
- сфера застосування оптронів і тиристорів;

вміти:

- визначати робоздатність оптронів та тиристорів за допомогою приладів електровимірювань;
- підключити оптрони і тиристири для роботи в електричній схемі;
- знімати характеристику управління симисторного регулятора.

5.1 Оптрони

Пояснення.

Оптроном, або оптоелектронною парою називається пристрій, що складається із світловипромінювача, фотоприймача і оптично прозорого середовища між ними і призначене для передачі інформації (сигналу) без гальванічної (безпосередньому зв'язку) між вхідними і вихідними ланцюгами.

Світловипромінювачем служить світлодіод, фотоприймачем може служити фоторезистор, фотодіод, фототранзистор, фототиристор. Тому оптрони бувають резисторами, діодними, транзисторними (рис.5.1.).

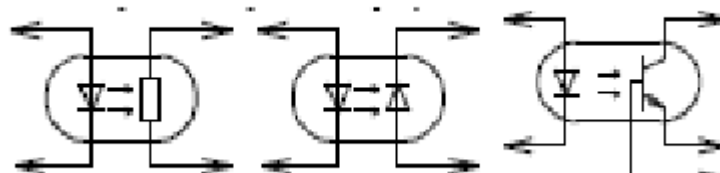


Рисунок 5.1 – Види оптронів

Принцип дії оптрона наступний. При поданні на вхід логічного нуля струм через світлодіод не протікає, світло діод не світиться і фоторезистор (чи фотодіод, або фототранзистор) матиме великий внутрішній опір (більше декількох МОм), званий темновий. В цьому випадку

струм через нього практично відсутній. При поданні на вхід логічної одиниці світлодіод починає випромінювати світло і опір фоторезистора (фотодіода, фототранзистора) різко зменшується до величини декілька сотень ом, а струм пропорційно зростає.

У разі, коли приймачем світла служать напівпровідникові структури на основі р - n переходів за відсутності випромінювання світлодіода (логічний нуль) перехід закритий і струм практично не пропускає. При передачі логічної одиниці коли світлодіод починає випромінювати, кванти світла створюватимуть додаткові носії зарядів, а отже, струм через фотоприймач буде збільшуватися.

Устаткування та апаратура

Діодний оптрон, вольтметр, міліамперметр, омметр, потенціометр на 15 ком, регульоване джерело постійного струму 0 - 20 В.

Порядок виконання роботи

Вимагається зняти характеристику залежності вихідного опору оптрона від величини вхідного струму, що кількісно визначає яскравість світіння світлодіода оптпари. Для якісного контролю яскравості світіння діода оптпари послідовно з ним включений інший світло діод. Порядок зняття залежності наступний.

1. Зібрати схему (рис. 5.2) ретельно перевірити полярність включених елементів і встановити реостат на максимальний опір.

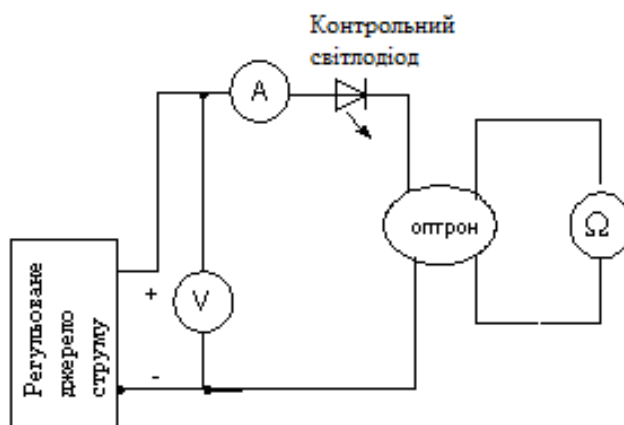


Рисунок 5.2 – Схема для зняття характеристик оптрона

2. Встановити напругу живлення, що надходять від джерела 7-8 В та підключити схему до нього. Виміряти величину темного опору та занести до табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Параметри темного опору

Номер вимірювання	1	2	n- 1	n
Струм в колі світлодіода – $I_{вх}$, мА					
Опір фотоприймача – $R_{вих}$, Ом					

3. Зменшити величину опору реостату, спостерігати за підвищенням яскравості світіння контрольного світло діода і фіксувати величину вихідного опору (5-7точок), дані занести в табл.. 5.1.

4. Побудувати графік залежності $R_{вих} = f(I_{вх})$.

5. Зробити висновки.

5.2 Тиристри

Пояснення.

Тиристором називається чотиришаровий напівпровідниковий прилад, що складається з областей р- і n-, що послідовно чергуються, типів провідності. Тиристри розділяються на:

- дінистри - це діодні тиристри, або некеровані перемикаючі діоди;
- триністри - це керовані перемикачі;
- симістри - це симетричні тиристри, тобто тиристри з симетричною ВАХ

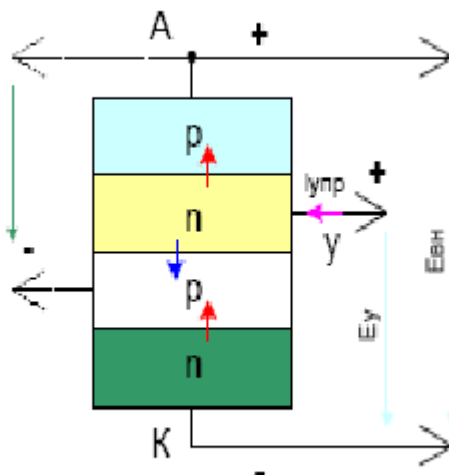


Рисунок 5.3 – Структура триністора

Триністри представляють клас тиристорів призначений для роботи в якості потужних комутуючих пристроїв, які керуються зовнішнім малопотужним додатковим струмом, що прикладається до області

однієї з баз багатошарової р-п структури (рис.5.3). При цьому триністор можна включати при меншій напрузі. Для цього досить, щоб додаткова напруга створювала поле співпадаюче за напрямком з полем анода на колекторному переході.

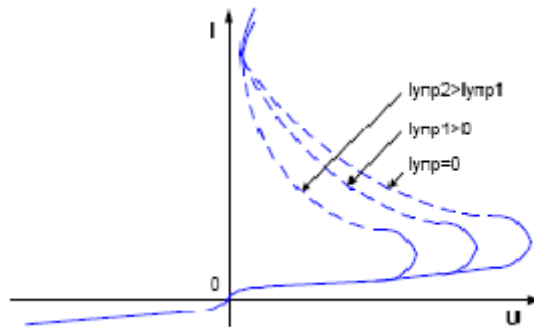


Рисунок 5.4 – Вольт-амперна характеристика триністора

Можна управляти триністором подаючи струм, викликаний негативним відносно анода керівником напругою, на другу базу. Тому розрізняють триністори з управлінням по катоду і з управлінням по аноду.

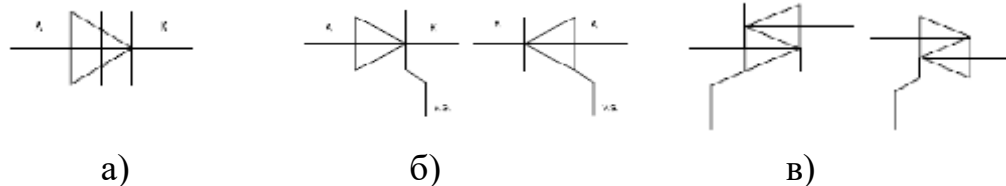


Рисунок 5.5 – Умовні графічні позначення (УГП) тиристорів:
а –диністор; б- триністор з управлінням по катоду і аноду, відповідно;
в - симістор.

У цій роботі досліджується симістор. Симістори, у відмінності від триністорів, уніполярні, тобто у них немає позначених виведень анода і катода, а тільки силові виведення і керівник. Завдяки цьому вони працюють в ланцюгах змінного струму пропускаючи обидві половини синусоїдальної напруги. Структура симістора представлена на рис.5.6. Як видно з малюнка, вона багатошарова і має три р-п переходу (П1, П2, П3). Розглянемо принцип дії симістора.

Подамо позитивну напругу на області р1, n1, а негативне на області р2, n3. Перехід П1 закритий, і вимикається з роботи область n1. Переходи П2 і П4 відкриті і виконують функцію емітерних переходів. Перехід П3 закритий і виконує функцію колекторного переходу.

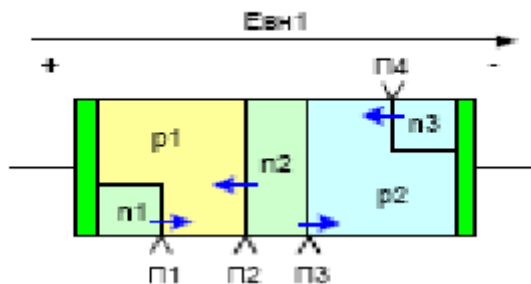


Рисунок 5.6 – Структура симістора

Структура симістора буде областями p_1 , n_2 , p_2 , n_3 , де p_1 виконуватиме функції анода, а n_3 - катода при прямому включенні.

