

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

**Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт**

СУМИ - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Електроніка та мікросхемотехніка

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів 1 с.т. та 2 курсу
освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної, заочної та дуальної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «Бакалавр»

УДК 378
Е 50

Укладачі: **Кравченко В.О.**, к.ф.-м.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем,
Шелехов І.В., к.т.н., доцент кафедри кібернетики та інформатики

Е 50 Електроніка та мікросхемотехніка. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт / укл.: Кравченко В.О., Шелехов І.В. - Суми, 2025. – 64 с.

У вказівках наведено лабораторні роботи, що виконуються при вивченні курсу "Електроніка та мікросхемотехніка". Лабораторні роботи допоможуть студентам краще засвоїти теоретичний матеріал курсу, принцип дії, параметри і характеристики напівпровідникових приладів; будову та роботу електронних пристроїв: підсилювачів електричних сигналів, генераторів коливальних, випрямлячів та стабілізаторів напруги.

Рецензенти:

Барсукова Г.В., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Хурсенко С.М., к.ф.-м.н., зав. кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету
Протокол №5 від «25» березня 2025 року

ЗМІСТ

Лабораторна робота 1. Вивчення роботи р-п-переходу.....	6
Лабораторна робота 2. Вивчення принципу роботи та параметрів напівпровідникового стабілітрону.....	9
Лабораторна робота 3. Вивчення роботи тиристора.....	13
Лабораторна робота 4. Вивчення характеристик біполярного транзистора.....	17
Лабораторна робота 5. Вивчення роботи польового транзистора.....	20
Лабораторна робота 6. Визначення характеристик і параметрів транзисторного оптрона.....	24
Лабораторна робота 7. Дослідження режимів роботи однокаскадного підсилювача.....	29
Лабораторна робота 8. Вивчення роботи однокаскадного підсилювача на польовому транзисторі.....	34
Лабораторна робота 9. Дослідження режимів роботи однокаскадного підсилювача за схемою СК.....	37
Лабораторна робота 10. Дослідження режимів роботи двокаскадного підсилювача.....	41
Лабораторна робота 11. Дослідження RC-генератора гармонійних коливань.....	43
Лабораторна робота 12. Дослідження автоколивальних та ждучих мультивібраторів на біполярних транзисторах.....	47
Лабораторна робота 13. Дослідження логічних елементів.....	51
Лабораторна робота 14. Дослідження найпростіших випрямлячів змінного струму.....	54
Список літератури.....	61

Лабораторна робота №1

Вивчення роботи р-п-переходу

Мета роботи

Дослідити напругу та струм різних типів діодів при прямому і зворотному зміщенні р-п переходу. Побудувати та дослідити вольт-амперні характеристики (ВАХ) діода. Дослідити опір діода при прямому та зворотному включенні за вольт-амперною характеристикою.

1.1. Теоретичні відомості

Напівпровідниковий діод – це напівпровідниковий прилад, як правило, з одним електричним переходом і двома виводами. Розглянемо діод з електронно-дірковим (р-п) переходом, що розділяє р- і п- області кристала напівпровідника.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) діода описується виразом

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U_D}{\phi_T}} - 1 \right),$$

де U_D – напруга на р-п-переході;

$\phi_T = kT/q$ – тепловий потенціал, що дорівнює контактній різниці потенціалів ϕ_K на межі р-п переходу у разі відсутності зовнішньої напруги (при $T=300$ К, $\phi_T=0.025$ В);

k – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура;

q – заряд електрона;

I_0 – зворотний струм р-п переходу, утворений за рахунок неосновних носіїв.

При негативній напрузі порядку 0,1–0,2 В у формулі експонентною складовою можна знехтувати ($e^{-4} \approx 0,02$); при позитивній напрузі, що перевищує 0,1 В, можна знехтувати одиницею ($e^4 \approx 54,6$) тому ВАХ, описувана цими співвідношеннями, матиме вигляд, наведений на рисунку 1.1, а.

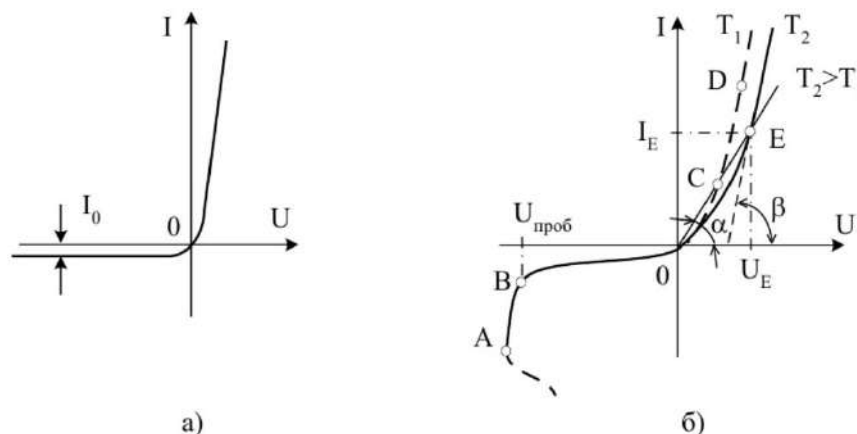


Рисунок 1.1 – Вольт-амперна характеристика ідеального (а) і реального (б) діода

Вольт-амперна характеристика реального діода має вигляд, який наведено на рисунку 1.1, б (суцільна лінія). З неї випливає, що при певному значенні зворотної напруги $U_{звор} = U_{проб}$ починається лавиноподібний процес наростання

струму $I_{звор}$, що відповідає електричному пробію р-п переходу (відрізок АВ на рисунку 1.1, б). Якщо в цей момент струм не обмежити, то електричний пробій переходить у тепловий (ділянка ВАХ після точки А). Тепловий пробій необоротний, оскільки руйнує р-п-перехід.

Напівпровідниковий діод характеризується статичним і диференціальним (динамічним) опорами, що легко визначаються за ВАХ.

Диференціальний опір r_d чисельно дорівнює відношенню нескінченно малого збільшення напруги до відповідного збільшення струму в заданому режимі роботи діода і може визначатися графічно як котангенс кута між дотичною у розглянутій робочій точці ВАХ діода і віссю абсцис (штрихова лінія на рисунку 1.1, б з кутом нахилу β):

$$r_d = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \beta,$$

де ΔU і ΔI – скінченні прирости напруги і струму поблизу робочої точки Е; m_U і m_I – масштаби осей напруги і струму.

Статичний опір R_{cm} чисельно дорівнює відношенню напруги на діоді U_E до струму I_E , що протікає через нього, (рисунк 1.1, б). Цей опір дорівнює котангенсові кута нахилу прямої, проведеної з початку координат через задану робочу точку ВАХ, до осі абсцис:

$$R_{cm} = \frac{U_E}{I_E} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{ctg} \alpha.$$

Залежно від того, на якій ділянці ВАХ розташована задана робоча точка, значення R_{cm} може бути меншим або більшим за значення r_d .

1.2 Порядок виконання роботи

1. Згідно із варіантом оберіть тип діода із таблиці 1.3. Знайдіть і випишіть для цього діода основні технічні характеристики.

2. Для дослідження прямої гілки ВАХ діода складіть схему згідно з рисунком 1.2. Увімкніть схему. Встановіть значення напруги E_1 10 В. З допомогою змінного резистора збільшуйте напругу і запишіть значення напруги U_{np} та струму I_{np} діода в таблицю 1.1.

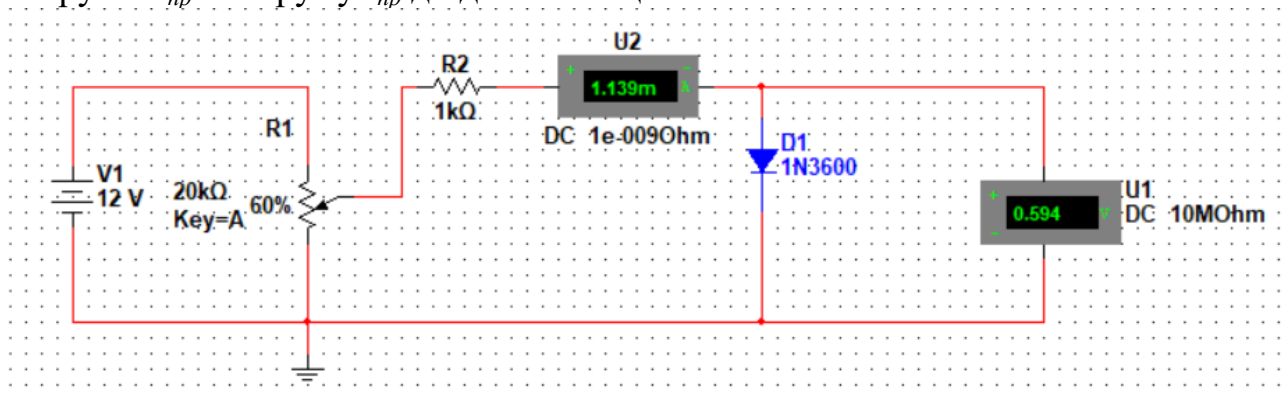


Рисунок 1.2 – Схема для дослідження прямої гілки ВАХ діода

Таблиця 1.1.

I_{np} , мА															
U_{np} , В															

3. Для дослідження зворотної гілки ВАХ діода складіть схему згідно з рисунком 1.3. Увімкніть схему. Встановіть значення напруги E_1 так, щоб воно не перевищувало максимально допустимого значення для заданого діода. З допомогою змінного резистора послідовно встановіть різні значення напруги і запишіть значення U_{36} і I_{36} діода у таблицю 1.2.

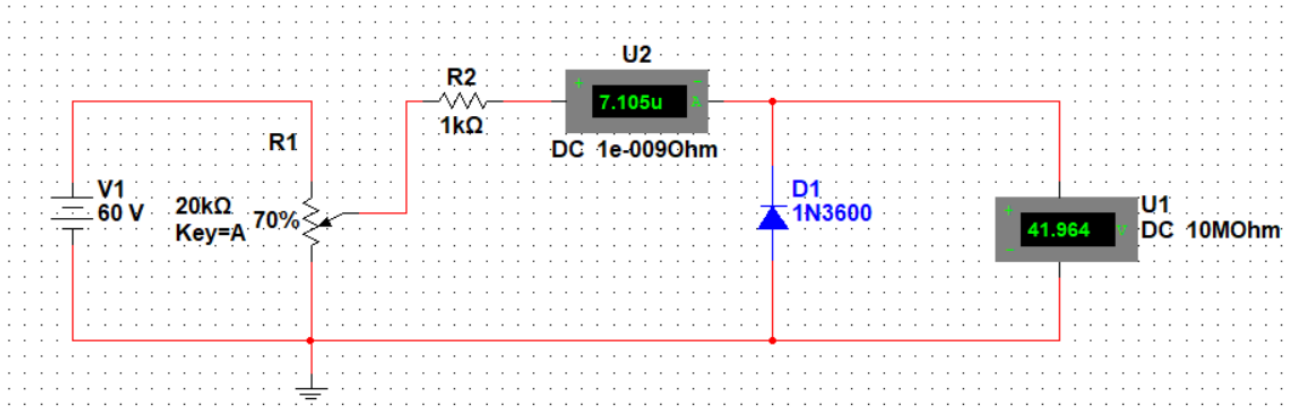


Рисунок 1.3 – Схема для дослідження зворотної гілки ВАХ діода

Таблиця 1.2.

I_{36} , мкА															
U_{36} , В															

4. За даними таблиць 1.1 та 1.2 побудуйте на одному графіку вольт-амперні характеристики для прямого і зворотного включення діода $I_{np}=f(U_{np})$ та $I_{36}=f(U_{36})$.

5. Оберіть на графіках по 3 точки для прямої та зворотної гілок ВАХ і знайдіть для цих точок динамічний і статичний опір діода.

Таблиця 1.3.

Варіант	Модель діода	Варіант	Модель діода
1	1N3064	6	1N3494
2	1N3208	7	1N3495
3	1N3491	8	1N3595
4	1N3492	9	1N3600
5	1N3493	10	1N1200C

Контрольні запитання

- 1 Чим відрізняються ВАХ р-п переходу від ВАХ реального діода?
- 2 Опишіть процеси в р-п-переході за відсутності зовнішньої напруги, при його прямому і зворотному включенні.
- 3 Які види пробою р-п переходу існують і в чому їхня відмінність?
- 5 Назвіть основні параметри напівпровідникових діодів.
- 6 Чим характеризуються випрямляючі властивості діода?

Лабораторна робота 2.

Вивчення принципу роботи та параметрів напівпровідникового стабілітрону

Мета роботи: визначення вольт-амперної характеристики (ВАХ) стабілітрону та вивчення його роботи як стабілізатора напруги.

Обладнання: кремнієвий стабілітрон, випробувальний стенд-схема.

Теоретичні відомості

Напівпровідникові стабілітрони є одним із видів напівпровідникових діодів. Напівпровідниковий діод – це прилад з єдиним випрямляючим електричним переходом і двома виводами, в якому використовується та чи інша властивість випрямляючого переходу. В якості такого переходу використовується електронно-дірковий перехід, гетероперехід або випрямляючий перехід, який створено в результаті контакту між металом і напівпровідником (перехід Шоткі). Найбільше застосування напівпровідникові діоди знаходять для випрямлення струму, підсилення і генерації електричних сигналів, стабілізації напруги, тощо.

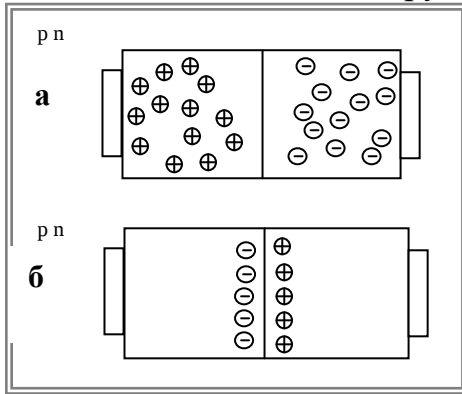


Рисунок 2.1 - Будова та принцип роботи електронно-діркового переходу

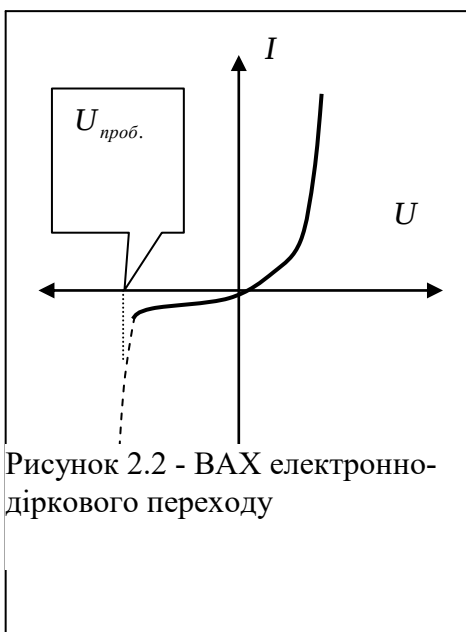


Рисунок 2.2 - ВАХ електронно-діркового переходу

Розглянемо коротко фізичні процеси, які відбуваються в електронно-дірковому переході (р-п-переході). Приведемо до контакту два напівпровідники з різними типами провідності (рис.2.1а). Електрони з п- області дифундують в р- область (і там рекомбінують з дірками), а дірки з р- області в п- область (і рекомбінують з електронами). Це веде до збіднення електронами п- напівпровідника поблизу межі і до утворення надмірного позитивного заряду в п-напівпровіднику. Аналогічна ситуація з дірками веде до утворення в р- області поблизу межі розподілу надміру негативного заряду (мал.2.1, б). Таким чином, виникає подвійний електричний шар, створюється контактна різниця потенціалів, яка перешкоджає подальшому переходу електронів в р- область і дірок в п- область. Тому подвійний шар на межі напівпровідників з різним механізмом провідності виявляється збідненим на рухливі носії струму і має підвищений опір. Це так званий р-п –перехід.

Опір р-п –переходу залежить від значення і напрямку напруженості зовнішнього електричного поля, прикладеного до цього переходу. Якщо п- область діода під'єднана до негативного полюса джерела напруги, а р- область – до позитивного, то під дією поля електрони в п- області і дірки в р- області переміщуються назустріч до межі р-

p- переходу. Внаслідок цього концентрація носіїв струму в області p-n- переходу збільшується, що веде до зменшення опору p-n- переходу. Цей напрям зовнішнього електричного поля називають пропускну (прямим).

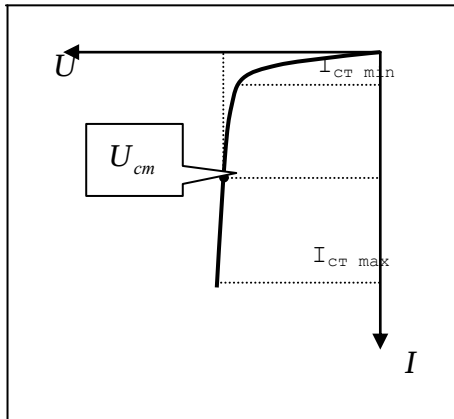


Рисунок 2.3 - ВАХ стабілітрона

Якщо ж змінити полярність прикладеної до діода напруги, то електрони в n- області і дірки в p- області переміщатимуться від межі розділу в протилежні боки. Внаслідок цього опір p-n- переходу зростатиме. Такий напрям зовнішнього електричного поля називають заперним (оберненим). Вольт-амперна характеристика звичайного випрямляючого діода має вигляд, що подано на рис.2.2. Отже, контакт напівпровідників p- і n- типу має односторонню

провідність – він пропускає струм в одному напрямі (пропускну) і практично не пропускає в іншому (заперному). Вольт-амперна характеристика p-n- переходу має нелінійний характер.

Але, якщо обернена напруга, що прикладена до діода, сягає певних критичних значень ($U_{об} \geq U_{проб}$), то відбувається пробій p-n- переходу (штрихова ділянка на рис.2.2). Звичайний випрямляючий діод при цьому виходить з ладу. Стабілітрони ж побудовані таким чином, що можуть працювати в певних межах і під час електричного пробою, і саме ця їх властивість дозволяє стабілізувати напругу.

Назва “**стабілітрон**” походить від латинського “**stabilis**” – стійкий, витрималий, стабільний. Напівпровідниковий стабілітрон – це напівпровідниковий діод, напруга на якому в області електричного пробою при оберненому вмиканні слабко залежить від струму в заданому діапазоні і який використовується для стабілізації напруги.

Схематичний вигляд гілки ВАХ стабілітрону при оберненому зміщенні (так звана обернена характеристика) показаний на рис.2.3. З рисунку зрозуміло, що при досить помітній зміні сили струму через прилад (у межах від I_{cm}^{min} до I_{cm}^{max}) електрична напруга на стабілітроні змінюється відносно дуже мало від свого значення у робочій точці, тобто від величини U_{cm} . Пряма ВАХ для стабілітронів така ж сама, як і для звичайних діодів. Стабілітрони випускаються виключно на основі кремнію, проте навіть і при такій умові існує широка номенклатура таких приладів. Деякі з них навіть мають дещо відмінну назву: “*опорні діоди*”, оскільки отриману стабільну напругу з них часто використовують як еталонну (опорну).

Розглянемо головні параметри кремнієвих стабілітронів. Найважливішим серед них є напруга стабілізації U_{cm} – значення напруги на стабілітроні при проходженні заданого струму стабілізації (мал.1.3). Пробивна напруга діода, а значить, напруга стабілізації стабілітрона, залежить від товщини p-n- переходу. Тому різні стабілітрони мають різні напруги стабілізації (від 3 до 400 В). Зміна струму стабілітрону (від I_{cm}^{min} до I_{cm}^{max}) складає від десятків до сотень міліамперів. Максимальна припустима розсіювана потужність (p_{max}) сягає від ста міліват до

одного вату.

Про якість стабілітрону, тобто про його здатність стабілізувати напругу при зміні струму, можна судити по значенню диференційного опору стабілітрона R_d . Він визначається відношенням приросту напруги стабілізації ΔU_{cm} до малого приросту струму ΔI_{cm} .

$$R_d = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} \quad (2.1)$$

Диференційний опір стабілітронів складає від десятих долей до сотень ом. Так як певним змінам струму для найкращої стабілізації повинні відповідати мінімальні зміни напруги, то якість стабілітрона вища, якщо він має малий диференційний опір. Для ідеального стабілітрону $R_d \rightarrow 0$.

Діапазон струмів, в якому стабілітрон може виконувати функції стабілізатору напруги, встановлюють з наступних міркувань. Мінімально можливий струм $I_{cm}^{\min}$ визначається тим, що при малих струмах, по-перше, диференційний опір стає ще більшим і, по-друге, у початковій стадії пробією виникають шуми. Максимально допустимий струм стабілізації $I_{cm}^{\max}$ визначається дозволеною для конкретного стабілітрону потужністю розсіювання і необхідністю забезпечення надійності роботи приладу, тобто залежить від площі р-п- переходу і від конструкції приладу.

Важливим параметром стабілітрона є температурний коефіцієнт напруги стабілізації ТКН – величина, яка визначається відношенням відносної зміни напруги стабілізації до зміни температури оточуючого середовища при сталому струмі стабілізації:

$$TKH = \left(\frac{dU_{cm}}{U_{cm} dT} \right)_{I=const} \quad (2.2)$$

Характерні значення для кремнієвих стабілітронів лежать у межах: $TKH = (10^{-5} - 10^{-3}) K^{-1}$.

Схема для вивчення стабілітрону наведена на рис.2.4.

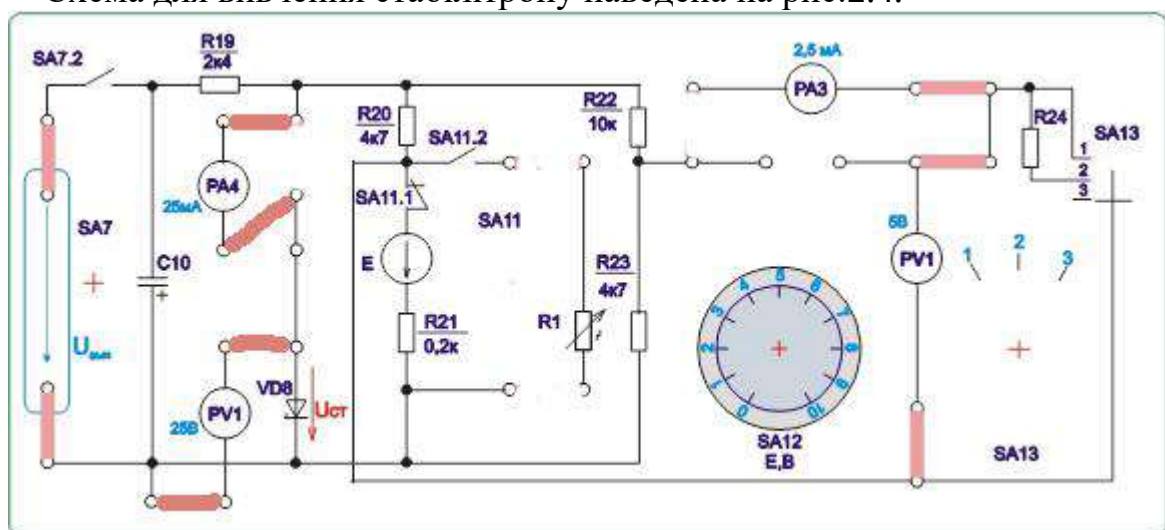


Рисунок 2.4 – Схема для вивчення роботи стабілітрона.

Для виконання лабораторної роботи збирається схема живлення ЛАТРа TV2 (тумблер SA3 встановлюється у верхнє положення - ввімкнено, тумблер

перемикання меж регулювання напруги ЛАТРа в положення «0-100 В»). Тумблер SA11 повинен перебувати у верхньому положенні.

Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: лівий - із кроком 10 В и правий - із кроком 1 В. При цьому лівий перемикач має робочі положення «0», «10», «20», а правий працює у всіх положеннях. Напруга на виході ЛАТРа змінюється від 0 до таких значень, щоб стабілітрон VD8 увійшов у режим стабілізації (при повольтному збільшенні $U_{\text{вих}}$ ЛАТРа напруга на PV1 мало змінюється).

Проведення експерименту

1. Вивчити схему лабораторної установки, розібратися в призначенні органів управління та вимірювальних приладів.

2. Зняти ВАХ стабілітрону, для чого необхідно лавно збільшуючи з допомогою ЛАТРа напругу, що подається на стабілітрон, зняти залежність напруги на стабілітроні від струму, що тече через нього: $U_{\text{ст}} = f(I_{\text{ст}})$. Виміри проводити від мінімального струму через стабілітрон ($I_{\text{мін}} = 0$ мА) через кожні 5 мА до значення $I_{\text{мах}} = 30$ мА. Результати вимірювань занести у таблицю.

3. Побудувати графік залежності напруги на стабілітроні від струму.

Таблиця 2.1

$I_{\text{ст}}, \text{мА}$							
$U_{\text{ст}}, \text{В}$							

Обробка результатів

1. Користуючись графіком залежності $U_{\text{ст}} = f(I_{\text{ст}})$ (його лінійною ділянкою) знайти диференційний опір стабілітрону за формулою (2.1).

Контрольні питання

1. Пояснити процеси в контакті двох напівпровідників з різними типами провідності.
2. Чим стабілітрон відрізняється від звичайного випрямляючого діода?
3. Який принцип роботи стабілітрону?
4. Що характеризують параметри стабілітрону: диференційний опір, коефіцієнт стабілізації, температурний коефіцієнт напруги?
5. Використання стабілітрона для стабілізації напруги

Лабораторна робота 3

Вивчення роботи тиристора

Мета роботи: вивчення принципу дії та властивостей, дослідження характеристик, ознайомлення з основними параметрами та використанням тиристорів.

Теоретичні відомості

Тиристор – це електроперетворювальний напівпровідниковий прилад з трьома або більше р-п-переходами, що має два стійких стани, і вольт-амперна характеристика якого має ділянку з від’ємним диференціальним опором.

Двоелектродний тиристор (диністор) – це тиристор, що має два зовнішніх виводи (анод і катод). Диністор являє собою напівпровідниковий прилад, що складається з чотирьох областей з провідностями р- і n-типу, які послідовно чергуються (рисунок 3.1).

Крайні області р1 і n2 називаються емітерами, а середні р2 і n1 – базами. Диністор має три р-п-переходи, причому два з них П1 і П3 (називають емітерними) зміщені у прямому напрямку, а середній перехід П2 (колекторний) – у зворотному напрямку. Крайню область р1 називають анодом, а крайню область n2 – катодом.

Диністор може перебувати у двох станах: вимкненому, або закритому, яке характеризується значним падінням напруги на диністорі та протіканням малих струмів через нього, тобто великим опором, і увімкненому, або відкритому, яке характеризується малим падінням напруги на диністорі та протіканням значних струмів через нього, тобто малим опором.

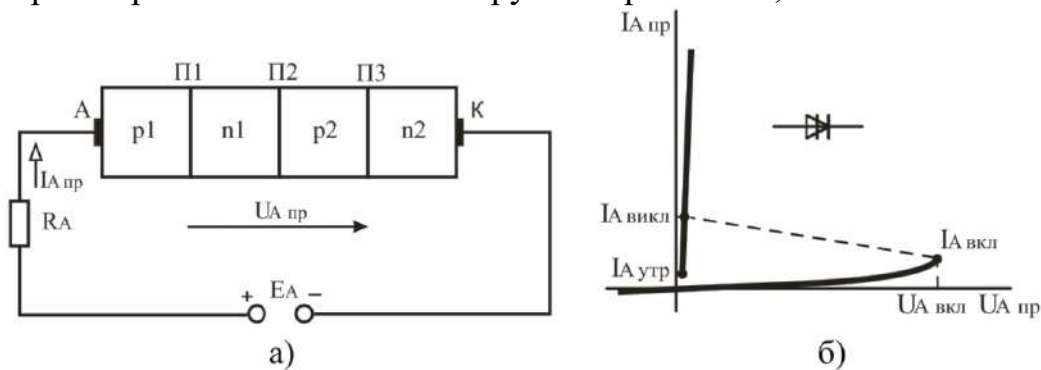


Рисунок 3.1 – Диністор: а – схема увімкнення; б – вольт-амперна характеристика та умовне графічне позначення

Для вимикання диністора необхідно зменшити прямий струм до значення $I_{A \text{ пр}} < I_{A \text{ утр}}$, (де $I_{A \text{ утр}}$ – струм утримання – мінімальний прямий струм, при якому диністор ще залишається в увімкненому стані) або подати на прилад напругу зворотної полярності.

Триелектродний тиристор (триністор) – це керований напівпровідниковий прилад, що має три зовнішні виводи (анод, катод та керуючий електрод).

На відміну від диністора триністор має додатковий електрод – КЕ, який називають керуючим. Від додаткового зовнішнього джерела ЕК за рахунок струму керування $I_{\text{КЕР}}$ через керуючий електрод в базу р2 вводиться додаткова кількість основних носіїв заряду – дірок (рисунок 3.2, а). Це дозволяє вмикати

триністор при меншому значенні $U_{A \text{ вмик}}$, ніж диністор (рисунок 3.2, б). Подаючи через керуючий електрод пряму напругу на перехід ПЗ, що працює в прямому напрямку, можна регулювати значення напруги $U_{A \text{ вмик}}$. Чим більший струм, що протікає через керуючий електрод $I_{\text{кер}}$, тим нижче напруга $U_{A \text{ вмик}}$.

Умова вмикання тріодного тиристора $U_{A \text{ пр}} \geq U_{A \text{ вмик}}$ при $I_{\text{кер}} = \text{const}$, $I_{A \text{ пр}} \geq I_{A \text{ вим}}$, де $I_{A \text{ вим}}$ – струм вимикання – мінімальний прямий струм, що підтримує тиристор в увімкненому стані безпосередньо після його вмикання і зняття струму керування.

Для вимикання триністора необхідно зменшити прямий струм до значення $I_{A \text{ пр}} < I_{A \text{ утр}}$ (де $I_{A \text{ утр}}$ – струм утримання – мінімальний прямий струм увімкненого тиристора при розімкненому колі керування) або подати на прилад напругу зворотної полярності.

Симетричний тиристор (симістор) – це керований напівпровідниковий прилад, який має однакові ВАХ при різних полярностях прикладеної напруги і який проводить струм в обох напрямках.

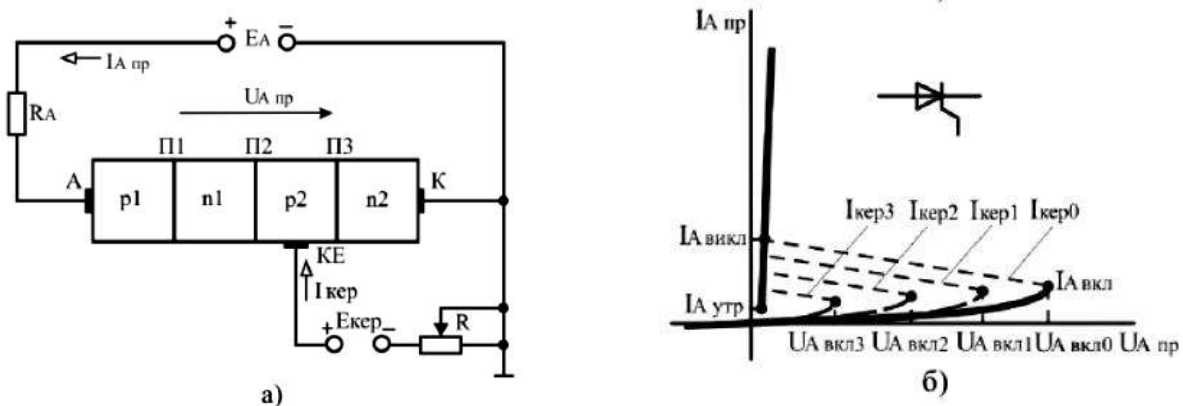


Рисунок 3.2 – Триністор: а – структура та схема увімкнення; б – вольт-амперна характеристика та умовне графічне позначення

Основою симетричного тиристора є кремнієва монокристалічна структура, що складається з п'яти областей з електропровідностями р- і n-типу, які послідовно чергуються, і утворюють чотири р-n-переходи (рисунок 3.3, а).

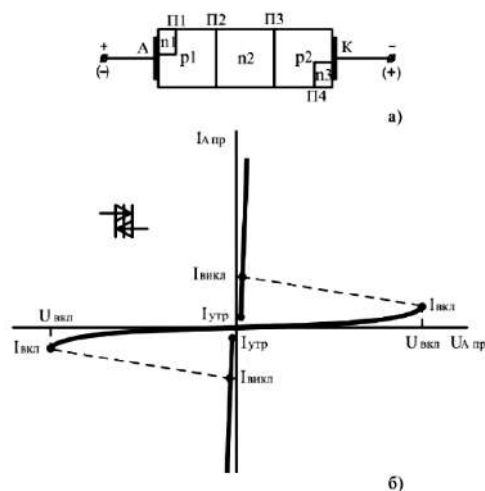


Рисунок 3.3 – Симістор: а – структура; б – вольт-амперна характеристика та умовне графічне позначення

Основні параметри тиристорів:

- напруга вмикання $U_{ВКЛ}$ – це пряма напруга, при якій тиристор переходить із закритого у відкритий стан при розімкненому колі керуючого електроду;
- струм вмикання $I_{ВКЛ}$ – це таке значення прямого струму через тиристор, вище за яке тиристор переходить у відкритий стан при розімкненому колі керуючого електроду;
- максимально допустимий струм у відкритому стані $I_{ПР\ MAX}$ – максимальне значення струму у відкритому стані, при якому забезпечується задана надійність тиристора;
- залишкова напруга $U_{ПР}$ – значення напруги на тиристорі, що знаходиться у відкритому стані при проходженні через нього максимально допустимого струму;
- струм утримання $I_{УТР}$ – мінімальний прямий струм увімкненого тиристора при розімкненому колі керування, нижче за який тиристор переходить у непровідний стан;
- час вмикання $t_{ВКЛ}$;
- час вимикання $t_{ВИКЛ}$.

Застосування тиристорів обумовлене в основному двома їх властивостями: 1 – наявністю ділянки від'ємного диференційного опору; 2 – наявністю двох стійких станів. Перша властивість дозволяє використовувати тиристори в підсилювальних і генераторних схемах, а друга – застосовувати їх в ключових і перемикаючих електронних пристроях різного призначення, в керованих випрямлячах.

Порядок виконання роботи

1. Розгляньте схему на рис. 3.4 і виконайте її моделювання. Модель тиристора виберіть у відповідності до варіанта. Знайдіть у довідниковій літературі і випишіть основні параметри заданого за варіантом тиристора. Напругу джерела V_1 виберіть не меншу за $V_{ВКЛ}$.

2. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку ввімкнення живлення на панелі інструментів.

3. Зніміть вольт-амперну характеристику тиристора при кількох значеннях напруги на керуючому електроді (0 В; 0,5 В; 1,5 В).

4. В звіті потрібно привести одержані ВАХ на одному графіку.