Подамо напругу плюсом на області p_2 , n_3 , а мінусом на області p_1 , n_1 . Перехід П4 закриється і вимкне з роботи область n_3 . Переходи П1 і П3 відкриваються і гратимуть роль емітерних переходів. Перехід П2 закриється і виконуватиме функцію колекторного переходу.

Таким чином, структура симістора матиме вигляд $p_2 - n_2$, $p_1 - n_1$, де область p_2 буде анодом, а n_1 - катодом. В результаті виходитиме структура в прямому включенні, але при зворотній напрузі. ВАХ матиме вигляд, зображений на рис.5.7. Вона представляє з себе дві прямі гілки ВАХ триністора, представленою на рис. 5.4.

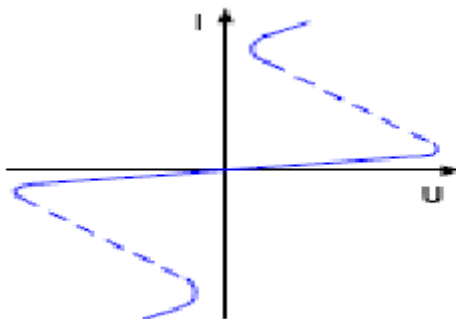


Рисунок 5.7 – Вольт-амперна характеристика симістора

Устаткування та апаратура

Розділовий трансформатор з регульованим виходом, досліджувана схема регулювання на симісторі, вольтметр змінного струму, осцилограф, імітатор навантаження, сполучні дроти.

Порядок виконання роботи

Вимагається зняти якісну характеристику залежності фази відсічення вихідної напруги від величини регулюючого резистора.

Порядок зняття залежності наступний.

Увага. Роботи проводяться при напрузі 70-100 В! Строго дотримуватися правил електробезпеки! Не торкатися до оголених провідників!

1. Підключити досліджувану схему (рис.5.8). Ретельно перевірити полярність включених елементів і встановити регулювальний реостат на максимальний опір.

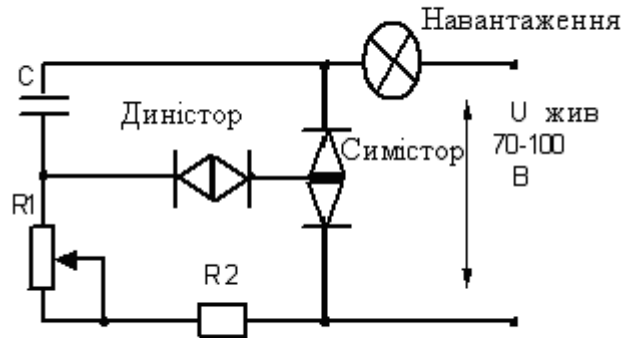


Рисунок 5.7 – Схема перевірки роботи симістора

2. Включити живлення (у присутності керівника).
3. Підключити осцилограф до навантаження і зняти епюру напруги при максимальному значенні управляючого резистора.
4. Зменшуючи величину управляючого резистора, спостерігати за світінням лампочки і знімати епюри напруги на навантаженні, визначаючи величину фазового кута відсічення синусоїдальної напруги, для чого :

- виміряти тривалість одного напівперіоду на екрані осцилографа - $T_{пп}$
- виміряти тривалість видимої частини синусоїди – $T_{син}$;
- розрахувати фазовий кут відсічення в градусах за виразом

$$\varphi^\circ = 180^\circ (T_{син} / T_{пп}).$$

5. Повторити пп.4 три, чотири рази.
6. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів й устаткування, необхідних для виконання даної лабораторної роботи.
3. Електричні схеми вимірів.

4. Таблиця з обмірюваними та графік залежності $R_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}})$ для оптрона, побудований за даними таблиці 5.1.

5. Епюри напруги на навантаженні для симістора при різних ступенях його відкриття, розраховані в градусах.

6. Висновки.

Відповісти усно на наступні питання

1. Принцип роботи оптрона?
2. Принцип роботи триністора?
3. Принцип роботи симістора?
4. Які типи оптронів існують?
5. Які типи тиристорів існують?
6. Де застосовуються оптрони?
7. Де застосовуються симістори?
8. Де застосовуються триністори?
9. Де застосовуються диністори?

Лабораторна робота №6

"Зняття вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора"

Мета роботи. Ознайомитися з роботою транзистора і зняти основні характеристики.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- пристрій і принцип дії площинного біполярного транзистора;
- фізичний зміст процесів, які протікають у біполярному транзисторі при його роботі;
- схеми включення біполярних транзисторів;

вміти:

- включати в електричну схему транзистори з різним типом провідності;
- знімати вхідні і вихідні характеристики транзисторів;
- визначати працездатність транзисторів за допомогою електровимірювальних приладів.

Пояснення. Транзистор має два $p-n$ переходи, які спрямовані один одному назустріч, причому струм одного переходу управляє струмом іншого переходу. В залежності від провідного напрямку кожного переходу можна утворити два типи транзисторів $p-n-p$ і $n-p-n$.

Схема підключення транзистора типу $p-n-p$ показана на рис. 6.1. Три області транзистора позначені: E - емітерна p - типу, B - базова n - типу, K - колекторна p - типу. Відповідно до цього є два переходи – емітерний і колекторний. Якщо до емітерного переходу прикласти напругу в провідному (прямому) напрямку, як показано на рис. 6.1, то він виявиться відкритим. Носії заряду (у даному випадку дірки), що знаходяться в емітерній зоні, під впливом електричного поля рухаються через емітерний перехід у базову зону. Напруга на колекторний перехід включена в непровідному (зворотному) напрямку. Електрони, що знаходяться в базовій зоні, не можуть пройти колекторний перехід, тому що сильне електричне поле в області переходу змушує їх рухатися в зворотну сторону. По тій же причині дірки, що знаходяться в колекторній зоні, не можуть потрапити в базову зону. Однак, дірки, що пройшли в базову зону з емітерної, під впливом цього ж електричного поля інтенсивно рухаються в колекторну зону.

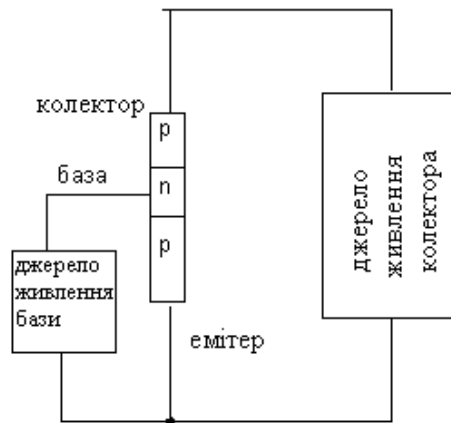


Рисунок 6.1 – Схема підключення транзистора типу $p-n-p$

Ширина базової області робиться якнайменшою, щоб дірки проходили з емітерної області, не встигаючи рекомбінувати (нейтралізуватися) з електронами в базі. Тільки невелика частина дірок рекомбінується в базовій області з місцевими електронами. Основна кількість дірок проходить через базу в колекторну область. Дірки, що рухаються через емітерний і колекторний переходи, являють собою відповідно емітерний і колекторний струми. Рухом електронів, як неосновними носіями струму емітерної і базової областей, у даному випадку зневажаємо. Колекторний струм складає звичайно 0,8-0,95 емітерного струму. Відношення колекторного струму до емітерного називається коефіцієнтом підсилення транзистора за струмом:

$$\alpha = \frac{I_k}{I_e}$$

Базовий струм дорівнює різниці між емітерним і колекторним струмами:

$$I_a = I_E - I_K = \frac{I_K}{\alpha} - I_K = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)I_K = \frac{I_K}{\beta}$$

Величина β називається коефіцієнтом підсилення за струмом в схемі з загальним емітером. Нині параметр β прийнято називати *коефіцієнт передачі струму бази* і позначати h_{21} .

Існують три схеми включення транзистора (рис. 6.2): схема з загальною базою, схема з загальним емітерним і схема з загальним колектором. У даній роботі передбачено випробовування схеми з загальним емітером.

Основними характеристиками транзистора, включеного за схемою з загальним емітером, є вхідна характеристика, що виражає залежність струму бази I_a від напруги $U_{a-\bar{a}}$ при постійній напрузі колектора $U_{\bar{e}-\bar{a}}$ (рис. 6.3 а), і вихідна характеристика, що показує залежність струму колектора I_e від напруги $U_{\bar{e}-\bar{a}}$ на ньому при постійному струмі бази I_a (рис. 6.3 б).