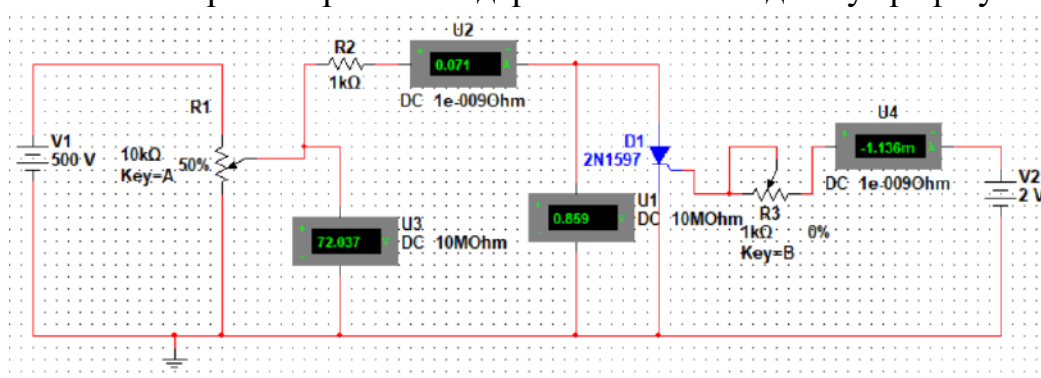


Рисунок 3.4 - Схема для лабораторного дослідження тиристора

Таблиця 3.1

Варіант	Модель тиристора	V_{DRM} , В	Варіант	Модель тиристора	V_{DRM} , В
1	2N1595	50	7	2N1772	100
2	2N1596	100	8	2N1773	150
3	2N1597	200	9	2N1774	200
4	2N1599	400	10	2N1775	250
5	2N1770	25	11	2N1776	300
6	2N1771	50	12	2N1777	400

Контрольні запитання

1. Тиристори, будова, принципи дії.
2. ВАХ тиристорів.
3. Типи тиристорів, їх особливості.
4. Характеристичні параметри тиристорів.

Лабораторна робота 4

Вивчення характеристик біполярного транзистора

Мета роботи: вивчення принципу дії та властивостей, дослідження характеристик, ознайомлення з основними параметрами та використанням біполярних транзисторів.

Теоретичні відомості

Розрізняють три схеми ввімкнення біполярних транзисторів: із спільною базою (СБ) (рис.4.1,а), з спільним емітером (СЕ) (рис.4.1,б), з спільним колектором (СК) (рис.4.1,в).

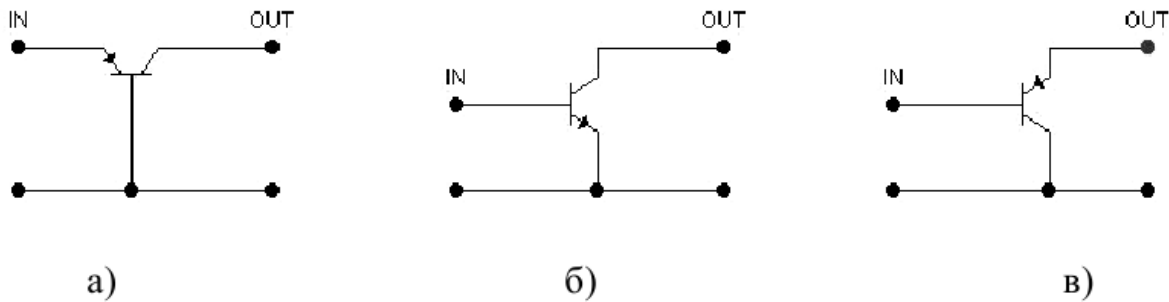


Рисунок 4.1 - Основні схеми ввімкнення транзисторів

У бібліотеку Multisim включена досить велика кількість імпортованих біполярних транзисторів.

Схема для дослідження вихідних ВАХ транзистора показана на рис. 4.2.

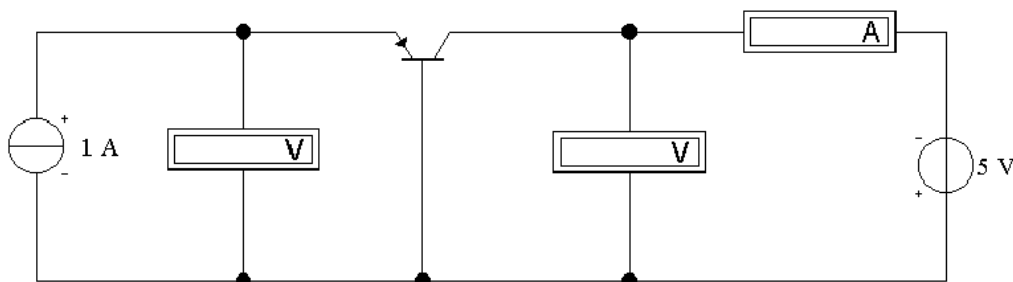


Рисунок 4.2 - Схема для дослідження вихідних ВАХ біполярного транзистора (на прикладі схеми СБ)

Дані для побудови сімейства вихідних ВАХ $I_k = f(U_{kb})$ знімаються при фіксованих значеннях I_e шляхом зміни напруги U_{kb} і вимірювання I_k . Сімейство вхідних ВАХ $I_e = f(U_{eb})$ знімаються при фіксованих значеннях U_{kb} шляхом зміни струму I_e і вимірювання U_{eb} .

Порядок виконання роботи

1. Розгляньте схеми на рис. 4.3 - 4.5 і виконайте їх моделювання. Для схеми рис.4.3 визначити вхідні ВАХ транзистора з спільним емітером (СЕ). Для схеми рис.4.4 визначити вихідні ВАХ транзистора з спільним емітером (СЕ). Для схеми рис.4.5 визначити вихідні ВАХ транзистора з спільною базою (СБ). Тип біполярного транзистора вибирається відповідно до варіантів завдання, запропонованого викладачем (табл. 4.1).

2. З'єднайте контакти елементів і розташуйте елементи в робочій області для отримання необхідної вам схеми.

Зверніть увагу! На схемах (рис.4.3-4.5) полярність джерел напруги вказана для транзистора типу п-р-п. Для транзистора р-п-р полярність обох джерел змінюється на протилежну. Величина джерел повинна бути узгоджена з максимально допустимими величинами напруг для заданого у варіанті транзистора. Ці дані слід виписати самостійно з технічних характеристик транзистора.

3. Виконайте подвійне натискання лівою кнопкою миші на вибраному елементі схеми і отримаєте можливість редагувати номінали та властивості елемента.

4. Коли схема буде складена і готова до запуску, натисніть кнопку ввімкнення живлення на панелі інструментів. У випадку серйозної помилки в схемі (короткого замикання, відсутність нульового потенціалу в схемі) на екрані монітора з'явиться відповідне попередження.

5. Виконайте дослідження схеми, використовуючи контрольно-вимірювальні прилади. Виклик повноформатного зображення лицьової панелі приладу здійснюється подвійним натисканням лівої клавіші миші на піктограмі приладу.

6. Занесіть пояснення щодо створення схем до звіту.

7. Зробіть висновки.

Таблиця 4.1

Варіант	Модель транзистора	Тип
1	2n2905	р-п-р
2	2n2219	п-р-п
3	2n3251	р-п-р
4	2n2923	п-р-п
5	2n3494	р-п-р
6	2n3390	п-р-п

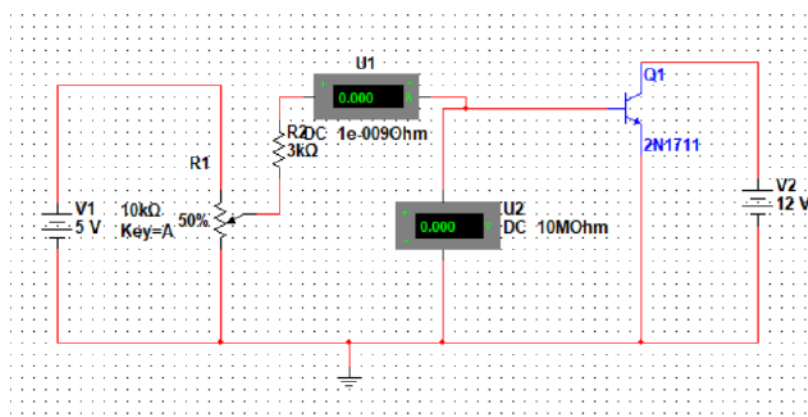


Рисунок 4.3 - Схема для визначення входної ВАХ (СЕ)

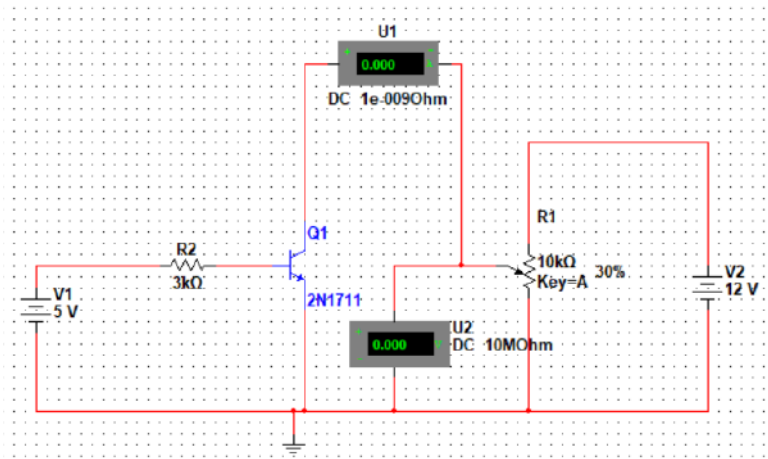


Рисунок 4.4 - Схема для визначення вихідної ВАХ (СЕ)

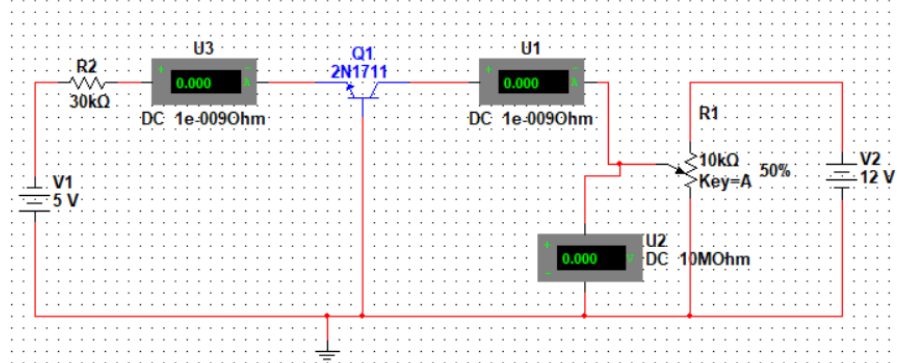


Рисунок 4.5 - Схема для визначення вихідної ВАХ (СБ)

Контрольні запитання

1. Опишіть принцип дії БТ, нарисуйте його схеми ввімкнення.
2. Проаналізуйте статичні входні та вихідні ВАХ.
3. Які три області (режими) роботи має БТ?
4. Чим визначаються частотні властивості БТ?

Лабораторна робота 5.

Вивчення роботи польового транзистора

Мета роботи: вивчення особливостей роботи польового транзистора з керуючим р-п-переходом, дослідження його статичних ВАХ та визначення основних параметрів

Обладнання: ПЕОМ, програма Electronics Workbench або MultiSim

Теоретичні відомості

Польовий транзистор – це трьохелектродний напівпровідниковий прилад, в якому струм створюють основні носії заряду під дією поздовжнього електричного поля між стоком і виток, а керування величиною струму здійснюється поперечним електричним полем, що утворюється напругою, прикладеною до керуючого електрода. Польові транзистори керуються електричним полем.

Виводи польових транзисторів:

- виток (В) – електрод, від якого починається рух носіїв заряду.
- стік (С) – електрод, до якого рухаються носії заряду.
- затвор (З) – керуючий електрод;
- канал – ділянка напівпровідника між стоком та витком, через який протікає електричний струм.

Принцип дії польових транзисторів базується на залежності струму через канал від зміни його поперечного перерізу: $I_C = f(S_K)$.

В польових транзисторах з керуючим р-п переходом (унітронах) площа поперечного перерізу каналу змінюється за рахунок зміни прикладеної зворотної напруги на р-п- переході затвор–канал (рис.5.1).

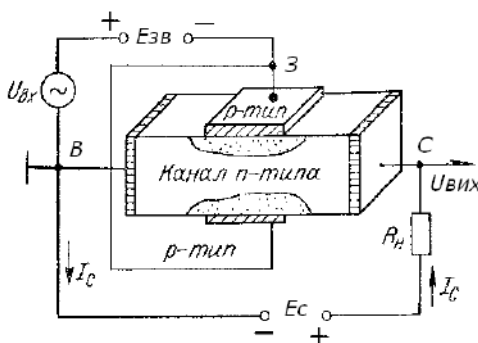


Рисунок 5.1 – Схема будови польового транзистора з керуючим р-п-переходом

Для визначення статичних параметрів польових транзисторів використовують два види статичних характеристик:

- стокові (вихідні) $I_C = f(U_{CB})$ при $U_{ЗВ} = \text{const}$ (рис. 5.2);
- стокозатворні (характеристики керування) $I_C = f(U_{ЗВ})$ при $U_{CB} = \text{const}$ (рис. 5.3).

Основні параметри польового транзистора:

- крутизна стокозатворної характеристики $S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗВ}$, при $\Delta U_{CB} = 0$ ($U_{CB} = \text{const}$) (0,5...30 мА/В);
- внутрішній диференціальний опір $R_i = \Delta U_{CB} / \Delta I_C$, при $\Delta U_{ЗВ} = 0$ ($U_{ЗВ} = \text{const}$) (сотні – тисячі кОм);
- вхідний опір $R_{ВХ} = \Delta U_{ЗВ} / \Delta I_3$, при $\Delta U_{CB} = 0$ ($U_{CB} = \text{const}$) ($10^6 \dots 10^9$ Ом);

- вихідний опір $R_{\text{вих}} = \Delta U_{\text{CB}} / \Delta I_{\text{C}}$, при $\Delta U_{\text{ЗВ}} = 0$ ($U_{\text{ЗВ}} = \text{const}$);

- статичний коефіцієнт підсилення за напругою $\mu = S \cdot R_{\text{i}}$.

Графічним методом коефіцієнт підсилення за напругою можна знайти як:

$$\mu = \Delta U_{\text{CB}} / \Delta U_{\text{ЗВ}}.$$

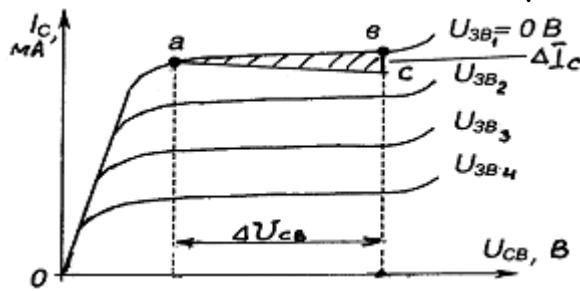


Рисунок 5.2 – Вихідні (стокові) характеристики ПТ

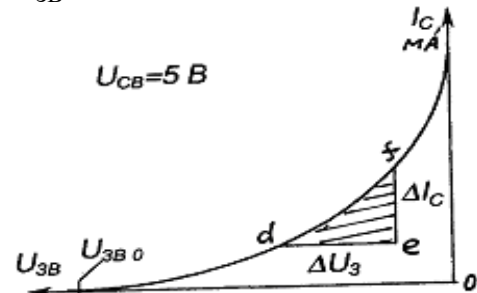


Рисунок 5.3 – Стокозатворна характеристика ПТ

Послідовність виконання роботи

1 Підготовка до роботи

Вивчити схему дослідження (рис. 5.4), підключення вимірювальних приладів та потенціометрів для зміни входних та вихідних напруг і струмів.

2. Самостійно знайти та виписати з довідникової літератури основні параметри польового транзистора у відповідності з заданим варіантом (табл. 5.3).

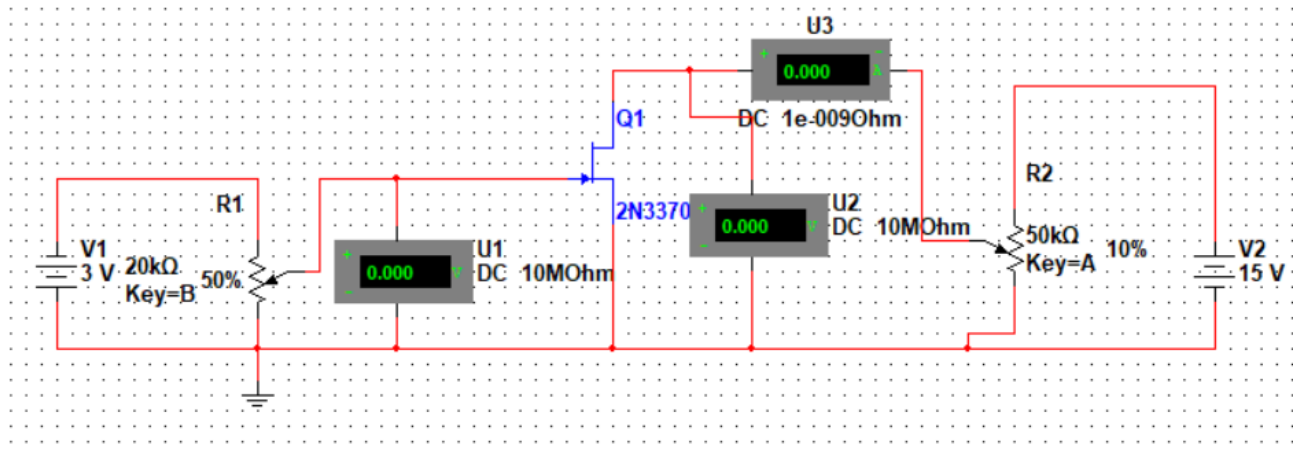


Рисунок 5.4 – Схема дослідження польового транзистора

2. Зняти стокозатворні характеристики $I_{\text{C}} = f(U_{\text{ЗВ}})$ при $U_{\text{CB}} = \text{const}$

2.1 Провести попереднє опробування роботи схеми, для чого потенціометром R2 встановити на виході VT стаłe значення напруги U_{CB} із діапазона 0–10В. Підтримуючи напругу U_{CB} постійною, змінювати потенціометром R1 напругу $U_{\text{ЗВ}}$ від 0В до значення, що відповідає напрузі відсічки, при якій струм стоку $I_{\text{C}} = 0$, і спостерігати зміну вихідного струму стоку I_{C} .