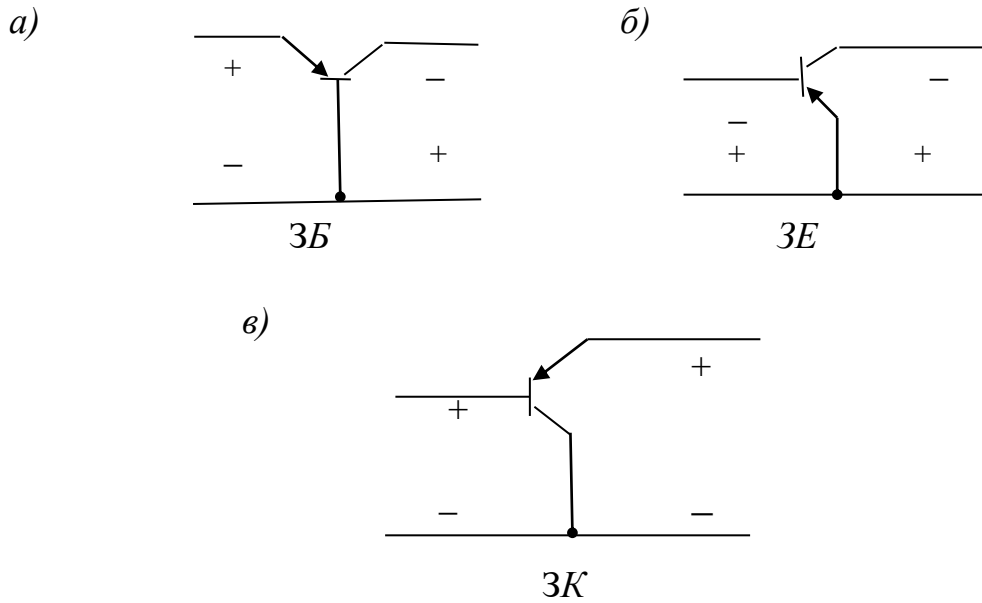


Рисунок 6.2 - Схеми включення транзисторів:
 а – із загальною базою, б – із загальним емітером, в - із загальним колектором

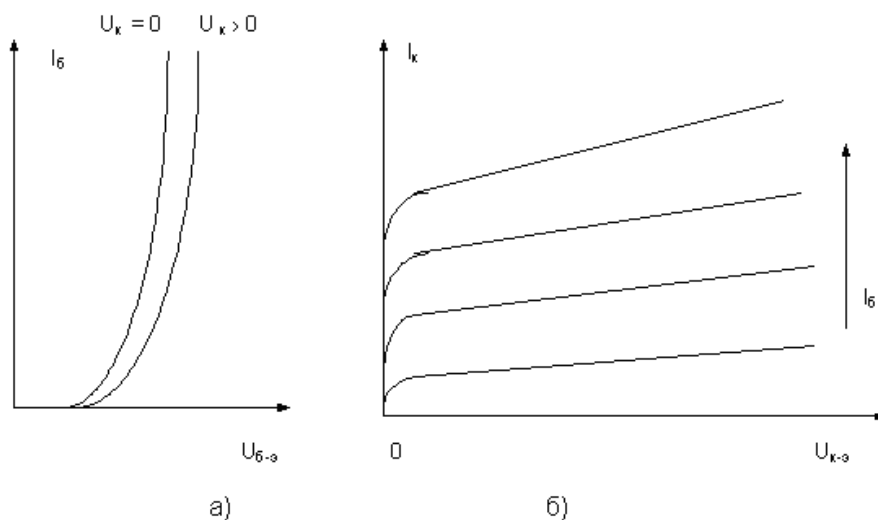


Рисунок 6.3 - Характеристики транзистора в схемі з загальним емітером:
 а — вхідна характеристика, б — вихідна характеристика

Устаткування та апаратура

Германієвий транзистор, вольтметри та міліамперметри постійного струму, потенціометр на 1 кОм.

Порядок виконання роботи

Зняття вхідної характеристики відбувається при двох фіксованих значеннях напруги колектора: $U_{к-е} = 0$ В та $U_{к-е} = 10$ В.

1. Зібрати схему (рис. 6.4), ретельно перевірити полярність включених елементів.

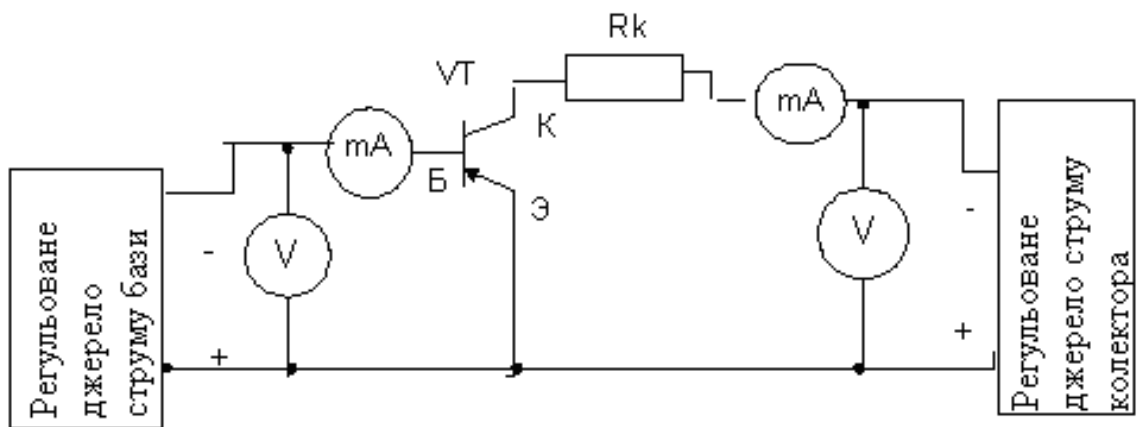


Рисунок 6.4 - Схема з'єднань приладів для зняття характеристик транзистора

2. Включити джерело колекторного живлення та установити на його виході значення першої фіксованої напруги на колекторі. У процесі роботи підтримувати його строго постійним.

3. Включити джерело живлення бази та послідовно установити різні значення напруги на базі (6-8 точок) в межах від 0 до 1,5 В.

4. При кожному установленому значенні напруги на базі записати показання всіх приладів в табл. 6.1.

5. Ручкою "Установка U_k " установити другу фіксовану напругу на колекторі і, підтримуючи його строго постійним, повторити операції, вказані в пп. 3 і 4.

6. За даними табл. 6.1 накреслити криві залежності $I_b = f(U_{б-е})$ при $U_{к-е} = 0$ В та при $U_{к-е} = 10$ В

Таблиця 6.1 – Вихідні характеристики транзистора

Вимірювання	1	2	3	4	5	6
Напруга $U_{\text{б-е}}$, В при $U_{\text{к-е}} = 0\text{В}$						
Струм бази – $I_{\text{б}}$, мА при $U_{\text{к-е}} = 0\text{В}$						
Напруга $U_{\text{б-е}}$, В при $U_{\text{к-е}} = 10\text{В}$						
Струм бази – $I_{\text{б}}$, мА при $U_{\text{к-е}} = 10\text{В}$						

Зняття вихідної характеристики виконується при двох фіксованих значеннях струму бази.

1. Включити джерело живлення бази та установити вибране значення струму бази, змінюючи напругу живлення бази в межах 0- 0,1 В і в процесі роботи підтримувати її строго постійною.

2. Регулюванням джерела колекторного живлення установлювати різні значення напруги на колекторі (5-6 точок). Записати в табл. 6.2 показання приладів при всіх значеннях напруги.

Таблиця 6.1 – Показання приладів при всіх значеннях напруги

Вимірювання	1	2	3	4	5	6
Напруга $U_{\text{к-е}}$, В при $I_{\text{б}} = 0\text{мА}$						
Струм колектора – $I_{\text{к}}$, мА при $I_{\text{б}} = 0\text{мА}$						
Напруга $U_{\text{к-е}}$, В при $I_{\text{б}} = 5\text{мА}$						
Струм колектора – $I_{\text{к}}$, мА при $I_{\text{б}} = 5\text{мА}$						
Напруга $U_{\text{к-е}}$, В при $I_{\text{б}} = 10\text{мА}$						
Струм колектора – $I_{\text{к}}$, мА при $I_{\text{б}} = 10\text{мА}$						

3. Установити нове фіксоване значення струму бази $I_{\text{б}}$, підтримуючи його строго постійним, виконати операцію, вказану в п. 2.

4. За даними табл. 8 побудувати графік залежності

$$I_{\text{к}} = f(U_{\text{к-е}}) \text{ при } I_{\text{б}} = 0 \text{ мА}, I_{\text{б}} = 5 \text{ мА}, I_{\text{б}} = 10 \text{ мА}.$$

Зміст звіту

1. Назва лабораторної роботи.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів і устаткування, які необхідні для виконання роботи.
3. Електрична схема вимірів.
4. Таблиці 6.1 та 6.2 з вимірними величинами.
5. Графіки залежностей: $I_{\text{б}} = f(U_{\text{б-е}})$ при $U_{\text{к-е}} = \text{const}$ В та $I_{\text{к}} = f(U_{\text{к-е}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$ мА .
6. Висновки по роботі.

Відповісти усно на наступні питання

1. За яким принципом працює транзистор?
2. Чому ширина базової області повинна бути якнайменшою?
3. Які існують типи транзисторів?
4. В якому стані повинен бути колекторний перехід - закритому чи відкритому? Чому?
5. Які носії заряду утворюють колекторний струм для транзисторів типу $p-n-p$ і які для транзисторів $n-p-n$?
6. Що означає коефіцієнт підсилення транзистора за струмом?
7. Які існують схеми включення транзисторів?
8. Де застосовуються транзистори?
9. Пояснити вид вхідних характеристик транзистора.
10. Пояснити вид вихідних характеристик транзистора.

Лабораторна робота №7

"Дослідження перехідних процесів в електричних колах"

Мета роботи. Вивчення перехідних процесів, що протікають в електричних колах, складених з опорів, індуктивностей та ємностей (у так званих RC - і RL -колах).

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. У результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- порядок розрахунку параметрів перехідних процесів в електричних ланцюгах класичним методом;
- фізичний сенс процесів, що відбуваються в електричних колах під час перехідних процесів;
- схеми інтегруючих, диференціюючих і перехідних кіл.
- правила безпеки при роботі в лабораторії;

вміти:

- вимірювати характеристики перехідних процесів за допомогою приладів;
- визначати вплив величин електричних параметрів елементів на характеристики перехідних процесів в колах.

Пояснення. Перехідними процесами в електричних колах називаються процеси, що виникають при переході від одного сталого режиму до іншого в результаті зміни напруги джерела, частоти, форми сигналу й т.д. Зміна параметрів джерел й елементів кіл називається комутацією. Важливими елементами в таких колах є так названі RC і RL - кола. [1, 2].

За їхньою допомогою можна інтегрувати або диференціювати електричні сигнали. Використовуючи властивості цих кіл можна формувати робочу смугу частот електронних пристроїв.

Застосування таких кіл можна проілюструвати на прикладі інтегруючого RL -кола. У фізичних приладах воно часто вбудовується в кінцевому каскаді підсилувача. За допомогою цього кола домагаються згладжування або, іноді говорять, інтегрування сигналу. При цьому шумова доріжка сигналу стає меншою за рахунок «електронного» усереднення сусідніх значень реєструючого сигналу, тобто вони стають скорельованими. Характеристикою, що описує цю кореляцію, є постійна часу. При виборі оптимальних розумів вимірів в експерименті, таких як швидкість і точність вимірів, постійна часу відіграє важливу роль.

Іншим прикладом може служити типова проблема пробою при включенні й виключенні електричних кіл утримуючих реактивні елементи (катушки індуктивності й конденсатори). У таких колах перехід до нового устанавленого режиму пов'язаний зі збільшенням або

зменшенням електричної та магнітної енергії W в реактивних елементах. Як відомо, потужність P пов'язана з енергією W таким виразом:

$$P = \frac{dW}{dt} = UI,$$

де U – діюче значення напруги; I – діюче значення струму.

При миттєвій зміні енергії ($dt=0$) потужність P нескінченно велика, що може бути тільки при нескінченно великих струмах і напругах у колі. У більшості випадках це і є причиною виходу з ладу електронної апаратури.

7.1 Електричний імпульс, який проходить через RC - коло

Розглянемо електричне коло, зображене на рис. 5.1. Нехай у початковий момент часу ($t=0$) конденсатор не заряджений. Перекинемо ключ K у положення a на годину T , потім знову повернемо його в положення \acute{a} . Така схема еквівалентна генератору прямокутного імпульсу з нульовим внутрішнім опором, напруга на виході якого:

$$U_{вих} = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0, \\ e, & \text{при } 0 \leq t \leq T, \\ 0, & \text{при } t > T. \end{cases}$$

Якщо до такого генератора (рис. 5.1) підключити резистор і конденсатор (RC – коло), а на виході знімати напругу U_C з обкладок конденсатора, RC – коло називається інтегруючим; якщо знімати U_R на резисторі, RC – коло називається диференціальним. Зміст цих назв буде пояснюватися нижче. Зараз відмітимо, що при $0 < t < T$ відбувається зарядження конденсатора, а при $t > T$ – його розрядження.

7.1.1 Заряд конденсатора. При замиканні кола (ключ в положенні a рис. 7.2) конденсатор почне заряджатися. Заряди, що з'являються на пластинках, почнуть зменшувати струм в колі. Цей процес описується рівнянням

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad q = CU, \quad RI = \varepsilon - U, \quad (1)$$

де U - напруга на конденсаторі.

Виключивши I і U із формули (1), отримаємо лінійне диференціальне

рівняння першого порядку:

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = \frac{\varepsilon}{R},$$

де ε - електрорушійна сила джерела.

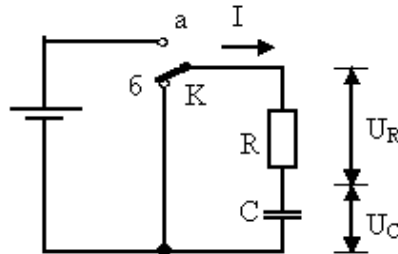


Рисунок 7.1– Еквівалентна схема генератора імпульсної напруги прямокутної форми, навантаженої на RC – коло

Рішенням цього рівняння є вираз:

$$q = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) + C\varepsilon.$$

Виходячи із початкових умов зарядки конденсатора (при $t=0$, $q=0$), можна визначити значення постійної інтегрування:

$$A = -C\varepsilon, \quad q = C\varepsilon \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (2)$$

Тут τ - постійна часу RC –кола (характерний час заряду). Закон зміни напруги на конденсаторі під час зарядки можна отримати із рівняння (2), поділивши обидві частини рівняння на C :

$$U_C = \frac{q}{C} = \varepsilon \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (3)$$

При зарядці конденсатора напруга на пластинках конденсатора збільшується до максимальної величини за експоненціальним законом. На рис. 7.3 показані залежність U_C від часу для трьох постійних часу, τ - постійна часу RC –кола, що визначає швидкість перехідного процесу.

Для знаходження U_R спочатку знайдемо струм через опір R :

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

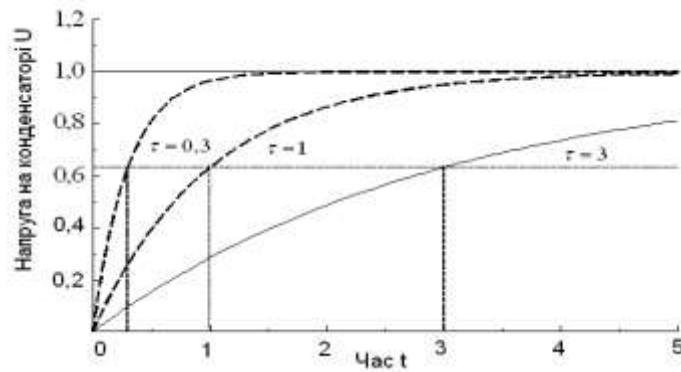


Рисунок 7.2 – Залежність напруги від часу при зарядці конденсатора

Величину U_R знайдемо із закону Ома:

$$U_R = IR = \frac{C\varepsilon}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (4)$$

7.1.2 Розряд конденсатора відбувається, якщо переключити ключ K в положення б (рис. 7.2). Для вивчення розряду конденсатора запишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} q = CU_C \\ I = \frac{U_R}{R} \end{cases}. \quad (5)$$

Із рис. 7.2 видно, що $U_C = -U_R$.

Крім того, $I = \frac{dq}{dt}$.

Отримуємо рівняння

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC}. \quad (6)$$

При вирішенні цього рівняння будемо вважати, що в момент $t = T$ заряд конденсатора визначається рівнянням (2), тобто

$$q(T) = C\varepsilon \left(1 - e^{-\frac{T}{\tau}} \right).$$

Тут $\tau = RC$. Звідси

$$q(t) = C\varepsilon \left[e^{-\frac{(t-T)}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \text{ при } t > T,$$

і напруга на виході

$$U_C = U_R = \varepsilon \left[e^{-\frac{(t-T)}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}} \right]. \quad (7)$$

Таким чином, в розглянутих колах напруги і струми під час перехідного процесу змінюються за експоненціальним законом. Постійна часу τ характеризує швидкість перехідного процесу. За час $t = \tau$ убиваюча за експонентою величина зменшується в e разів (тобто приблизно в 2.7 разів) і досягає 0,37 свого первинного процесу, а наростаюча 0,63 сталого значення. На рис. 7.3 показано як наростаюча величина U_C при $\tau = 1$ досягає значення 0,63 від сталого значення рівного 1. За час $t = 3\tau$ і $t = 5\tau$ вона досягне відповідно, 0,95 і 0,99. Практично перехідний процес можна вважати закінченим за час $t = (3-5)\tau$. Аналогічно убиваюча величина за час $t = 3\tau$ і $t = 5\tau$ досягає, відповідно, 0,05 і 0,01 свого первинного значення. Розглянемо на рис. 7.3 різні граничних ситуації, за якими можна розрізняти RC -кола (аналогічно і RL -кола). Вводячи за визначенням падіння напруги на опорі і ємності,

$$U_R = IR = \frac{dq}{dt} R,$$

$$U_C = \frac{q}{C}.$$

і враховуючи зв'язок між ними

$$U_R = \frac{dq}{dt} \frac{RC}{C} = \tau \frac{dU_C}{dt},$$

$$\tau = RC,$$

$$U_C = \frac{Rq}{RC} = \frac{1}{\tau} \int U_R dt,$$

отримаємо два паралельних випадки:

- якщо $U_R \ll U_C$, то $U_{ex} = U_C$ і, знімаючи сигнал з U_R , маємо

$$U_R = \tau \frac{dU_{ex}}{dt}$$

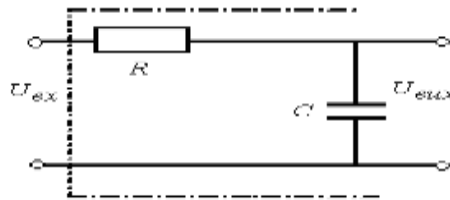
- похідна від вхідного сигналу, тобто диференціальне коло;
- якщо $U_R \gg U_C$ то $U_{вх} = U_R$ і, знімаючи сигнал з U_C , маємо $U_C = \frac{1}{\tau} \int U_{вх} dx$
- інтеграл від вхідної напруги, тобто інтегруюче коло.