2.2 Зняти стокозатворну характеристику для сталого значення напруги $U_{\text{CB}} = \text{const} = 5 \text{ В}$.

Змінюючи потенціометром R1 напругу $U_{\text{ЗВ}}$ від 0 В (I_{C} максимальний) до напруги відсічки ($I_{\text{C}} = 0$), зняти залежність $I_{\text{C}} = f(U_{\text{ЗВ}})$.

Вимірювані значення заносити у таблицю 1.

Таблиця 5.1

$U_{ЗВ}, В$							
$I_C, мА$							

3. Зняти стокові характеристики транзистора $I_C = f(U_{CB})$ при $U_{ЗВ} = \text{const}$

3.1 Провести попереднє опробування схеми, для чого потенціометром R1 встановити на вході транзистора напругу $U_{ЗВ}$, рівну половині напруги відсічки.

Змінюючи потенціометром R2 напругу U_{CB} між стоком і витоком від 0 В до 10 В, впевнитись, що струм стоку I_C змінюється.

3.2 Зняти стокові характеристики для 3–4 сталих значень напруги $U_{ЗВ}$ (починаючи від $U_{ЗВ}=0$ і до $0,8U_{відс}$).

Встановити спочатку потенціометром R1 напругу $U_{ЗВ} = 0 В$.

Змінюючи напругу між стоком та витоком U_{CB} потенціометром R2, зняти залежність $I_C = f(U_{CB})$ Вимірювані параметри заносити у таблицю 2.

3.3 Повторити пункт 3.2 при інших значеннях $U_{ЗВ}$ (наприклад, 0,5 В; 1,0 В та 1,5 В).

Таблиця 5.2

$U_{ЗВ 1} = В$		$U_{ЗВ 2} = В$		$U_{ЗВ 3} = В$		$U_{ЗВ 4} = В$	
$U_{CB}, В$	$I_C, мА$	$U_{CB}, В$	$I_C, мА$	$U_{CB}, В$	$I_C, мА$	$U_{CB}, В$	$I_C, мА$

4. Побудова характеристик транзистора.

За результатами вимірювань побудувати сімейства стокових (в одній системі координат) та стокотворної статичних ВАХ транзистора на міліметровому папері або з допомогою табличного процесора.

5. Визначення основних параметрів польового транзистора.

За стокотворною характеристикою визначити (за методикою на рис.5.3):

- напругу відсічки $U_{ЗВ 0}$;
- крутизну $S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗВ} [мА/В]$.

За стоковими характеристиками визначити (за методикою на рис.2):

- внутрішній диференціальний опір $R_i = \Delta U_{CB} / \Delta I_C$, при $\Delta U_{ЗВ} = 0$;
- вихідний диференційний опір $R_{вих} = \Delta U_{CB} / \Delta I_C$, при $\Delta U_{ЗВ} = 0$;

Статичний коефіцієнт підсилення за напругою:

$$\mu = S \cdot R_i.$$

При розрахунку μ звернути увагу на узгодження одиниць вимірювання S та R_i .

Таблиця 5.3. Вибір транзистора для виконання роботи

Варіант	Модель польового транзистора	Варіант	Модель польового транзистора
1	2N3821	6	2N3956
2	2N3822	7	2N3957
3	2N3823	8	2N3958
4	2N3824	9	2N3966
5	2N3921	10	2N3967

Контрольні питання

- 1 Чому транзистор називається уніполярним?
- 2 Чим керується польовий транзистор?
- 3 Від чого залежить ширина перерізу каналу транзистора?
- 4 При якому значенні напруги на затворі струм стоку максимальний? Мінімальний?
- 5 Якими носіями зарядів викликаний струм польового транзистора?
- 6 При якій полярності вмикання напруги між затвором і витоком забезпечується робочий режим польового транзистора?

Лабораторна робота 6

Визначення характеристик і параметрів транзисторного оптрона

Мета роботи: 1. Освоїти методику експериментального дослідження оптронів.

2. Дослідити статичні характеристики оптрона

Теоретичні відомості

Оптопара (елементарний оптрон) є електронним приладом, що складається з джерела електромагнітного випромінювання в інфрачервоному діапазоні (значно рідше – у видимому) та фотоприймача, пов'язаних між собою оптичним каналом і, як правило, об'єднаних у спільному корпусі. Функції джерела випромінювання зазвичай виконує світлодіод, а як фотоприймач може служити фоторезистор, фотодіод, фототранзистор (біполярний або польовий) або фототиристор. Відповідно розрізняють резисторні, діодні, транзисторні або тиристорні оптопари.

Принцип роботи оптопари полягає у перетворенні вхідного електричного сигналу у випромінювання, зазвичай короткохвильове інфрачервоне з довжиною хвилі від 0,74 до 1,5 мкм, його передачі по оптичному каналу та подальшому зворотному перетворенні на електричний сигнал. Таким чином, вхідне та вихідне кола оптопари гальванічно розділені між собою, тобто між ними, у тому числі між їх спільними шинами, відсутній електричний контакт. Дана властивість оптопар визначає основну сферу їх застосування – гальванічна розв'язка вузлів та блоків електронних пристроїв та систем, тобто передача сигналів між даними вузлами та блоками без електричного контакту між ними.

Гальванічна розв'язка є обов'язковою або вкрай бажаною при зв'язку вузлів і блоків, віддалених один від одного на відстань 10 – 15 і більше метрів, а також при цифровому електронному контролі та управлінні як високочутливими аналоговими, так і силовими пристроями.

Одним із найпоширеніших типів оптопар є транзисторна. Вона також зручна для вивчення принципів роботи оптопари в цілому, фізичного змісту та методик вимірювання їх основних статичних та динамічних параметрів.

Умове графічне позначення транзисторної оптопари представлено на рис. 1. Вона включає такі основні елементи:

- світлодіод, який є перетворювачем вхідного сигналу (струму) оптопари в електромагнітне випромінювання, як правило, інфрачервоного діапазону;
- фототранзистор, що виконує функцію фотоприймача та здійснює перетворення випромінювання світлодіода у вихідний струм оптопари;
- світловод, що служить для оптичного зв'язку джерела та приймача випромінювання.

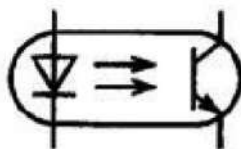


Рисунок 6.1 – Умове графічне позначення транзисторної оптопари

Найпростіша схема включення транзисторної оптопари наведена на рис. 6.2.

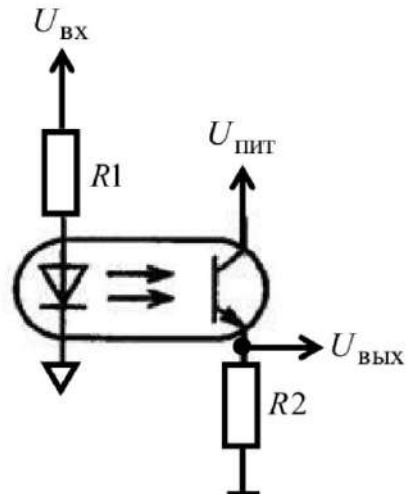


Рисунок 6.2 – Найпростіша схема включення транзисторної оптопари

Вхідна напруга через резистор $R1$ подається на вхідний світлодіод оптопари. За умови, що $U_{ВХ} > U_{сд}$ (де $U_{сд}$ - падіння напруги на прямо зміщений світлодіод, якт можна вважати практично незалежним від струму через нього і таким, що визначається довжиною хвилі випромінювання; для світлодіодів інфрачервоного діапазону $U_{сд}$ дорівнює близько 1,5 В) світло діод зміщується в прямому напрямку, через нього протікає струм, що дорівнює:

$$I_{сд} = \frac{U_{ВХ} - U_{сд}}{R1}$$

При протіканні даного струму в області р-п-переходу відбувається рекомбінація електронів з п-області з дірками з р-області. Під час рекомбінації відбувається виділення квантів електромагнітного випромінювання. Їх енергія, а отже, і довжина хвилі випромінювання, визначається шириною забороненої зони матеріалу, з якого виготовлено світлодіод, а також рядом побічних фізико-хімічних та конструктивних параметрів та показників світлодіода. Як зазначено раніше, переважна більшість оптронів працює в короткохвильовій області інфрачервоного діапазону. Сила випромінювання при цьому є функцією від струму, що протікає через світлодіод.

Вихідне випромінювання світлодіода надходить на базу фото транзистора (включеного в схемі, що розглядається, в режимі емітерного повторювача, кращому за динамічними характеристиками), утворюючи в ній пари зарядів (дірки та електрони). Неосновні носії бази (для поширених в даний час фототранзисторів п-р-п-типу - електрони) дифундують під впливом прискорюючого електричного поля колекторного переходу в колектор, утворюючи фотострум. Дірки, що залишилися в базі, знижують потенційний бар'єр емітерного переходу, що веде до інжекції електронів з емітера до бази. За допомогою дифузії дані електрони через базу досягають колекторного переходу та під впливом його поля переміщуються в колекторну область, посилюючи фотострум. У сукупності дані ефекти викликають протікання струму між колектором та емітером вихідного транзистора оптрона, тобто. у його вихідному колі. Цей струм, у спільному випадку, дорівнює:

$$I_{\text{вих}} = I_{\text{сд}} K_I(I_{\text{сд}}),$$

де $K_I(I_{\text{сд}})$ - коефіцієнт передачі оптопари за струмом, який, у спільному випадку, залежить від вхідного струму, тобто. від струму через світлодіод. Тобто передавальна характеристика оптопари, в спільному випадку, є нелінійною. Однак, на ній можуть бути виділені ділянки з коефіцієнтом передачі, який мало залежить від вхідного струму, тобто з лінійною залежністю вихідного струму від вхідного. Слід зазначити, що лінійність передавальних характеристик діодних оптопар, як правило, значно вища, ніж транзисторних.

За допомогою навантажувального резистора R_2 вихідний струм оптопари перетворюється на напругу, що дорівнює:

$$U_{\text{вих}} = I_{\text{сд}} K_I(I_{\text{сд}}) R_2.$$

З урахуванням залежності струму через світлодіод від вхідної напруги, неважко зробити висновок, що оптопара дійсно дозволяє керувати вихідною напругою за допомогою вхідної, без гальванічного зв'язку між вхідним та вихідним ланцюгами.

На практиці транзисторні оптопари часто використовуються у ключовому режимі, що характеризується двома стійкими станами вихідного транзистора: відсічення та насичення. Перший з них має місце при відсутності випромінювання світлодіода, наприклад, при нульовій вхідній напрузі оптопари. При опорі резистора R_2 порядку одиниць – десятків кОм вихідна напруга не перевищить кількох сотень мілівольт, тобто буде сприйматися як логічний нуль практично будь-яким імпульсним чи цифровим пристроєм.

При достатньому рівні освітлення спостерігатиметься режим насичення транзистора, вихідна напруга фіксується на рівні логічної одиниці (порядку напруги живлення) незалежно від вхідного струму.

Основними електричними параметрами транзисторних оптопар, нормованими технічною документацією на них є такі:

- вихідна залишкова напруга $U_{\text{вих зал}}$, що дорівнює максимально можливому падінню напруги на вихідному елементі оптопари при його насиченні при деяких заданих вхідному та вихідному струмах оптопари; для найпростішої транзисторної оптопари $U_{\text{вих зал}}$ дорівнює значенню $U_{\text{ке зал}}$ насиченого фототранзистора;

- вхідна напруга $U_{\text{вх}}$, що визначається як падіння напруги на прямо зміщений світлодіод оптопари при деякому заданому вхідному струмі;

- струм втрат на виході $I_{\text{вт вих}}$, що визначається як вихідний струм оптопари при світлодіоді, що не випромінює, і деякому заданому напрузі живлення вихідного ланцюга оптопари;

- коефіцієнт передачі за струмом K_I ;

- напруга ізоляції $U_{\text{із}}$, що визначається як значення напруги, прикладеного між входом та виходом оптопари, при якому забезпечується її електрична міцність;

- опір ізоляції $R_{\text{із}}$, що визначається як значення активного опору між входом та виходом оптопари при деякому заданому значенні напруги, прикладеної між входом і виходом оптопари;

- прохідна ємність $C_{\text{пр}}$, що визначається як значення ємності між входом та виходом оптопари.

Для оптопар (у тому числі транзисторних) також нормується ряд гранично допустимих параметрів, основними з яких є:

- максимально допустима комутована напруга (тобто напруга живлення вихідного ланцюга);
- максимально допустимий вхідний постійний струм;
- максимально допустима амплітуда вхідного імпульсного струму при заданих тривалості та шпаруватості імпульсу;
- максимально допустимий комутований струм (тобто вихідний струм оптопари);
- максимально допустима потужність, що розсіюється на вихідному елементі (фотоприймачі) оптопари.

Виконання роботи

1. Зібрати схему для дослідження параметрів оптопари, обравши її згідно варіанту (табл. 6.4). Знайдіть і запишіть технічні параметри заданої оптопари.

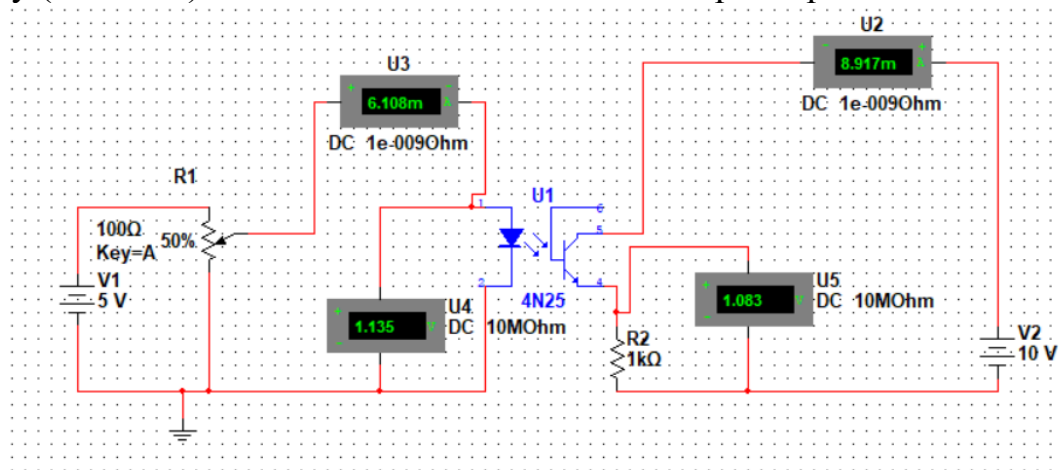


Рисунок 6.3 – Схема для дослідження параметрів оптрона

2. Зніміть вхідну характеристику оптопари.

За допомогою джерела живлення V2 встановіть напругу на виході оптрону $U_{\text{вих}} = 10 \text{ В}$. Збільшуючи за допомогою змінного резистора R₁ напругу на вході оптрона $U_{\text{вх}}$, зніміть залежність вхідного струму $I_{\text{вх}}$ від напруги $U_{\text{вх}}$ (при цьому простежте, щоб вихідний струм $I_{\text{вих}}$ не перевищував максимально допустимого значення $I_{\text{вих макс}}$); значення вимірюваних величин записуйте у табл. 6.1. Побудуйте графік залежності $I_{\text{вх}} = f(U_{\text{вх}})$.

Таблиця 6.1

$U_{\text{вх}}, \text{В}$										
$I_{\text{вх}}, \text{мА}$										

3. Зніміть сімейство вихідних характеристик оптопари.

Встановіть з допомогою резистора R₁ вхідний струм приблизно 0,8 від максимального значення, одержаного в п.2. Змінюючи напругу джерела V2 від 0 до 10 В, фіксуйте відповідні значення струму $I_{\text{вих}}$ (амперметр U2). Аналогічні

залежності зніміть для вхідного струму 0,6 та 0,3 від максимального. Побудуйте на одному графіку одержані залежності $I_{вих}=f(U_{вих})$.

Таблиця 6.2

$I_{6x} =$	$U_{вих}, В$										
	$I_{вих}, мА$										
$I_{6x} =$	$U_{вих}, В$										
	$I_{вих}, мА$										
$I_{6x} =$	$U_{вих}, В$										
	$I_{вих}, мА$										

3. Зніміть передавальну характеристику оптопари.

Встановіть напругу джерела живлення $V2 = 5 В$ і не змінюйте її протягом експерименту. Збільшуючи напругу на вході оптрона $U_{вх}$ (з допомогою R_1) від 0 до 5 В, зніміть залежність вихідної напруги $U_{вих}$ (вольтметр U5) від $U_{вх}$ (вольтметр U4); значення вимірюваних величин записуйте у табл. 6.3. Побудуйте графік залежності $U_{вих}=f(U_{вх})$.

Таблиця 6.3

$U_{вх}, В$										
$U_{вих}, В$										

Таблиця 6.4 – Варіанти завдань

Варіант	Модель оптопари	Варіант	Модель оптопари
1	4N25	6	4N36
2	4N26	7	4N37
3	4N27	8	4N38
4	4N28	9	4N48
5	4N33	10	4N49

Лабораторна робота 7

Дослідження режимів роботи однокаскадного підсилювача

1. Мета роботи.

1.1. Ознайомлення із будовою біполярних транзисторів й їхніми властивостями.

1. Дослідження роботи підсилювача із спільним емітером.

Основні теоретичні відомості.

Транзистор - напівпровідниковий елемент із трьома електродами, що служить для посилення або перемикання сигналу.

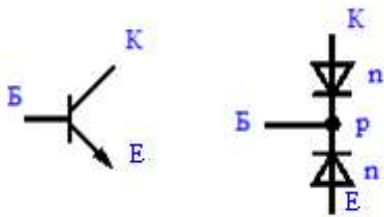


Рисунок 7.1 – Позначення на схемах і еквівалентна схема біполярного транзистора

Транзистор можна розглядати як два протилежно включені діоди, які мають один спільний n - або p -шар. Електрод, пов'язаний з ним називають базою Б. Два інших електроди називаються емітером Е та колектором К (рис. 7.1.)