7.1.3. Інтегруюче RC-коло. Об'єднуючи формули (3) і (7), отримуємо

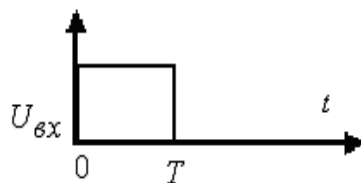
$$U_C = \begin{cases} \varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), & \text{при } 0 < t < T \\ \varepsilon \left(e^{-\frac{(t-T)}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), & \text{при } t > T \end{cases}$$

Графік цієї функції показаний на рис. 7.3. порівнюючи графіки на рис. 7.3 б і рис. 7.3 в, бачимо, що інтегруюче коло згладжує сигнал. Зокрема при $T \ll \tau$ напруга на виході пропорційна інтегралу від напруги на вході. Це відповідає вище написаній умові $U_R \gg U_C$, що виконується при великих R або C , що і пояснює походження назви R - кола даного типу.

а)



б)



в)

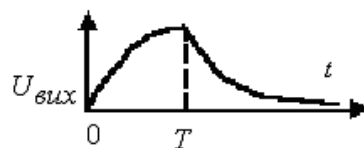
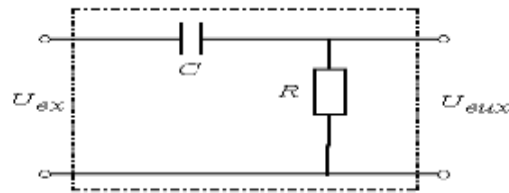


Рисунок 7.3 – Принципова схема:

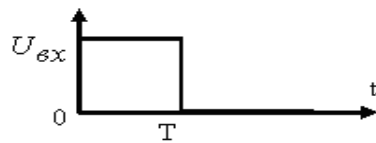
а) інтегруюче RC -коло, б) форма вхідного імпульсу, в) вихідного.

7.1.4 Диференціальне RC–коло. Якщо на виході знімається напруга не на конденсаторі, а на резисторі, то

а)



б)



в)

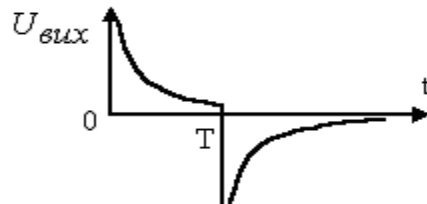


Рисунок 7.4 – Диференціальне коло:
а) принципова схема, б) форма імпульсу на вході,
в) форма імпульсу на виході кола

$$U_R = \begin{cases} \varepsilon \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, & \text{при } 0 < t \leq T \\ \varepsilon \left(e^{-\frac{(t-T)}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), & \text{при } t > T \end{cases} .$$

Зокрема, при $\tau \ll T$ зарядження і розрядження конденсатора відбувається дуже швидко в порівнянні з тривалістю вхідного імпульсу, що відповідає умові $U_R \ll U_C$, і струм через опір відрізняється від нуля протягом нетривалого часу з початку і на кінці імпульсу, а напруга на опорі пропорційна похідній прямокутного імпульсу. Це пояснює походження назви "Диференціальне коло".

7.2 Електричний імпульс, який проходить через RL–коло

Еквівалентна схема генератора імпульсної напруги прямокутної форми, що напружена на RL– коло показана на рис. 7.5.

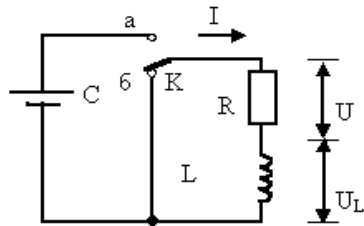
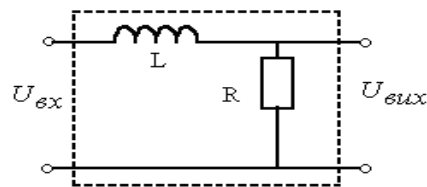


Рисунок 7.5 - Еквівалентна схема генератора імпульсної напруги прямокутної форми, що напружена на RL – коло

Розгляд цього генератора аналогічний теорії, яка викладена в п. 1.1, з різницею, що в інтегруючому RL – колі напруга на виході знімається з опора (рис. 7.6 а), а в диференціальному – з індуктивності (рис. 7.7).

а)



б)

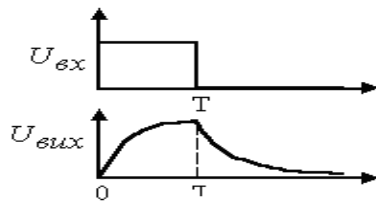


Рисунок 5.6 – Інтегруюче коло

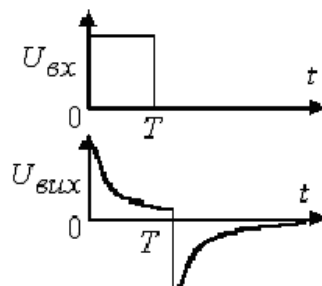
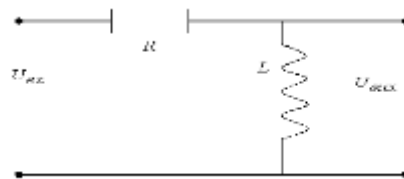


Рисунок 7.7 – Диференціальне коло

Коротко розглянемо процеси, що протікають при включенні напруги при нульовій енергії в індуктивності. Відключення від джерела постійної напруги пропонується розглянути самостійно. При включенні прикладена напруга U дорівнює сумі падінь напруг на опорі і падінь напруг урівноваженої електрорушійної сили самоіндукції в індуктивності L .

$$L \frac{dI}{dt} + IR = U.$$

При вирішенні цього диференціальне рівняння отримаємо:

$$I = \frac{U}{R} + Ae^{-\frac{L}{R}t}.$$

В початковий момент часу, коли $t = 0$, струм дорівнює нулю. Звідси

$$I(0) = \frac{U}{R} + A = 0, \quad A = -\frac{U}{R}.$$

Тоді струм, що протікає в колі:

$$I = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{L}{R}t} \right).$$

Підставимо в формулу $U_L = L \frac{dI}{dt}$ значення струму, визначимо напругу на індуктивності:

$$U_L = U e^{-\frac{t}{\tau}},$$

де величина постійної часу τ тепер визначається співвідношенням $\tau = \frac{L}{R}$.

Устаткування та апаратура

Вольтметр постійного струму на межу виміру : 0-15 В осцилограф електронний двопробеневий, генератор імпульсів Г5-15, з'єднувальні дроти, джерело постійного струму напругою 10В, набір (магазин) резисторів і конденсаторів.

Порядок виконання роботи

Зняття залежності величини напруги на конденсаторі при заряді й розряді:

1. зібрати схему наведену на рис. 7.8, використати номінали елементів за вказівкою викладача;
2. установити вихідну напругу блоку живлення 10 В;
3. приєднати вхід вольтметра до гнізд « U_C » лабораторної установки;
4. поставити ключ у положення «Заряд», нажати й утримувати кнопку «Скидання»;
5. виміряти вольтметром напругу на конденсаторі, відпустити кнопку «Скидання» і далі робити відлік значення напруги на конденсаторі через кожні десять секунд, поки воно не прийде до сталого значення, отримані дані занести в табл. 7.1;
6. повторити пункт д) три-п'ять разів, після чого зробити усереднення отриманих результатів для кожного моменту часу реєстрації напруги й занести до табл. 7.1;

Таблиця 7.1 – Напруга на конденсаторі при заряді й розряді ємності

	U_C при $t = 0\text{с}$	U_C при $t = 10\text{с}$	U_C при $t = 20\text{с}$...	U_C при $t = n10\text{с}$
Перший цикл					
Другий цикл					
...					
Усереднення по циклах					
Розрахункове значення струму для кожного t					

7. розрахувати значення струму заряду конденсатору за вимірними величинами напруги та відомої величини резистора, результат занести до табл. 7.1;

8. поставити ключ у положення «Розряд» і повторити пункти д) і е), результати занести в табл. 7.1 (не натискаючи кнопку «Скидання»);

9. побудувати графіки отриманих залежностей $U_{\text{зар}} = f(t)$ при заряді й $U_{\text{раз}} = f(t)$ розряді конденсатора, зрівняти з розрахунковими для даної постійної часу.

Зняття залежності струму через конденсатор при заряді й розряді. Для отримання значення струму через конденсатор використовуємо закон Ома. Будемо виміряти напругу на резисторі, а знаючи його величину

розрахуємо струм через нього за формулою:

$$I_C = U_R / R.$$

1. зібрати схему наведену на рис. 7.8, лише змінити місцями резистор і конденсатор, використати номінали елементів за вказівкою викладача;
2. установити вихідну напругу блоку живлення 10 В;
3. приєднати вхід вольтметра до гнізд « U_R » лабораторної установки;
4. поставити ключ у положення «Заряд», нажати й утримувати кнопку «Скидання»;
5. виміряти вольтметром напругу на резисторі, відпустити кнопку «Скидання» і далі робити відлік значення напруги на резисторі через кожні десять секунд, поки воно не прийде до сталого значення, отримані дані занести в табл. 7.1;
6. повторити пункт д) три – п'ять разів, після чого зробити усереднення отриманих результатів для кожного моменту часу реєстрації напруги, результат занести в передостанній рядок табл. 7.1;
7. поставити ключ у положення «Розряд» і не натискаючи кнопку «Скидання», повторити пункти д) і е), результати занести в табл. 7.1;
8. перерахувати значення отриманої напруги в струм для відомого R , використовуючи закон Ома;
9. побудувати графіки отриманих залежностей $I_{зар}=f(t)$ і $I_{раз}=f(t)$, зрівняти з розрахунковими для даної постійної часу.

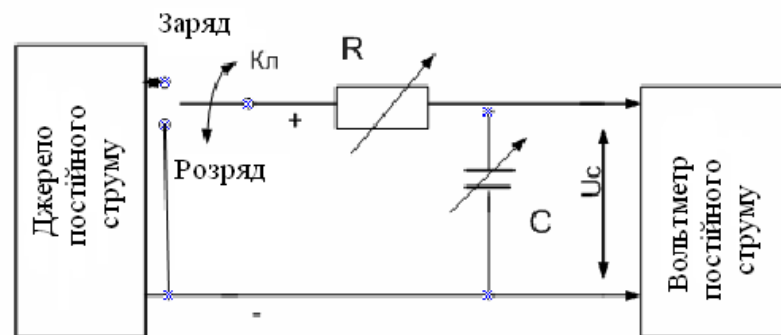


Рисунок 7.8 – Схема для вивчення заряду та розряду конденсатора

Дослідження інтегруючого та перехідного кола:

Електрична схема для дослідження інтегруючого RC-кола представлена на рис. 7.9

1. Задати період повторення сигналу генератора й тривалість

імпульсів такий щоб вийшла послідовність типу «меандр», тобто й амплітуду імпульсів 3В. Вимірявши амплітуду й тимчасові параметри послідовності імпульсів на екрані осцилографа в сантиметрах, перевести їх у звичайні одиниці виміру цих величин (вольти, мікросекунди), скориставшись перехідними коефіцієнтами, зазначеними на перемикачах осцилографа.

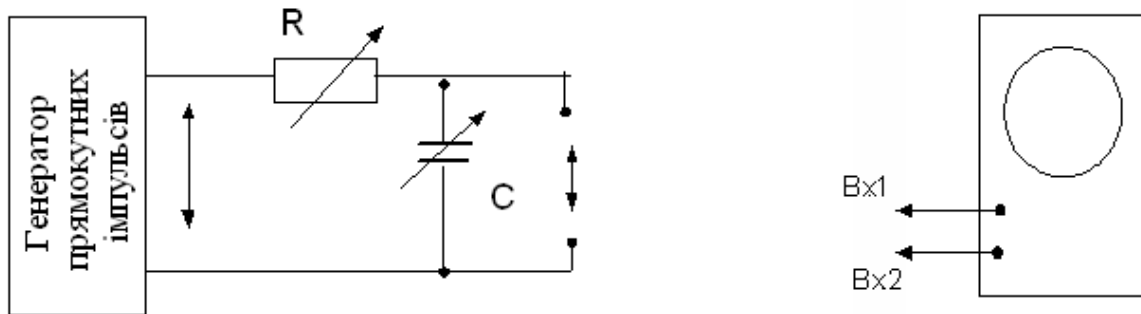


Рисунок 7.9 – Електрична схема для дослідження інтегруючого та перехідного кола

2. Розрахувати величини ємності C при якому постійна часу τ буде дорівнювати тривалості заданого сигналу $\tau \approx T$ при заданому опорі $R=100$ Ом. Зібрати схему інтегруючого кола. Замалювати її в зошит. Встановити отриману ємність та опір 100 Ом на магазині ємностей та опорів відповідно.

3. Отримати на осцилографу криві напруги для інтегруючого та перехідного кола, скопіювати їх на міліметровку для випадків:

- з постійними часу τ , значно більшими за тривалість імпульсів, що подаються $\tau \gg \tau_{\text{имп}}$;

- з постійними часу τ , значно меншими за тривалість імпульсів, що подаються $\tau \ll \tau_{\text{имп}}$;

- з постійними часу τ , що дорівнює тривалості імпульсу $\tau = \tau_{\text{имп}}$,

4. Провести дослідження диференціюючого RC - кола повторивши відповідно до завдань пп. 7.5 для чого поміняти місцями магазини опорів і місткостей.

Зміст звіту

1. Найменування звіту про лабораторну роботу.
2. Технічні дані електровимірювальних приладів й устаткування, необхідних для виконання даної лабораторної роботи.
3. Електричні схеми вимірів.

4. Таблиці з обмірюваними й обчисленими величинами.
5. Графіки зміни напруги на конденсаторі й струму в колах при заряді й розряді ємності (4 кривих).
6. Епюри напруги на виході інтегруючого та диференціюючого кола при різних величинах ємності конденсаторів та опору резисторів.
7. Висновки.

Відповісти усно на наступні питання

1. Що називається перехідним процесом в електричному колах?
2. Накреслите схеми основних типів RL – і RC кіл.
3. Чому дорівнює постійна часу для RL – і RC – кіл? Яка її розмірність та чому?
4. Як залежить амплітуда вихідного сигналу від величини вхідних в RC - і RL - кола елементів?
5. Відомо, що однакові умови інтеграції та диференціювання можливо забезпечити при різних величинах R , L та C . З яких міркувань слід вибирати конкретні величини R , L та C ?
6. Як вимірюється напруга на виході диференціюючих та інтегруючих RC – і RL – кіл?
7. Поясніть сенс назв "диференціює" та "інтегрує" коло?

Лабораторна робота № 8

"Дослідження роботи випрямлячів змінного струму"

Мета роботи. Розглянути принцип дії різних схем випрямлячів змінного струму.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- схеми і принцип дії одно- і двохнапівперіодних випрямлячів;
- основні характеристики випрямлячів;
- методи зменшення пульсацій випрямленого струму;

вміти:

- збирати різні схеми випрямлячів;
- вимірювати основні параметри випрямлячів за допомогою електровимірювальних приладів і електронного осцилографа;
- підключати різні фільтри нижніх частот для зменшення пульсацій випрямленого струму.

Пояснення. Для живлення різних електро-радіотехнічних пристроїв потрібен постійний струм різної напруги. Промислова мережа поставляє споживачам змінний струм напругою 220/380 В, частотою 50 Гц. Використання змінного струму обумовлене тим, що за допомогою трансформатора легко змінити його напругу до сотень тисяч вольт для передачі на великі відстані, після чого понизити напругу до необхідної величини з мінімальними втратами.

Таким чином, типовий блок живлення повинен мати на вході трансформатор, що знижує або підвищує мережу напругу до необхідної величини. Далі знаходиться випрямляч, який перетворить змінний синусоїдальний струм у пульсуючий постійного напрямку.

Звичайно, апаратура, що живеться, вимагає максимального згладжування пульсацій. Це досягається включенням після випрямляча фільтра (нижніх частот), що зменшує пульсації випрямленої напруги до припустимої величини.

Схеми випрямлення. За допомогою випрямлячів змінний струм можливо перетворити у постійний струм, ця процедура називається випрямленням. Відомо кілька різних схем випрямлячів змінного струму. В роботі передбачене вивчення двох основних схем випрямлення: однонапівперіодної схеми і двохнапівперіодної схеми випрямлення.

Однонапівперіодна схема випрямлення. При наявності однофазного струму і тільки одного випрямного діода (вентиля) можна скласти найпростішу схему випрямлення (рис. 8.1 а).

Випрямлений струм, як видно з рис. 8.1 б, фактично не є постійним

струмом; його величина увесь час змінюється (пульсує) з частотою первинної напруги. Ця схема випрямлення струму застосовується досить рідко, тому що через випрямляч \hat{A} пропускається тільки одна напівхвиля струму, а інша заціпається. В результаті коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) такого випрямлювача дуже низький.