Основна особливість транзистора полягає в тому, що колекторний струм I_k є кратним базовому струму I_b . Відношення їхніх змін

$$\beta = \Delta I_k / \Delta I_b$$

називають коефіцієнтом підсилення за струмом.

Другою особливістю є той факт, що колекторний струм мало змінюється після досягнення $U_{ке}$ певного значення.

Третьою особливістю транзистора є те, що малої зміни вхідної напруги виявляється досить для того, щоб викликати відносно велику зміну колекторного струму. Зміна колекторного струму I_k залежно від $U_{бе}$ характеризується крутістю s :

$$S = \Delta I_k / \Delta U_{бе}, U_{ке} = \text{const.}$$

Залежність колекторного струму від напруги колектор-емітер характеризується диференціальним вихідним опором

$$r_{ке} = \Delta U_{ке} / \Delta I_k.$$

Залежність струму бази від напруги бази характеризується диференціальним вхідним опором

$$r_{бе} = \Delta U_{бе} / \Delta I_b = \beta / s.$$

Крім розглянутих вище параметрів транзистор характеризується максимальним струмом колектора $I_{k\text{max}}$, максимальною напругою колектор-емітер $U_{ке\text{max}}$, максимальною напругою база-емітер $U_{бе\text{max}}$, максимальною напругою колектор-база $U_{кб\text{max}}$ і граничною частотою $f_{гр}$.

Є три основні схеми включення транзистора в підсилювальні кола. Залежно від того, чи приєднаний емітер, колектор або база до спільної точки,

розрізняють відповідно схеми із спільним емітером, колектором або базою. Розглянемо схему із спільним емітером рис. 7.2.

Для аналізу схеми із спільним емітером прикладемо до неї вхідну напругу $U_{вх}=0,6\text{ В}$ (для кремнієвих транзисторів) таку, щоб через колектор протікав струм. Якщо тепер вхідну напругу підвищити на деяку величину $\Delta U_{вх}$, то колекторний струм збільшиться відповідно до виразу:

$$\Delta I_K = s \cdot \Delta U_{вх}$$

Оскільки колекторний струм протікає через опір R_K , то спад напруги на R_K теж підвищується й вихідна напруга $U_{вих}$ зростає на величину

$$\Delta U_{вих} = -\Delta I_K \cdot R_K = -s \cdot R_K \cdot \Delta U_{вх}.$$

Таким чином, схема забезпечує коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_u = \Delta U_{вих} / \Delta U_{вх} = -s \cdot R_K.$$

Вхідний опір такої схеми дорівнює вхідному опору транзистора

$$r_{бe} = \Delta U_{бe} / \Delta I_{бe} = \beta / s = \beta \cdot U_m / I_K.$$

Вихідний опір схеми визначають як опір паралельно з'єднаних R_K й $r_{ке}$

$$R_{вих} = \Delta U_{вих} / \Delta I_{вих} = R_K || r_{ке}.$$

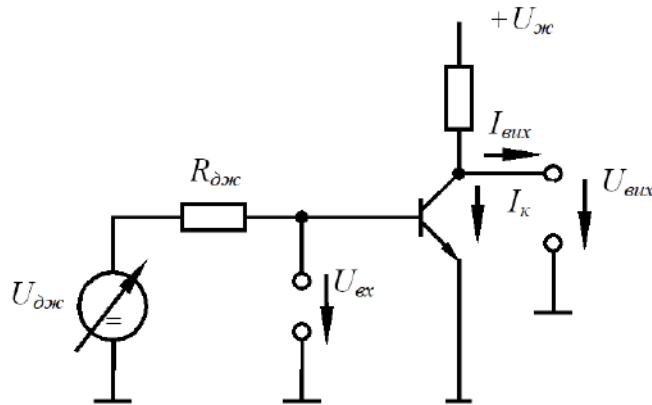


Рисунок 7.2 – Схема підсилювача СЕ

Розглянута схема має два недоліки. Перший - нелінійні спотворення, другий - нестабільність робочої точки. Для зменшення обох недоліків використовують негативний зворотний зв'язок. При цьому частина вихідного сигналу подається назад на вхід, для того, щоб протидіяти вхідному сигналу. Негативний зворотний зв'язок може бути реалізований за допомогою введення в емітерне коло опору R_e . У цьому випадку коефіцієнт підсилення за напругою визначається як:

$$K_u = \Delta U_{вих} / \Delta U_{вх} = -R_K / R_e.$$

Вхідний опір такої схеми можна визначити

$$r_{вх} = \beta \cdot (s + R_e).$$

Внаслідок негативного зворотного зв'язку за струмом вихідний опір зростає незначно й у випадку глибокого негативного зворотного зв'язку прямує до R_K .

Робоча точка в схемі із спільним емітером, як правило, задається ділянкою напруги й R_e . При розрахунку останнього каскаду керуються наступними міркуваннями.

По-перше, схема не повинна шунтувати джерело сигналу. Для цього струм колектора вибирають таким, щоб паралельне з'єднання $r_{be} = \beta \cdot U_m / I_k$, R1, R2 було значно більше $r_{дж}$.

По-друге, опір r_{be} не повинен шунтувати дільник R1, R2, тобто опір паралельного з'єднання R1, R2 повинен бути значно меншим за r_{be} .

По-третє, стабільність робочої точки тим краща, чим більше падіння постійної напруги на R_e , тому що в цьому випадку зміна U_{be} залишається меншою U_e й, отже, зміна колекторного струму буде незначною. При стандартному дрейфі від температури напруги U_{be} 2 мВ/К відносний дрейф напруги на емітері U_e , а, значить, і струму колектора складе 2 мВ/ U_e . Наприклад, при $U_e = 2$ В дрейф струму колектора буде не більше 0,1%.

По-четверте, при установці потенціалу колектора U_k необхідно стежити за тим, щоб напруга колектор-емітер транзистора під час його роботи не падала до напруги насичення: $U_{кен} = 0,3$ В.

З іншого боку потенціал колектора при відсутності сигналу не можна вибирати дуже великим, тому що спад напруги на R_k і коефіцієнт підсилення за напругою напрузі будуть малі. Тому якщо покласти, що вихідний сигнал повинен змінюватися в межах $\Delta U_{вих}$ для напруги спокою на колекторі одержимо

$$U_k = U_e + U_{кен} + |\Delta U_{вих}|.$$

Відповідно до цих міркувань

$$\begin{aligned} R_e &= U_e / I_k; \\ R_k &= (U_{жс} - U_k) / I_k; \\ R_1 &= (U_{жс} - U_{\delta}) / (I_{\delta il} - I_{\delta}); \\ R_2 &= U_{\delta} / I_{\delta il}. \end{aligned}$$

Тут вважаємо:

$$\begin{aligned} U_{\delta} &= U_e + U_{be}, \\ I_{\delta il} &= 10 \cdot I_{\delta}, \\ I_{\delta} &= I_k / \beta. \end{aligned}$$

Ємності $C_{вх}$, $C_{вих}$ у даній схемі є розділяючими. Ємність C_e призначена для шунтування R_e по змінному струму. Останнє дозволяє при частотах вхідного сигналу більше $f_{zp} = s / 2\pi C_e$ забезпечити максимальний коефіцієнт підсилення по напрузі $s \cdot R_k$. Режим спокою при цьому заданий опором R_e .

Виконання лабораторної роботи.

1. Зібрати схему дослідження підсилювача з емітерною термостабілізацією, зображену на рис. 7.3. Ознайомитися з методикою розрахунку параметрів елементів схеми й установити їх у діалогових вікнах компонентів. Скопіювати схему у звіт по роботі.

2. Зняти й побудувати (по точках) сімейство амплітудних характеристик по напрузі $u_{вих}(u_{вх})$ на частоті вхідної напруги $u_{вх}$ $f = 1$ кГц, при вхідних опорах джерела E1 $R_s = 0$ й $R_s = 100$ Ом і при опорах навантаження $R_n = 1$ МОм й $R_n = 1$ кОм. Записати в табл. 1 покази вольтметра V2, що працює в режимі АС, при ступінчатій зміні ЕРС джерела сигналу E1, спостерігаючи у вікні осцилографа за характером спотворень вихідної напруги $u_{вих}$ при великих значеннях напруги $u_{вх}$. Порівняйте за осцилографом фазу вихідної напруги $u_{вих}$, знятої з колектора транзистора VT1, та вхідної напруги $u_{вх}$.

3. Використовуючи покази приладів, визначити коефіцієнт підсилення підсилювача. Порівняти його з розрахунковим.

4. Змінюючи частоту джерела від 100 Гц до 500 МГц, зняти амплітудно-частотні характеристики підсилювача по напрузі при $u_{BX}=10$ мВ, $R_s=100$ Ом й $R_n=1$ кОм і визначити смуги пропускання Δf підсилювача без емітерного НЗЗ і з НЗЗ.

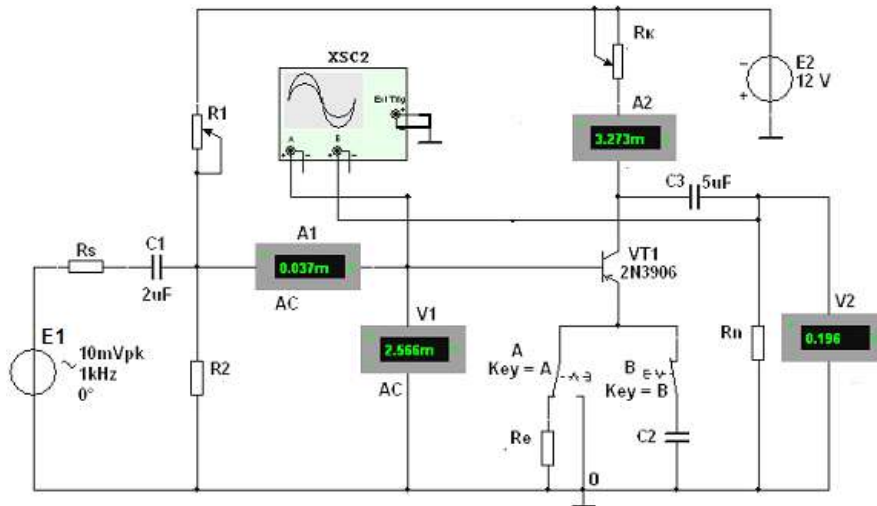


Рисунок 7.3 – Схема вивчення роботи підсилювача

Таблиця 7.1

R_s , Ом	R_n	При E_1 , мВ:									
		V1 й V2	0	25	50	75	100	200	300	400	500
0	1 МОм	u_{BX} , мВ									
		$u_{ВИХ}$, В									
	1 кОм	u_{BX} , мВ									
		$u_{ВИХ}$, В									
100	1 МОм	u_{BX} , мВ									
		$u_{ВИХ}$, В									
	1 кОм	u_{BX} , мВ									
		$u_{ВИХ}$, В									

Приклад розрахунку параметрів елементів схеми виконаємо для підсилювача на транзисторі VT1 з СЕ (тип транзистора 2N3906 з параметрами: $U_{K,max}=40$ В; $I_{K,max}=0,2$ А; $h_{21E}=30...300$; $f_{max}=300$ МГц; $P_K=0,625$ Вт). Як джерело енергії використаний генератор постійної напруги E2 з ЕРС $E_2=12$ В, а як джерело вхідного сигналу – генератор синусоїдальної напруги E1. Для візуалізації результатів випробування в схему включені амперметри A1 й A2, вольтметри V1 й V2, двоканальний осцилограф.

Розрахунок параметрів елементів схеми виконаємо за допомогою наступних співвідношень:

$$R_K \approx E_2/I_{K,max}=12/(0,2)=60 \text{ Ом}$$

– опір колектора (без емітерного зворотного зв'язку (перемикач А перебуває в правому положенні, ключ В розімкнута));

$$U_{KП} \approx E_{2/2} = 6 \text{ В};$$

$$I_{KП} \approx (E_2 - U_{KП}) / R_K = 6/60 = 100 \text{ мА}$$

– постійна напруга й струм колектора в режимі спокою;

$$I_{БП} \approx I_{KП} / h_{21} = 100/135 \approx 0,75 \text{ мА}$$

– струм бази в режимі спокою, де $h_{21}=135$ – середнє значення коефіцієнта передачі по струму вибраного транзистора;

$$R_1 = (E_1 - U_{БП}) / I_{БП} = (12 - 0,65) / 0,75 \cdot 10^{-3} \approx 15 \text{ кОм}$$

– опір резистора R_1 у базовому ланцюзі, де напруга $U_{БП} \approx 0,65 \text{ В}$ для кремнієвих й $U_{БП} \approx 0,3 \text{ В}$ для германієвих транзисторів;

$$R_e \approx (0,1 \dots 0,2) E_1 / I_{ЕП} = 0,2 \cdot 12 / 0,075 = 32 \text{ Ом}$$

– опір резистора R_e у колі емітера, де $I_{ЕП} \approx I_{KП} \approx 0,75 \text{ ма}$ – струм колектора при підключенні резистора R_e ;

$R_2 = (0,3 \dots 0,5) R_1$ – опір резистора R_2 , включеного між базою й спільною точкою підсилювача для створення необхідної напруги спокою

$$U_{бесп} = \frac{E_1 R_2}{R_1 + R_2} - R_e I_{есп}$$

Прийmemo $R_2 = 6 \text{ кОм}$.

У підсилювачі з СЕ і з емітерною стабілізацією рекомендується режим: $U_{Ксп} \approx (2/3) E_1 = 8 \text{ В}$ и $U_{Есп} \approx (1/3) E_1 = 4 \text{ В}$, який можна встановити зміною опорів потенціометрів R_1 , R_k і резистора R_e (рис. 7.3).

Для усунення негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) за змінною складовою струму резистор R_e зашунтований конденсатором C_2 , ємнісний опір якого для низькочастотної складової посилюваного сигналу повинен бути на порядок меншим опору резистора R_e . Прийmemo $C_2 = 8 \text{ мФ}$. Тоді опір конденсатора C_2 $X_{C_2} \approx 20/f$.

Варіант	Модель	Тип	$U_{к \text{ max}},$ В	$I_{к \text{ max}},$ А	h_{21E}	$f_{\text{max}},$ МГц	$P_{\text{max}},$ Вт
1	2N3634	pnp	140	1	25–150	150	5
2	2N3905	pnp	40	0,2	15–150	200	1,5
3	2N3703	pnp	30	0,5	30–150	100	0,6
4	2N3637	pnp	175	1	50–300	200	5
5	2N4061	pnp	30	0,2	90–330	100	0,6
6	2N4125	pnp	30	0,1	25–150	200	0,6

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення ПНЧ?
2. Вкажіть, що може бути джерелом вхідних сигналів ПНЧ.
3. Які схеми підсилювачів використовуються при побудові каскадів попереднього та кінцевого підсилення?

Лабораторна робота 8

Вивчення роботи однокаскадного підсилювача на польовому транзисторі

Мета роботи: дослідження характеристик і параметрів підсилювального каскаду на польовому транзисторі.

Основні теоретичні положення

Польовий транзистор можна вмикати в підсилювальну схему трьома різними способами: із спільним витоком (СВ), спільним стоком (СС) і спільним затвором (СЗ). Найчастіше використовують схему із СВ, аналогічну схемі із СЕ на біполярному транзисторі.

На рисунку 8.1 наведена схема підсилювального каскаду на польовому транзисторі із затвором у вигляді р-п-переходу, яка використовує одне джерело живлення ЕС. Початковий режим роботи польового транзистора забезпечується постійним струмом стоку I_{0c} і відповідною йому постійною напругою на стоку U_{0c} .

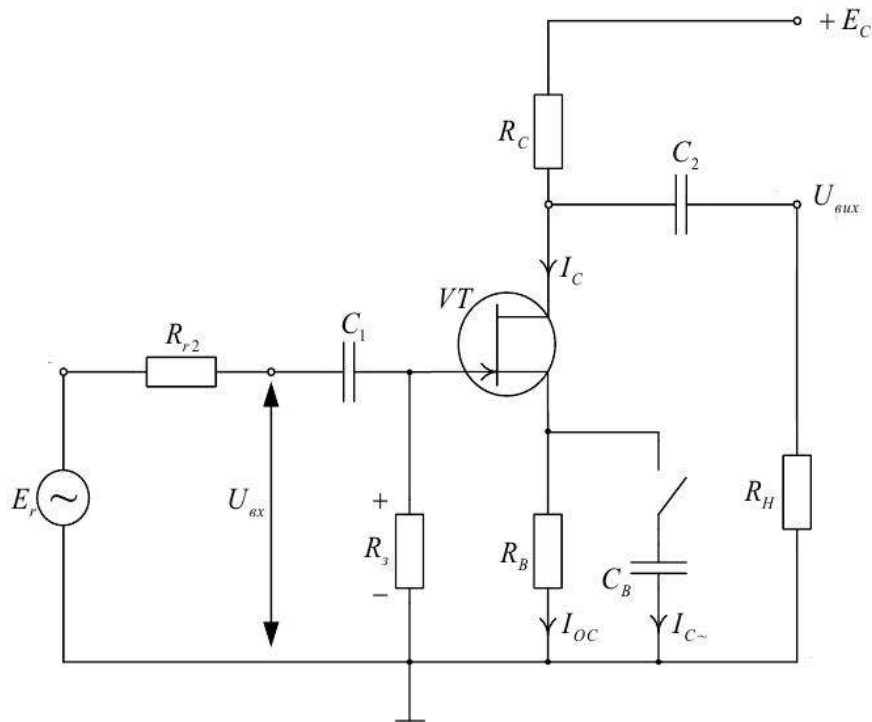


Рисунок 8.1 – Схема каскаду СВ

Струм I_{0c} у вихідному (стоковому) колі встановлюється за допомогою джерела живлення ЕС і початкової напруги зміщення на затворі U_{03} , негативної полярності відносно джерела (для польового транзистора із р-каналом - позитивної полярності). В свою чергу, напруга U_{03} забезпечується за рахунок цього ж самого струму I_{0c} , який протікає через резистор в колі витоку R , тобто $U_{03}=I_{0c}R_B$, яка через резистор R_3 прикладається до затвору із полярністю, яка вказана на рисунку 1. Змінюючи опір R_B , можна змінювати напругу U_{03} і струм стоку I_{0c} встановлюючи потрібне його значення. Резистор R_B , окрім функції автоматичного зміщення на затворі, виконує також функцію термостабілізації режиму роботи підсилювача за постійним струмом, стабілізуючи величину I_{0c} . Щоб на опорі R_B не виділялась напруга за рахунок змінної складової струму

стоку $I_{c\sim}$ (це призвело б до негативного зворотного зв'язку), його шунтують конденсатором C_B , ємність якого визначається з умови

$$C_B \gg \frac{1}{2\pi f R_B},$$

де f - частота підсилювального сигналу.