Така дія випрямляча пояснюється залежністю опору напівпровідникового діода від полярності прикладеної напруги i , отже, напрямку струму, що протікає через нього. Як впливає з вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода, струм вільно проходить через нього, коли до області з δ -провідністю підведений позитивний потенціал. Зі зміною потенціалу на негативний при тому ж значенні напруги сила струму стає значно меншою, тому що опір його в цьому напрямку в багато разів збільшується.

Двохнапівперіодна мостова схема випрямлення. Для випрямлення струму за двохнапівперіодною схемою випрямлення однофазного змінного струму (рис. 8.1 в) потрібно чотири випрямних діоди (вентиля). В цьому випадку випрямляється кожна напівхвиля змінного струму і випрямлений струм більше наближається до постійного струму. За двохнапівперіодною схемою випрямлення випрямлений струм (кожна напівхвиля) послідовно проходить через два діоди, внаслідок чого втрати в випрямлячі трохи зростають. Ця схема випрямлення знайшла дуже широке застосування в електронній техніці.

Для згладжування випрямленого струму і зменшення пульсацій застосовують фільтри нижніх частот, які включаються послідовно з навантаженням, що споживає випрямлений струм. Як фільтр використовуються дроселі і конденсатори. Дроселі, що включаються послідовно з навантаженням, мають підвищений опір для змінної складової і безперешкодно пропускають постійний струм. Конденсатори, що включаються паралельно навантаженню, мають малий опір для змінної складової і шунтують вихід випрямляча. Дроселі і конденсатори можуть включатися за Т- та Г-подібною схемою.

Випрямляч. В якості випрямлячів застосовуються напівпровідникові діоди (германієві або кремнієві). Основною характеристикою напівпровідникових випрямлячів є вольт-амперна характеристика.

Напівпровідникові діоди добре працюють при температурі не вище 130°C , тому для поліпшення охолодження силових випрямлячів їх установлюють на радіатори і застосовують вентилятори для охолодження.

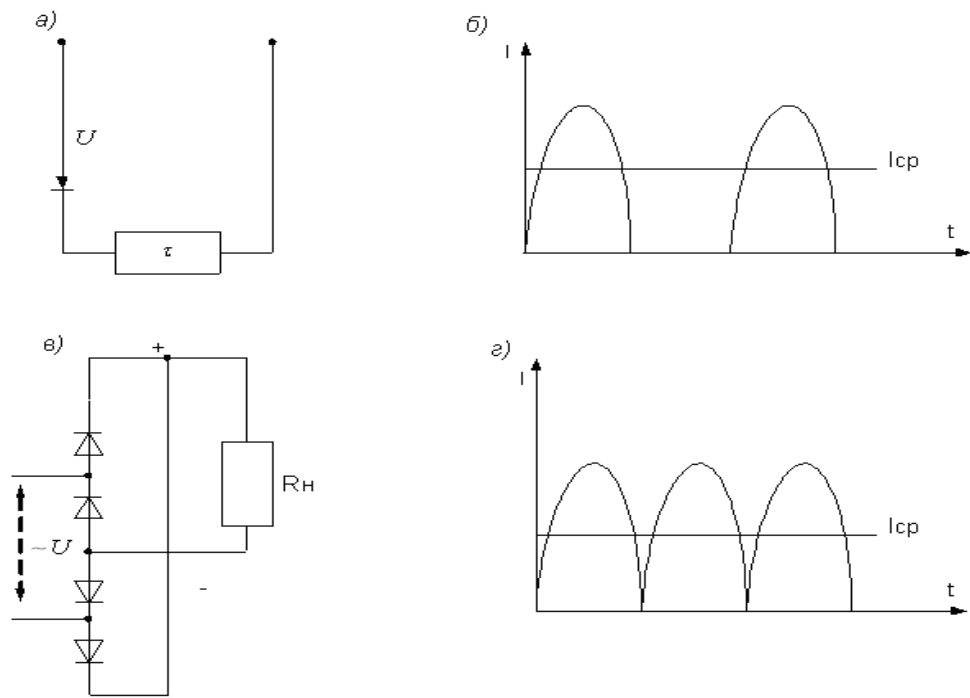


Рисунок 8.1 – Схеми випрямлення і форми випрямленого струму:
а - однонапівперіодна схема випрямлення змінного струму; *б* - форма випрямленого струму при схемі *а*; *в* - двохнапівперіодна однофазна схема випрямлення змінного струму; *г* - форма випрямленого струму при схемі *в*

Устаткування та апаратура

Двопроменевий осцилограф, вольтметр постійного струму, проводи з'єднуючі, джерело змінного струму напругою, навантажувальний резистор.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з устаткуванням і апаратурою, необхідними для роботи.
2. Зібрати схему з одним діодом і включити прилади (рис. 8.2).

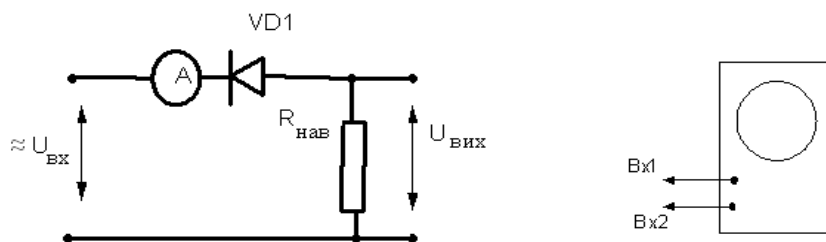


Рисунок 8.1 – Схеми для випробування однонапівперіодного випрямляча

3. Подати живлення змінної напруги $U_{вх} = 5-10 \text{ В}$, за допомогою осцилографа виміряти:

- амплітуду вхідної напруги - $U_{вх}$;
- амплітуду імпульсів вихідного пульсуючого навантаження без фільтра - $U_{вих}$;
- амплітуду імпульсів вихідного пульсуючого навантаження з фільтром - $U_{вих \text{ ф}}$;
- період їх дотримання – T ;
- зняти осцилограму вихідної напруги;

За допомогою вольтметра постійного струму виміряти:

- вихідна середня напруга без фільтра - $U_{вих}$;
- вихідна середня напруга з фільтром - $U_{вих \text{ ф}}$.

Отримані дані записати в табл. 8.1 (перший рядок).

Таблиця 8.1– Таблиця результатів експериментів

Вид випрямляча	Амплітуда вхідної змінної напруги $U_{вх}$, В	Амплітуда вихідної пульсуючої напруги без фільтра, $U_{вих}$, В	Амплітуда вихідної пульсуючої напруги з фільтром, $U_{вих \text{ ф}}$, В	Величина середньої (діючої) напруги без фільтра, $U_{вих \text{ ср}}$, В	Величина середньої (діючої) напруги без фільтра $U_{вих \text{ ф ср}}$, В
Однонапів-періодний					
Двохнапів-періодний					

4. Зібрати схему двохнапівперіодного випрямляча (рис. 8.3).

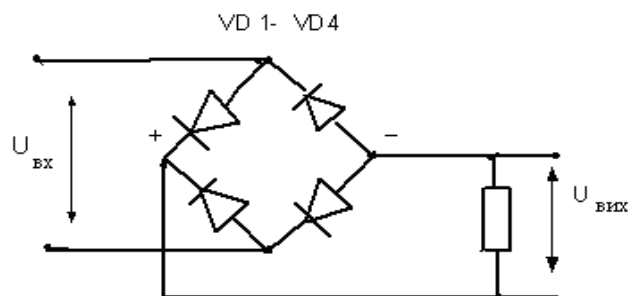


Рисунок 8.3 – Схема двохнапівперіодного випрямляча

5. Повторити вимірювання відповідно до пп.. 3, отримані дані записати в табл. 8.1.

6. На підставі даних табл.8.1 вчислити коефіцієнти пульсацій для випадку однонапівперіодного випрямлення без фільтру - K і з фільтром K_{ϕ} - і аналогічно для випадку двонапівперіодного випрямляча - K і з фільтром K_{ϕ} за формулою:

$$K = U_{\text{вих ср}} / U_{\text{вих ср ф}}$$

порівняти отримані величини.

7. Скласти звіт.

Зміст звіту

1. Назва звіту лабораторної роботи.
2. Технічні дані діодів, електровимірювальних приладів і устаткування, використаних у роботі.
3. Схема однонапівперіодного випрямляча (рис. 8.2).
4. Схема двонапівперіодного випрямляча (рис. 8.3).
5. Табл. 8.1 і 8.2 з результатами досліджень.
6. Отримані розрахункові значення коефіцієнтів пульсацій.
7. Висновки по роботі.

Відповісти усно на наступні питання

1. Що таке напівпровідниковий випрямляч і чому він випрямляє змінний струм?
2. Які існують типи випрямлячів?
3. Поясніть роботу дроселя як фільтра.
4. Як визначити несправність напівпровідникового діода?
5. Що таке пульсації випрямленої напруги?
6. Що таке коефіцієнт пульсації?
7. Як зменшити пульсації випрямленої напруги?

Лабораторна робота №9

"Дослідження характеристик каскаду підсилювача на транзисторі"

Мета роботи: вивчити роботу транзисторного підсилювача та фактори, що впливають на величину коефіцієнта посилення каскаду.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. В результаті вивчення теоретичного матеріалу студент повинен

знати:

- схему, призначення кожного елемента, принцип роботи та основні характеристики каскаду підсилювача змінного струму на транзисторі;

- принцип термостабілізації робочої точки в транзистор у підсилювачі;

вміти:

- збирати схему каскаду підсилювача змінного струму на транзисторі;

- знімати амплітудно-частотну характеристику каскаду підсилювача з використанням електронного осцилографа або вольтметра змінного струму;

- визначати основні характеристики каскаду підсилювача змінного струму.

Пояснення. Серед усіх можливих схем транзисторних підсилювачів найбільше поширення отримала схема резистивного підсилювача з транзистором, включеним із загальним емітером (рис. 9.1).

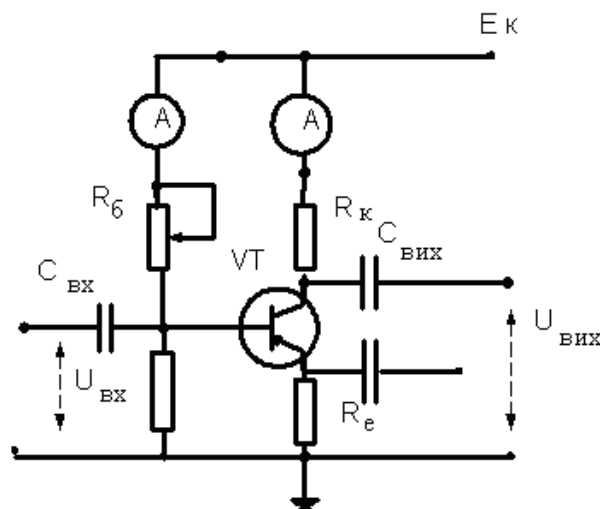


Рисунок 9.1 – Схема каскаду транзисторного підсилювача

Вхідний сигнал подається через розділовий конденсатор $C_{вх}$ на базу транзистора. Розділовий конденсатор служить для того, щоб виключити вплив джерела за постійним струмом на розташування робочої точки на навантажувальній прямій. Розташування робочої точки визначається тільки величиною базового струму, встановленого за допомогою потенціометра R_6 . Вихідний сигнал знімається з резистора R_K в ланцюзі колектора через конденсатор $C_{вих}$, який також є розділовим. Вихідний сигнал, знятий з колектора, буде мати фазу, яка відрізняється від вхідного сигналу на 180° . Живлення каскаду подається на колектор через резистор R_K .

У випадку, якщо вихідний сигнал знімається з резистора в ланцюзі емітера, його фаза буде збігатися з фазою вхідного сигналу, але коефіцієнт підсилення каскаду в цьому випадку буде менше одиниці.

Устаткування та апаратура

Регульоване джерело постійного струму (0-15 В), вольтметр постійного струму зі шкалою до 15 В, міліамперметр постійного струму зі шкалою до 20 мА, генератор звукової частоти, елементи для збирання схеми каскаду підсилювача, двопроменевий осцилограф, з'єднуючі проводи.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему каскаду підсилювача на транзисторі, використовуючи стандартні елементи і складальне поле.
2. Подати живлення від джерела постійного струму величиною $U_k = 9$ В, зняти карту напруг на елементах відносно до "землі" і виміряти колекторний струм «спокою» транзистора, результат занести в табл. 9.1 (верхній рядок).
3. За допомогою змінного резистора R_6 змінити струм колектора в більшу та меншу сторону, заповнити другий та третій рядок табл. 9.1.
4. Побудувати динамічну характеристику транзистора та нанести на ній розташування робочої точки.
5. Подати сигнал з генератора звукової частоти на вхід підсилювача і на вхід першого каналу осцилографа.
6. Подати сигнал з виходу підсилювача на другий вхід осцилографа, досягти стійкого зображення на екрані, установити коефіцієнти підсилення каналів однаковими, щоб бачити процес посилення вхідного сигналу, зарисувати епюри і розрахувати коефіцієнт підсилення каскаду.

Таблиця 9.1 – Таблиця результатів експериментів

Точка вимірювання	$U_{\text{б}}, \text{В}$	$U_{\text{к}}, \text{В}$	$U_{\text{е}}, \text{В}$	$I_{\text{к}}, \text{мА}$	$E_{\text{к}}, \text{В}$
При номінальному значенні $I_{\text{к}}$					
При підвищеному значенні $I_{\text{к}}$					
При зниженому значенні $I_{\text{к}}$					

7. Зменшити струм бази транзистора, для чого збільшити опір резистора $R_{\text{б}}$ і зняти осцилограму напруги на виході підсилювача, зробити висновок; установити вихідні значення.

8. Збільшити струм бази транзистора, для чого зменшити опір резистора $R_{\text{б}}$ і зняти осцилограму напруги на виході підсилювача, зробити висновок; установити вихідні значення.

9. Зменшити струм колектора транзистора, для чого збільшити опір резистора $R_{\text{к}}$, зняти карту напруг і осцилограму напруги на виході підсилювача, зробити висновок; установити вихідні значення.

10. Збільшити струм колектора транзистора, для чого зменшити опір резистора $R_{\text{к}}$, зняти карту напруг і осцилограму напруги на виході підсилювача, зробити висновок; установити вихідні значення.

11. Збільшити живлячу напругу до $U_{\text{к}} = 15 \text{ В}$, зняти епюри напруги, зробити висновок.

12. Зменшити живлячу напругу до $U_{\text{к}} = 5 \text{ В}$, зняти епюри напруги, зробити висновок.

13. Підключити другий канал осцилографа до емітера транзистора, зняти епюри напруги, зробити висновок.

14. Зняти частотну характеристику каскаду підсилювача

$K_{\text{ус}} = S(f)$, де $K_{\text{ус}}$ – коефіцієнт підсилення каскаду, f – частота вхідного сигналу, Гц. Для чого подавати від генератора звуковий частотний сигнал постійної амплітуди $0,5 - 2 \text{ В}$ частоти, що змінюється, починаючи від 50 Гц і до 5050 Гц кроком 250 Гц , результат занести в табл. 9.2 (третій рядок).

15. Величину безрозмірного коефіцієнта посилення на будь якій частоті знаходять за формулою (четвертий рядок табл. 9.2):

$$K_{\text{ус}} = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}}$$

16. За даними табл. 9.2 побудувати графік частотної характеристики каскаду підсилювача. Величину відносного коефіцієнта посилення

визначають таким чином: $K_{ус\ отн}$,

- в рядку $K_{ус}$ табл. 9.2 знаходять максимальне значення $K_{ус\ макс}$;
- ділять це значення на всі інші значення $K_{ус}$;

$$K_{ус\ отн} = K_{ус} / K_{ус\ макс}$$

- отримані значення в діапазоні (0-1) заносяться в п'ятий рядок табл. 9.2

Таблиця 9.2 – Таблиця результатів експериментів

F , Гц	50	300	550	4550	4800	5050
$U_{вх}$, В								
$U_{вих}$, В								
$K_{ус}$								
$K_{ус\ отн}$								

17. Скласти звіт виконаної роботи.

Зміст звіту

1. Назва лабораторної роботи.
2. Технічні дані транзистора, електровимірювальних приладів і устаткування, використаних у роботі.
3. Схема каскаду підсилювача на транзисторі.
4. Епюри вхідних і вихідних напруг підсилювача.
5. Таблиці 9.1 і 9.2 з результатами випробувань.
6. Графік частотної характеристики підсилювача.
7. Висновки по роботі.

Відповісти усно на наступні питання

1. Чим обумовлені підсилювальні властивості транзистора?
2. Як можна змінити коефіцієнт підсилення каскаду?
3. Як впливає живляча напруга на роботу каскаду?
4. Що показує частотна характеристика підсилювача?
5. Чим пояснюється зменшення коефіцієнта підсилення каскаду на нижніх частотах?
6. Чим пояснюється зменшення коефіцієнта підсилення каскаду на верхніх частотах?
7. Пояснити чому напруга на колекторі змінює фазу відносно до напруги на базі на 180° ?
8. Пояснити чому напруга на емітері не змінює фазу відносно до напруги на базі на 180° ?

Перелік посилань

1. Лавріненко Ю.В. Теорія електрорадіоланцюгів: Конспект лекцій. – Одеса: Екологія, 2008. – 69 с.
2. Прокофьев В.Н. Электрические цепи. Учебное пособие. Л., изд. ЛГМИ, 1991. – 101 с.
3. Лавріненко Ю.В. Електротехніка та електроніка. Частина 1 Електротехніка: Конспект лекцій. – Одеса: Екологія, 2016.– 49 с.
4. Лавріненко Ю.В. Електротехніка та електроніка. Частина 11 Електроніка: Конспект лекцій. – Одеса: Екологія, 2017.– 63 с.