Резистор R_3 , який ввімкнено паралельно дуже великому вхідному опору підсилювача, повинен мати порівняне із ним значення опору.

Динамічний режим роботи польового транзистора забезпечується резистором у колі стоку R_C , з якого знімається змінний вихідний сигнал при наявності вхідного підсилюваного сигналу. Звичайно $R_C \ll R_3 \approx R_{BX}$. Тому, якщо навантаженням підсилювального каскаду на польовому транзисторі є вхідний опір аналогічного каскаду підсилення, то опори навантаження підсилювача постійної та змінної складових струму стоку приблизно рівні, тобто

$$R_{C\sim} \approx R_{C-} = \frac{R_C R_H}{R_C + R_H}.$$

При цьому припускається, що для ділянки середніх частот опори розподільвальних конденсаторів $C1$ і $C2$, призначення яких таке саме, як і в підсилювальному каскаді на біполярному транзисторі, незначні.

Коефіцієнт підсилення підсилювальних каскадів на польових транзисторах на ділянці середніх частот визначається виразом

$$K_U = -S R_{C\sim},$$

де S - статична крутість характеристики польового транзистора;

$R_{C\sim}$ визначається з попередньої формули.

Підсилювальний каскад із ЗВ змінює фазу підсилювального сигналу на 180° . Тому при дії на вхід підсилювача змінного вхідного сигналу $U_{вх} = U_m \sin \omega t$ напруга вихідного сигналу

$$U_{вх} = -S_p R_{C\sim} U_m \sin \omega t,$$

де S_p - крутість характеристики в робочій точці (I_{0c}, U_{0c}).

Підсилювачі на польових транзисторах, завдяки їх великому вхідному опору (декілька мегаом), широко застосовуються у ролі вхідних каскадів різних електронних пристроїв, датчик вхідного сигналу яких має великий внутрішній опір.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему за рис. 8.2, додавши в неї вольтметри для вимірювання вхідної та вихідної напруг і осцилограф для спостереження форми сигналу і зсуву фаз. Транзистор обирається у відповідності з варіантом лабораторної роботи № 5.

2. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ при холостому ході (R_H відсутній) і при $R_H = 10$ кОм. Характеристики знімаються без зворотного зв'язку (конденсатор C_B під'єднаний).

$U_{вх}, \text{ мВ}$									
$U_{вих}, \text{ В}$									

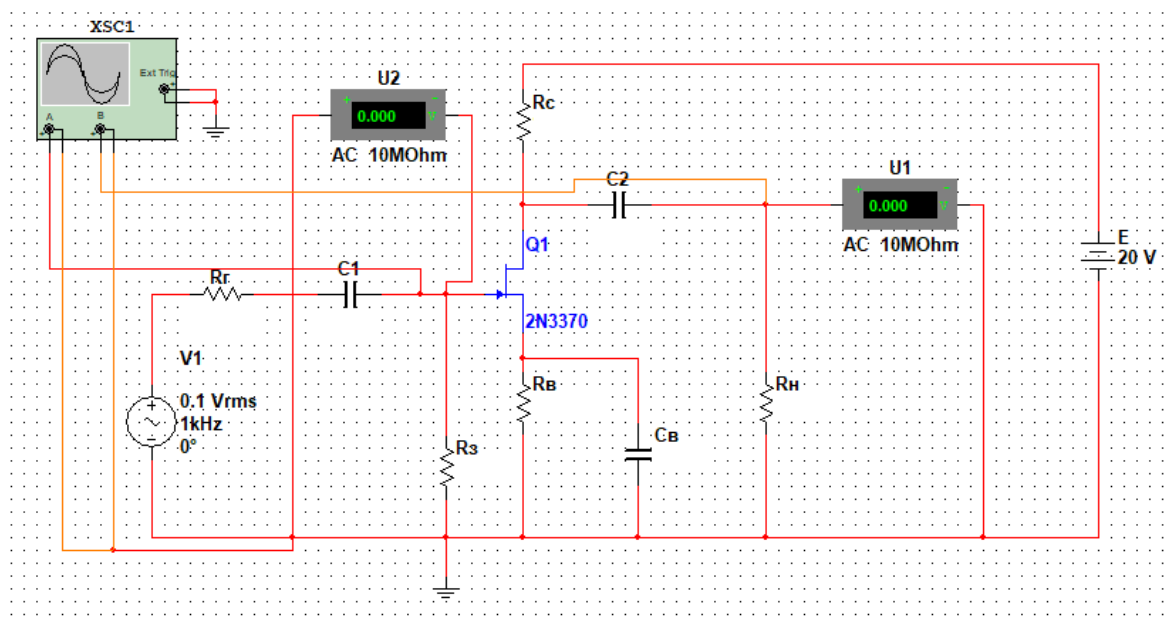


Рисунок 8.2 – Схема для вивчення роботи підсилювача на ПТ

3. Зняти частотні характеристики $K=\varphi(f)$ при підключеному навантаженні ($R_H=10\text{ кОм}$) для двох випадків:

- при відсутності зворотного зв'язку (конденсатор C_B відсутній);
- при наявності зворотного зв'язку (конденсатор C_B в схемі).

Характеристики знімаються шляхом вимірювання напруги $U_{\text{вих}}$ при $U_{\text{вх}}=0,1\text{ В}$, яка підтримується постійною, при зміні частоти від 1 Гц до 10 МГц.

f, Гц									
$U_{\text{вих}}, \text{В}$									
K									

Таблиця 8.1. Вибір транзистора для виконання роботи

Варіант	Модель польового транзистора	Варіант	Модель польового транзистора
1	2N3821	6	2N3956
2	2N3822	7	2N3957
3	2N3823	8	2N3958
4	2N3824	9	2N3966
5	2N3921	10	2N3967

Контрольні запитання

1. Схеми включення польових транзисторів.
2. Переваги і недоліки схеми з спільним затвором
3. Переваги і недоліки схеми з спільним витоком
4. Переваги і недоліки схеми з спільним стоком
5. Порядок розрахунку елементів підсилювального каскаду (на прикладі схеми з C_B)

Лабораторна робота 9

Дослідження режимів роботи однокаскадного підсилювача за схемою СК

Мета роботи: ознайомитись з підсилювальними якостями транзистора, ввімкнутого по схемі з спільним колектором, вивчити характеристики емітерного повторювача (схема зі спільним колектором).

Теоретичні відомості

При розробці багатокаскадних транзисторних схем одним з головних завдань є необхідність узгодження каскадів. Схеми потрібно погодити по рівнях входних і вихідних сигналів і за рівнем входних і вихідних опорів. Останнє означає, що наступні каскади не повинні шунтувати попередні.

Часто роль каскаду джерела, що погодить великий опір сигналу й малий опір навантаження виконує схема із спільним колектором або емітерний повторювач

Емітерний повторювач - це підсилюючий каскад, зібраний по схемі з загальним колектором. Схема емітерного повторювача показана на рисунку 9.1.

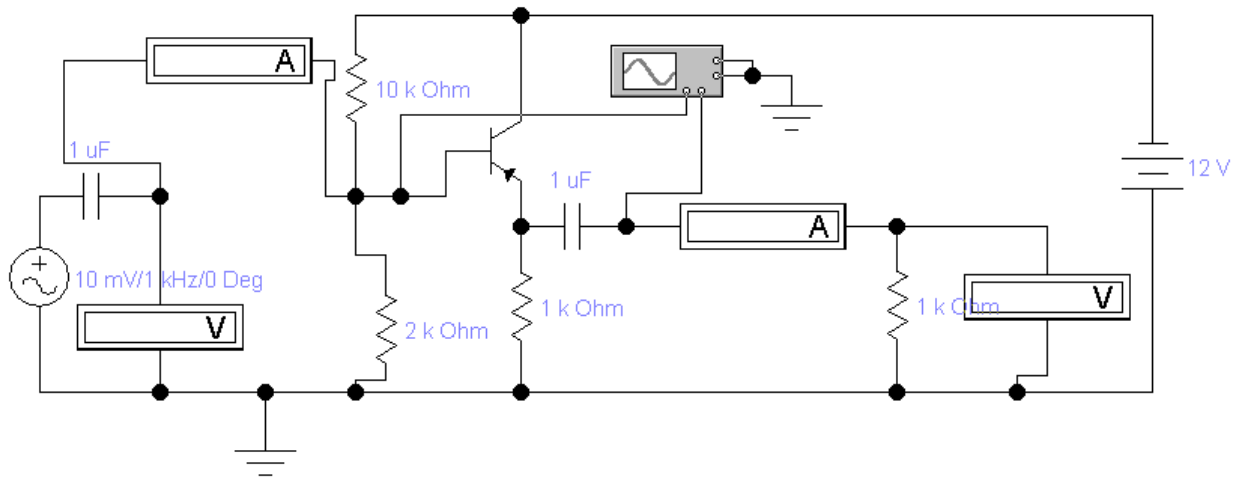


Рисунок 9.1 – Емітерний повторювач

Призначення основних елементів даної схеми аналогічне схемі СЕ. Різниця полягає у наступному. Резистор R_E задає робочу точку вихідного кола транзистора. Навантаженням транзистора за змінним струмом є паралельно ввімкнені опори R_H та R_E . Еквівалентний опір навантаження:

$$R_{ne} = \frac{R_n R_e}{R_n + R_e}$$

Очевидно, що входний опір у багато разів більший вихідного.

Вихідна напруга підсилювача

$$U_{вих} = U_{вх} - U_{бе}$$

Оскільки напруга $U_{бе}$ дуже мала, то можна вважати, що $U_{вих} = U_{вх}$. Таким чином, емітерний повторювач не підсилює напругу ($K_u=1$). Але схема забезпечує підсилення струму, бо

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

Таким чином, емітерний повторювач забезпечує підсилення струму і

потужності.

В схемі емітерного повторювача немає шунтуючого конденсатора C_e . Вся вихідна напруга виділяється на резисторі R_E . По відношенню до переходу база-емітер транзистора ця напруга включена послідовно та зустрічно з вхідною напругою.

Таким чином, в схемі немає стовідсоткового послідовного від'ємного зворотнього зв'язку за вихідною напругою. У зв'язку з цим емітерний повторювач має великий вхідний та малий вихідний опір. Вказані властивості емітерного повторювача визначають його застосування. Емітерний повторювач використовують як підсилювач струму, як елемент узгодження високоомного джерела вхідного сигналу з низькоомним навантаженням. У зв'язку з тим, що в емітерному повторювачі забезпечується глибокий від'ємний зворотній зв'язок, він відповідним чином впливає на параметри та характеристики підсилювача. Поліпшується амплітудно-частотна характеристика, смуга пропускання розширюється, зменшуються лінійні та нелінійні спотворення тощо, але коефіцієнт підсилення за напругою падає.

Розрахунок схеми емітерного повторювача проводиться таким чином. Перш за все вибирається напруга спокою U_{0e} , що дорівнює половині напруги живлення:

$$U_{0e} = \frac{E_n}{2}.$$

Задаючись струмом спокою $I_{0e} < \frac{I_{едп}}{2}$, для даного транзистора, розраховують опір R_e за формулою

$$R_e = \frac{U_{0e}}{I_{0e}}.$$

Знаючи струм емітера I_{0e} , можна визначити струм бази спокою:

$$I_{0b} = \frac{I_{0e}}{1 + \alpha}$$

Напруга зміщення база-емітер U_{0BE} визначається з вхідних характеристик транзистора для знайденого струму бази I_{0B} (за відсутності графіків вхідних характеристик можна вважати, що $U_{0BE} \approx 0,8V$). Задаючись струмом подільника $I_{дл} > I_{0B}$, визначаються опори резисторів зміщення для схеми подачі зміщення фіксованим струмом

$$R1 = \frac{E_k - U_{0e} - U_{0BE}}{I_{0B}}.$$

Виконання лабораторної роботи.

1. Розрахувати вхідний опір схеми із загальним колектором, використовуючи параметри елементів. Переконатися, що вхідний опір емітерного повторювача значно більший вихідного опору схеми із спільним емітером.

2. Розрахувати вихідний опір схеми із спільним колектором. Порівняти вихідні опори першого й другого каскадів. Зробити висновок.

3. Скласти схему для дослідження однокаскадного підсилювача за схемою СК (рис.9.1), обравши транзистори у відповідності з варіантом (див. ЛР 4).

4. Виконати розрахунок і встановити необхідні номінали пасивних елементів схеми.

5. Зніміть амплітудно-частотну характеристику підсилювача $K_{\Pi} = F(f)$ при $U_{вх}=10$ мВ. За одержаними даними побудуйте АЧХ з урахуванням масштабу.

6. Зніміть амплітудні характеристики підсилювача $U_{м.вих} = F(U_{м.вх})$, $I_{м.вих}=F(I_{м.вх})$ при $f=1$ кГц. За одержаними даними побудуйте амплітудну характеристику з урахуванням масштабу.

Методики проведення дослідів

Методика зняття амплітудно-частотних характеристик.

При знятті амплітудно-частотних характеристик підсилювальних пристроїв необхідно змінювати частоту вхідного сигналу при незмінній його амплітуді. Для цього встановлюємо необхідну амплітуду сигналу на вході і його частоту. Ввімкнувши схему, вимірюємо сигнал на вході і виході підсилювача з допомогою відповідних вольтметрів. Обчислюємо коефіцієнт підсилення $K_{\Pi} = \frac{U_{вих} I_{вих}}{U_{вх} I_{вх}}$ і записуємо його в таблицю А.

Повторюємо дані вимірювання для різних частот вхідного сигналу, заповнюючи таблицю.

Таблиця 9.1

f (Гц)	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$
K_{Π}							

Методика зняття амплітудних характеристик.

При знятті амплітудних характеристик підсилювальних пристроїв необхідно змінювати амплітуду вхідного сигналу при незмінній частоті. Вимірюємо сигнали на вході і виході з допомогою відповідних вольтметрів і записуємо покази в таблицю В. Повторюємо дані вимірювання для різних амплітуд вхідного сигналу, обчислюємо коефіцієнти підсилення, заповнюючи таблицю.

Таблиця 9.2

$U_{вх}$ (мкВ)							
$U_{вих}$ (В)							
K_{Π}							

Транзистор для виконання роботи обирається за варіантами з попередніх робіт. Необхідні додаткові характеристики знаходимо в довідниках і наводимо у звіті.

Варіант	Модель	Тип	$U_{k\text{ max}},$ В	$I_{K\text{ max}},$ А	h_{21E}	$f_{\text{max}},$ МГц	$P_{\text{max}},$ Вт
1	2n2905	p-n-p					
2	2n2219	n-p-n					
3	2n3251	p-n-p					
4	2n2923	n-p-n					
5	2n3494	p-n-p					
6	2n3390	n-p-n					

Контрольні запитання

1. В чому полягає принцип підсилення транзисторного підсилювача?
2. Призначення елементів схеми емітерного повторювача.
3. Пояснити за допомогою графіків, чому збільшення опору навантаження R_H призводить до зростання K ?
4. Чим пояснюється спад АЧХ на низьких та високих частотах?
5. Що таке власні шуми підсилювача?
6. Чому емітерний повторювач не підсилює напругу?

Лабораторна робота 10

Дослідження режимів роботи двокаскадного підсилювача

Мета роботи: вивчення основних принципів побудови багатокаскадних підсилювачів.

Теоретичні відомості.

При розробці багатокаскадних транзисторних схем одним з головних завдань є необхідність узгодження каскадів. Схеми потрібно погодити по рівнях вхідних і вихідних сигналів і за рівнем вхідних і вихідних опорів. Останнє означає, що наступні каскади не повинні шунтувати попередні.

Часто роль каскаду джерела, що погодить великий опір сигналу й малий опір навантаження виконує схема із спільним колектором або емітерний повторювач (рис. 10.1).

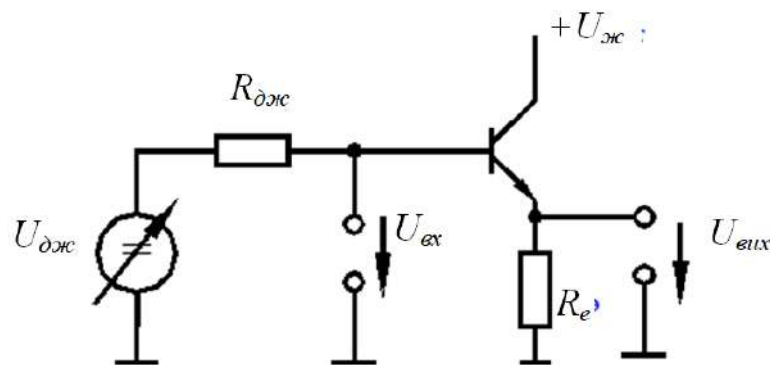


Рисунок 10.1 – Схема підсилювача СК

Виконання лабораторної роботи

1. Користуючись результатами розрахунків підсилювальних каскадів за схемами СЕ, СК (ЛР 7, 8), визначити номінали елементів схеми двокаскадного підсилювача (рис. 10.2).

2. Розрахувати вихідний опір схеми із спільним колектором. Порівняти вихідні опори першого й другого каскадів, а також вихідний опір першого каскаду та вхідний другого. Зробити висновок.

3. Скласти схему для дослідження двокаскадного підсилювача (рис.10.2), обравши транзистори у відповідності з варіантом (див. ЛР 4).

4. Виконати розрахунок і встановити необхідні номінали пасивних елементів схеми. Розрахунок проводиться аналогічно випадку однокаскадного підсилювача.

5. Зніміть амплітудно-частотну характеристику підсилювача $K_{\Pi} = F(f)$ при $U_{вх}=10$ мВ. За одержаними даними побудуйте АЧХ з урахуванням масштабу.

6. Зніміть амплітудну характеристику підсилювача $U_{m.вх} = F(U_{m.вих})$, при $f=1$ кГц. За одержаними даними побудуйте амплітудну характеристику з урахуванням масштабу.

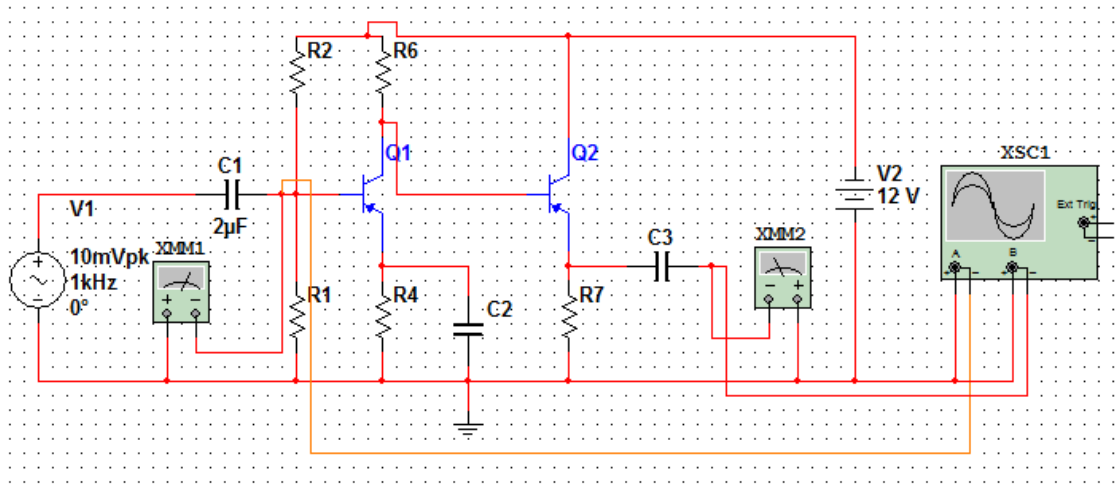


Рисунок 10.2 – Схема для вивчення двокаскадного підсилювача

Контрольні запитання

1. Призначення підсилювачів, їх параметри, характеристики та умовна позначка на функціональних схемах.
2. Зворотний зв'язок в підсилювачах та його види. Вплив зворотного зв'язку на параметри підсилювача.
3. Поняття стійкості підсилювачів.

Лабораторна робота 11

Дослідження RC-генератора гармонійних коливань

Мета роботи: Вивчення принципу роботи, будови і схем автоколивальних генераторів гармонійних коливань RC-типу.

Теоретичні відомості

Електронний генератор - це пристрій, у якому здійснюється перетворення енергії постійного струму в енергію змінного струму необхідної амплітуди, частоти, форми й потужності.

Залежно від частоти генерованих коливань розрізняють генератори:

- 1) Низькочастотні (НЧ), що виробляють коливання в діапазоні частот 20 Гц - 100 кГц.
- 2) Високочастотні (ВЧ) - у діапазоні частот 100 кГц - 100 МГц.
- 3) Надвисокочастотні (НВЧ) - у діапазоні частот 100 МГц - 10 ГГц і вище.

В області високих частот, як правило, застосовуються автогенератори LC-типу. У діапазоні низьких частот їхні технічні характеристики й показники істотно погіршуються внаслідок різкого зростання величин індуктивностей й ємностей коливальних контурів і відповідних їм розмірів котушок індуктивностей і конденсаторів. Поряд з автогенераторами LC - типу широко використовуються генератори *RC-типу*, у яких замість коливального контуру застосовуються вибірні *RC-фільтри* (або ланцюга). Генератори типу RC можуть генерувати досить стабільні синусоїдальні коливання в порівняно широкому діапазоні частот від часток герц до сотень кілогерц. Крім того, вони мають малі габарити й масу. Найбільше повно переваги генераторів типу RC проявляються в області низьких й інфранизьких частот.

Автогенератор буде працювати в стаціонарному режимі за умови:

$$K\beta = 1 \quad (1)$$

де K – коефіцієнт підсилення за напругою,
 β – коефіцієнт зворотнього зв'язку.

Представимо формулу (1) у такий спосіб:

$$Ke^{j\varphi_K} \beta e^{j\varphi_\beta} = K\beta e^{j(\varphi_K + \varphi_\beta)} = 1 \quad (2)$$

Тут K й β – модулі коефіцієнта підсилення властиво підсилювача (без ланцюга позитивної ОС) і коефіцієнта передачі ланцюга позитивної ОС; φ_K і φ_β – фазові зсуви, внесені відповідно підсилювачем і ланцюгом позитивної ОС на частоті ω .

У теорії автогенераторів вираз (2) прийнято представляти у вигляді двох рівностей:

$$K\beta = 1; \quad (3)$$

$$\varphi_K + \varphi_\beta = 2\pi n, \quad (4)$$

Співвідношення (3) визначає умову балансу амплітуд в автогенераторі. В стаціонарному режимі на частоті генерації коефіцієнт підсилення підсилювача зі зворотним зв'язком K_{OC} дорівнює одиниці, тобто для усталеної роботи

автогенератора необхідно, щоб надходження енергії в контур було б рівне енергії втрат за період коливань.

Рівність (4) характеризує умову балансу фаз. Воно показує, що в стаціонарному режимі сумарні фазові зрушення сигналу на частоті генерації, створювані підсилювачем і ланцюгом позитивної ОС, повинні бути рівні (або кратні) 2π , тобто підкачування енергії порціями через ланцюг зворотного зв'язку в контур повинна здійснюватися у фазі із власними коливаннями в контурі. У схемах автогенераторів гармонійних коливань, що працюють у стаціонарному режимі, співвідношення (3) і (4) виконуються на одній фіксованій частоті ω_0 , що є резонансною для коливальної системи.

Якщо ж $K\beta > 1$, то амплітуда вихідних коливань буде безупинно наростати, що є необхідною умовою самозбудження генератора.

Таким чином, умова самозбудження автогенератора має такий вигляд:

$$\varphi_K + \varphi_\beta = 2\pi n$$

$$K\beta = K_{OC} > 1$$

RC-автогенератори з RC-колом як ланцюгом позитивного зворотного зв'язку будуються на основі однокаскадних і багатокаскадних електронних підсилювачів. Вихід підсилювача має фазовий зсув $\dot{U}_{вих}$ відносно $\dot{U}_{вх}$, рівний 180° . Для одержання позитивного зворотного зв'язку фазозсуваючі ланцюги повинні забезпечувати на робочій частоті поворот фази вихідної напруги підсилювача щодо вхідного ще на 180° . Це завдання вирішується за допомогою декількох зворотних Г-подібних RC ланок. Зміна фази залежить від числа ланок n і дорівнює

$$\varphi = \frac{180^\circ}{n}$$

У зв'язку з тим, що одна RC ланка змінює фазу на кут $\varphi < 90^\circ$, мінімальне число ланок ланцюга $n = 3$. У практичних схемах генераторів звичайно використовують трехланкові кола.

На рис.11.1 зображені два варіанти таких ланцюжків, що одержали назву відповідно «R-паралель» й «C-паралель».

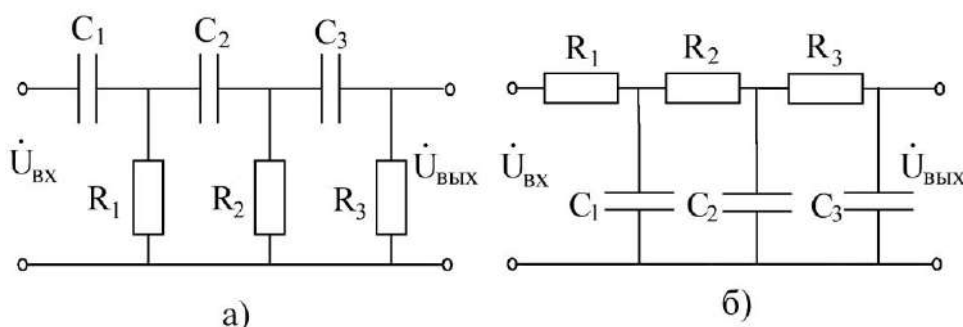


Рисунок 11.1 – Варіанти фазообертаючих кіл: а) R-паралель; б) C-паралель

З теорії відомо, що для триланкового RC-кола типу R-паралель квазірезонансна частота генерації визначається формулою:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} = \frac{0.065}{RC}.$$

У триланкового RC-кола типу (*C-паралель*) квазірезонансна частота буде визначатися співвідношенням:

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} = \frac{0.39}{RC}.$$

На рисунку 11.2 наведена одна з можливих схем автогенератора типу RC з фазообертальним ланцюгом на одному транзисторі.

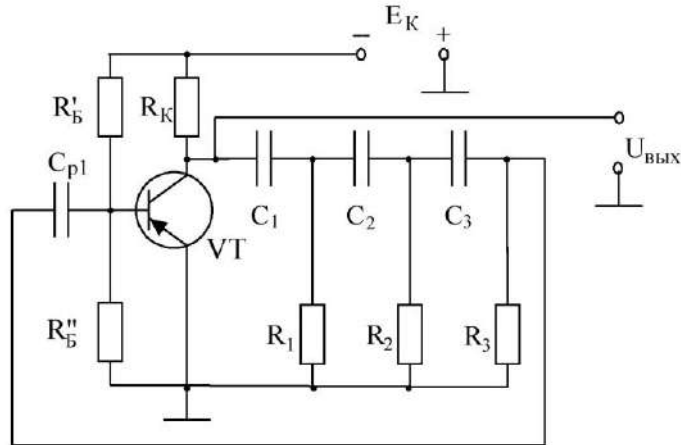


Рисунок 11.2 – Схема транзисторного RC-генератора

Резистори R'_B й R''_B включені як дільники напруги для створення необхідного режиму роботи транзистора по постійному струмі. Резистори R_1, R_2, R_3 і конденсатори C_1, C_2, C_3 утворять коло позитивного зворотного зв'язку. C_{p1} – розділовий конденсатор. У цьому генераторі, зібраному на одному транзисторі з спільним емітером, забезпечується умова балансу фаз для однієї частоти.

Однак дана схема має один великий недолік: ланцюжок зворотного зв'язку шунтує вхід підсилювача й знижує його посилення. А через малий вхідний опір транзистора не можна забезпечити умову самозбудження. Тому реальна схема автогенератора містить два підсилювальних каскади (рисунк 7.3). Каскад, виконаний на першому транзисторі, включений за схемою із спільним колектором, тобто працює як емітерний повторювач. Його призначення - погодити опір RC-ланцюга із вхідним опором підсилювача. Робота автогенератора починається в момент включення джерела живлення. Виникаючий при цьому імпульс колекторного струму містить широкий і безперервний спектр частот, що обов'язково включає в себе й необхідну частоту генерації. Завдяки виконанню умов самозбудження коливання цієї частоти стають незатухаючими, тоді як коливання всіх інших частот, для яких умова балансу фаз не виконується, швидко загасають.

Недоліком автогенераторів з фазообертальними ланцюгами є те, що зазвичай вони застосовуються для генерації синусоїдальних коливань фіксованої частоти. Це пов'язане із труднощами перебудови частоти автогенератора в широкому діапазоні частот.

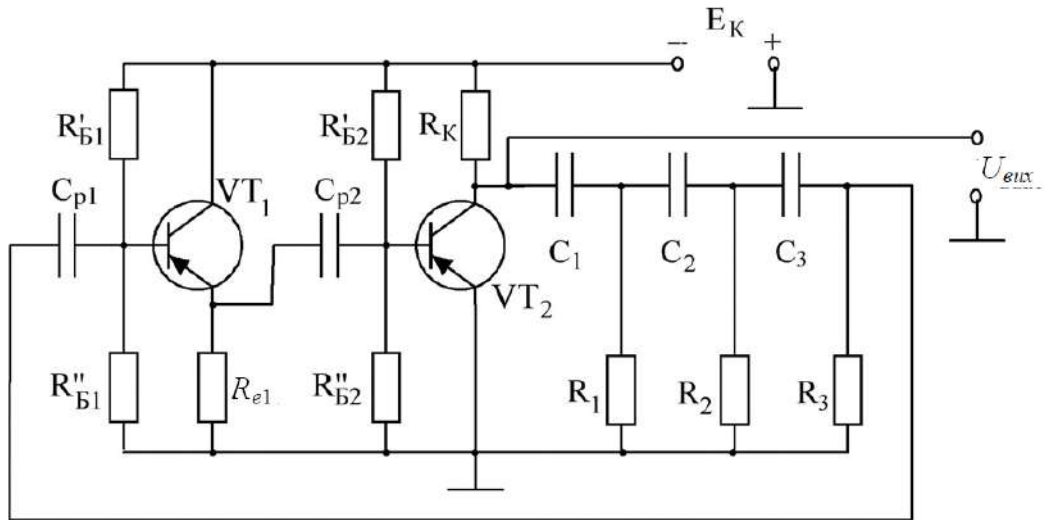


Рисунок 11.3 – Схема транзисторного RC-генератора на двох транзисторах

Виконання лабораторної роботи

1. Використовуючи одержані раніше розрахункові величини резисторів, що задають режими роботи підсилювача (ЛР 8,9), зібрати схему генератора.
2. Розрахувати параметри RC-ланцюга, необхідні для одержання частоти генератора, рівної $2N$ кГц, де N – порядковий номер за списком групи.
3. Приєднавши до виходу схеми осцилограф, одержати осцилограму вихідного сигналу. Переконатись у гармонічності коливань та визначити за осцилографом їх частоту.
4. Приєднати другий вхід осцилографа послідовно до точок з'єднання конденсаторів з резисторами та визначити зсув фаз напруги в цих точках і на виході.

Контрольні запитання

1. Спільні принципи роботи автогенераторів.
2. Будова і принцип роботи LC-генератора.
3. Тритушкові схеми LC-генераторів.
4. Будова і принцип роботи RC-генератора.

Лабораторна робота 12

Дослідження автоколивальних та ждучих мультивібраторів на біполярних транзисторах

Мета роботи: вивчення принципів, методів розрахунку і особливостей налаштування автоколивальних та чекаючих мультивібраторів, набуття навичок реалізації їх на дискретних елементах, навичок конструювання та дослідження їх в реальних умовах.

Теоретичні відомості

Автоколивальні мультивібратори. Автоколивальні генератори прямокутних імпульсів (мультивібратори) - це пристрої, здатні почергово знаходитися в двох тимчасово стійких (квазістійких) станах, в кожен із яких вони переходять автоматично за рахунок перехідних процесів, що відбуваються в схемі. Мультивібратори (МВ) можна реалізувати на дискретних елементах, логічних, інтегральних схемах та операційних підсилювачах.

Схеми на дискретних елементах широко використовують в цифровій апаратурі широкого призначення в складі стандартних комплексів інтегральних елементів.

МВ на ОП в більшості своїй знаходять призначення в вимірювальній апаратурі, спеціальних пристроях.

Мультивібратори на біполярних транзисторах. Типова схема симетричного автоколивального мультивібратора цього виду приведена на рис.12.1.

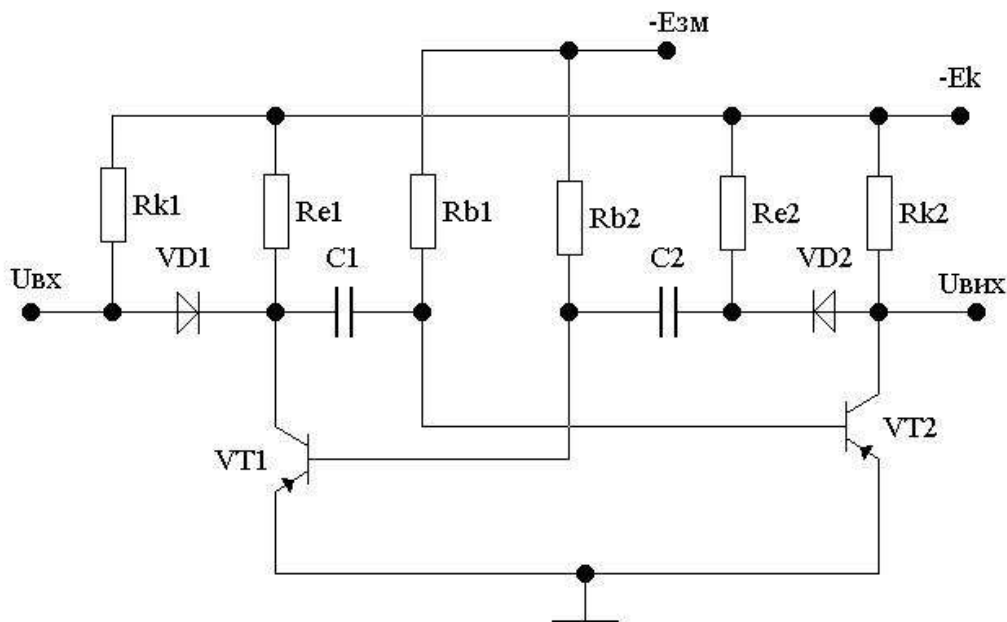


Рисунок 12.1 – Схема симетричного мультивібратора

Тривалість квазістійкого стану визначається часом перезаряду конденсатора, увімкненого через відкритий транзистор до входу закритого, від напруги E_k до нульової напруги. Цей момент визначає лавиноподібний перехід МВ у новий квазістійкий стан, коли відкритий та закритий транзистори

мінюють свої стани на протилежні і вступає в дію другий часозадаючий ланцюг, визначаючий тривалість другого квазістійкого стану. За цей час конденсатор першого часозадаючого ланцюга відновлює свій заряд.

При розрахунку автоколивального мультівібратора задаються:

- амплітуда вихідного імпульсу $U_{\max}$;
- період коливань T ;
- шпаруватість Q ;
- тривалість позитивного фронту t_{ϕ} .

Обчислення параметрів елементів ведуть в такій послідовності.

1. Визначають напругу джерела живлення E_K за заданою амплітудою вхідних імпульсів $U_{\max}$ при умові $E_K = (1,1 \dots 1,4) U_{\max}$.

2. Транзистор вибирають за колекторною напругою і струмом колектора та швидкістю:

- для забезпечення надійності роботи необхідна колекторна напруга і струм $U_{K\text{доп}} > 1.5 E_K ; I_{K\text{доп}} \geq 2 I_{KH}$;

- для забезпечення необхідної частоти роботи $f_0 \leq \frac{8}{t_{u\text{min}}}$.

3. Для виключення впливу навантаження на роботу схеми опори резисторів $R_{k1} = R_{k2} = R_K$ вибирають при умові $R_K \leq (0,1 \dots 0,2) R_H$. Якщо $R_H = \infty$ то максимальний опір резистора R_H вибирають при умові $I_{K\text{омак}} R_K \ll E_K$. Мінімальний опір резистора обмежено співвідношенням

$$R_{K\text{min}} \gg \frac{2E_K}{I_{K\text{доп}}},$$

4. Перевіряють амплітуду вихідного імпульса, яка дорівнює:

$$U = (E_K - I_{K\text{о min}} R_K) \frac{R_H}{R_K + R_H}.$$

Якщо вона менше заданої, збільшують E_K .

5. Значення базових опорів вибирають при умові забезпечення насичення ($\gamma = 1,5 \dots 2$) транзистора в квазістійкому стані

$$R_{\phi} \leq \frac{\beta_{\text{min}} R_K}{\gamma}.$$

6. Для симетричного мультівібратора значення ємностей $C1 = C2 = C$ визначають за формулою

$$C = \frac{T}{2R_{\phi} \ln \frac{2+\nu}{1+\nu}} \approx \frac{T}{2R_{\phi} \ln 2},$$

$$\nu = \frac{I_{K\text{о}} R_{\phi}}{E_K} \ll 1.$$

7. Для несиметричного МВ ємності конденсаторів $C1$ і $C2$ розраховують підставляючи замість часу $T/2$ відповідно тривалості імпульсів t_{i1}, t_{i2} :

$$C_{1(2)} = \frac{t_{i1(2)}}{R_{\phi} \ln \frac{2+\nu}{1+\nu}}.$$

8. Тривалість позитивного та негативного фронтів імпульсу відповідно дорівнюють

$$t_{\phi}^{+} \approx R_K (C_H + C_K);$$

$$t_{\phi}^{-} \approx 2R_K \cdot C$$

Регулювання тривалості вихідних імпульсів можна досягнути як зміною параметрів C і R_6 , так і вмиканням резисторів R_6 до регульованого джерела напруги — $E_{зм}$. Слід пам'ятати що при зміні параметрів R_6 і C тільки одного плеча МВ змінюється його частота та шпаруватість, а при зміні $E_{зм}$ змінюється тільки частота.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему ждучого мультивібратора, приведеного на рис.12.2, де $R_{k1}=30$ кОм, $R_{k2}=2,4$ кОм, $R_1=24$ кОм, $R_2=5,6$ кОм, $R_e=820$ Ом, $R_b=56$ кОм, $C_p=30$ пФ; $C=15$ нФ.

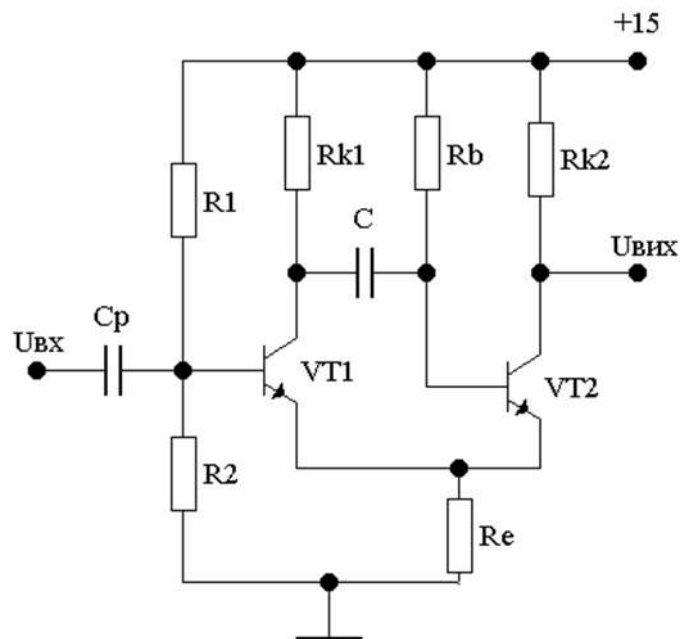


Рисунок 12.2 – Схема чекаючого мультивібратора

2. Приєднати на вхід схеми генератор синусоїдальних коливань, а на вихід – осцилограф. Встановити частоту коливань N кГц, де N – порядковий номер в списку групи. Дослідити вихідний сигнал з допомогою осцилографа, зробити висновок

3. Зібрати схему, приведену на рис. 12.3, розраховавши параметри схеми самостійно. Частота одержаних коливань повинна дорівнювати N кГц, де N – порядковий номер в списку.

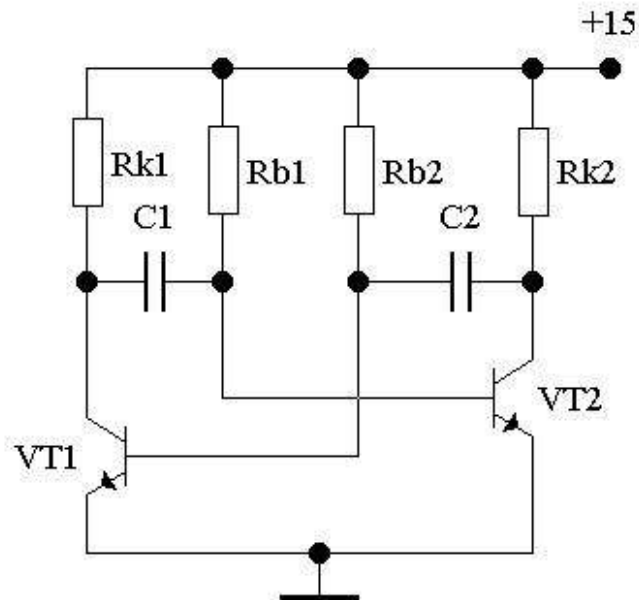


Рисунок 12.3 – Схема симетричного мультивібратора

4. Під'єднавши до виходу схеми осцилограф, зняти осцилограми. Визначити з них параметри імпульсів (амплітуду, частоту, період, тривалість імпульсу, паузу).

Контрольні запитання

1. Види та параметри імпульсних сигналів.
2. Будова та принцип дії мультивібраторів.
3. Як можна змінювати параметри сигналу мільтивібратора?

Лабораторна робота 13

Дослідження логічних елементів

Мета роботи: Закріпити знання про основні булеві функції. Сформувати практичні навички та початкові уміння побудови та аналізу комбінаційних схем пристроїв. Дослідити роботу інтегральних схем, які виконують основні логічні функції.

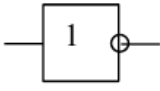
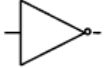
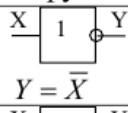
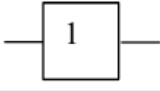
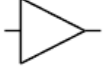
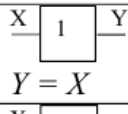
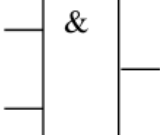
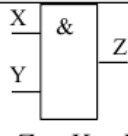
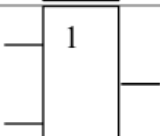
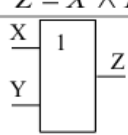
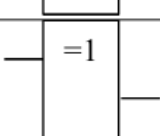
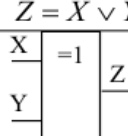
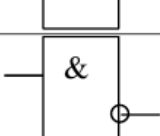
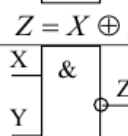
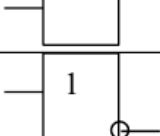
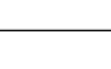
Теоретичні відомості

Теоретичною основою цифрової техніки є алгебра логіки. Основним предметом булевої алгебри є просте твердження, яке або істинне (позначають символом 1) або хибне (позначають символом 0).

Функція, яка має скінченне число значень називається перемикальною (логічною). Логічна функція, число можливих значень якої дорівнює двом, називається булевою.

Фундаментальними логічними схемами є логічні елементи, з яких складаються складні схеми і цифрові системи. Назви та позначення логічних елементів наведено в табл. 12.1.

Таблиця 13.1

Назва логічного елемента	Позначення		Логічна функція	Назва в розділі Standard Gates
	ГОСТ	ANSI		
НЕ (інвертор)			 $Y = \bar{X}$	Inverters
буферний елемент			 $Y = X$	Buffers
I			 $Z = X \wedge Y$	And Gates
АБО			 $Z = X \vee Y$	Or Gates
ВИКЛЮЧНЕ АБО			 $Z = X \oplus Y$	Xor Gates
I-НЕ			 $Z = \overline{X \wedge Y}$	Nand Gates
АБО-НЕ			 $Z = \overline{X \vee Y}$	Nor Gates

Для опису логічних елементів використовують таблиці істинності та часові діаграми. Таблиця істинності – це залежності вихідних сигналів логічної схеми від логічних рівнів її вхідних сигналів при різних їх наборах.

Дослідження і синтез логічних схем проводиться за допомогою логічного перетворювача (Logic Converter). На рис. 12.1 наведено приклад приєднання елемента І-НЕ до входів (А, В) і виходу (Out) логічного перетворювача.

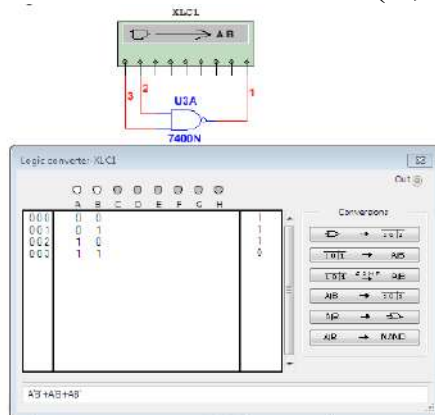


Рисунок 13.1 – Приєднання логічного елемента І-НЕ до логічного перетворювача.

За наявності двох входів можливі тільки чотири комбінації вхідних сигналів, що відображається у вигляді таблиці істинності, яка генерується після

натискання кнопки



Для отримання булевого виразу функціонування досліджуваного елемента чи схеми необхідно натиснути кнопку перетворення від таблиці істинності до булевого виразу



Одержаний вираз відображається у додатковому рядку виведення, розташованому в нижній частині вікна перетворювача. У логічному виразі використовуються наступні позначення: A' — інверсія А, B' - інверсія В, знак + відповідає логічній операції АБО.

У загальному випадку для синтезу схеми виконують наступні дії: відкрити логічний перетворювач; активізувати мишкою клеми-кнопки А, В...Н (починаючи з А), кількість яких дорівнює кількості входів пристрою, який синтезується; внести необхідні зміни у стовпець Вихід (OUT); натиснути у вікні перетворювача кнопки перетворень. Результат відображається у вигляді схеми в робочій області, а булевий вираз - у вікні логічного перетворювача.

Виконання роботи

1. Дослідити реальні логічні елементи І, АБО, НЕ, І-НЕ, АБО-НЕ за допомогою логічного перетворювача, побудувати таблиці істинності, логічні вирази.

2. Скласти схему згідно індивідуального варіанту завдання (табл.13.2) та побудувати часові діаграми вхідних і вихідних сигналів. Індивідуальний варіант завдання відповідає номеру студента у списку групи.

Таблиця 13.2

Варіант	Схема	Варіант	Схема	Варіант	Схема
1.		6.		11.	
2.		7.		12.	
3.		8.		13.	
4.		9.		14.	
5.		10.		15.	

Контрольні запитання

1. Дати означення логічних функцій.
2. Зобразити умовні позначення логічних елементів, таблиці істинності логічних функцій.
3. Визначити вихідний стан логічних елементів при заданих вхідних сигналах.
4. Які логічні елементи можна використати як інвертори?
5. Як здійснюється аналіз логічних схем?

Лабораторна робота 14

Дослідження найпростіших випрямлячів змінного струму

- Мета роботи:**
1. Вивчення принципу роботи різних типів випрямлячів.
 2. Аналіз процесів у схемі випрямного діодного моста.
 3. Виміряти середнього значення вихідної напруги (постійна складова) для різних схем випрямлячів.
 4. Вивчення впливу різних типів згладжуючих фільтрів на форму випрямленої напруги і на вихідні характеристики випрямляючих пристроїв.

Теоретичні відомості.

Однофазні випрямлячі.

1. Однопівперіодний випрямляч.

Схема і часові діаграми напруг і струмів однопівперіодного випрямляча приведені на рис.14.1 і 14.2.

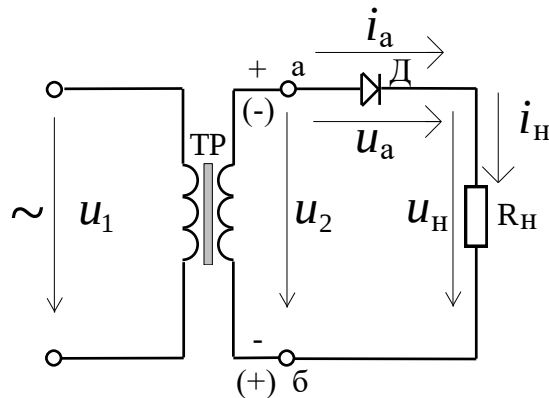


Рисунок 14.1 – Схема однопівперіодного випрямляча

Схема містить трансформатор ТР, в колі вторинної обмотки якого ввімкнено послідовно діод Д і опір навантаження R_H .

Якщо припустити що трансформатор ідеальний то, якщо напруга U_1 на первинній обмотці трансформатора змінюється за синусоїдним законом, то напруга на вторинній обмотці U_2 також буде синусоїдна.

Струм i_a через діод, а отже, і через резистор навантаження i_H з'являється в ті півперіоди, коли потенціал точки **a** вище за потенціал точки **б** вторинної обмотки трансформатора, оскільки в ці півперіоди діод Д відкритий. Коли потенціал точки **a** негативний відносно потенціалу точки **б**, діод закритий, струм в ланцюзі рівний нулю. Таким чином, струм в резисторі R_H з'являється тільки в одному з півперіодів напруги U_2 , а схема називається однопівперіодною. У випадку припущення ідеального діода – в позитивний півперіод напруги U_2 величина напруги на резисторі навантаження рівна величині U_2 , а на діоді нулю, і у від'ємний півперіод $U_H=0$, а величина $U_a = U_2$.

У цій схемі $U_{H.cp}=0,45U_2$, і тоді $I_{H.cp} = \frac{0,45U_2}{R_H}$.

Недоліки цієї схеми:

- мале середнє значення струму навантаження $I_{н.ср}$;
- велика зворотна напруга $U_{зв.макс} = U_{2m}$;
- високий рівень пульсацій (коефіцієнт пульсації $K=1,67$).

Ці недоліки усуваються в двопівперіодних схемах випрямлячів, в яких використовуються обидва періоди напруги мережі.

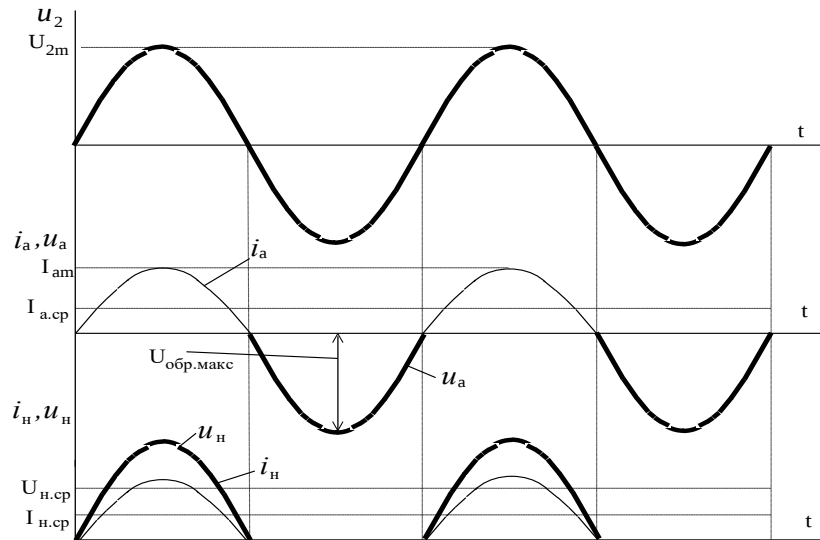


Рисунок 14.2 – Часові діаграми напруг і струмів однопівперіодного випрямляча

2. Двопівперіодний випрямляч з середньою точкою трансформатора.

Випрямляч з виводом середньої точки вторинної обмотки трансформатора є двопівперіодним випрямлячем, схема і часові діаграми якого приведені на рис 14.3 і 14.4.

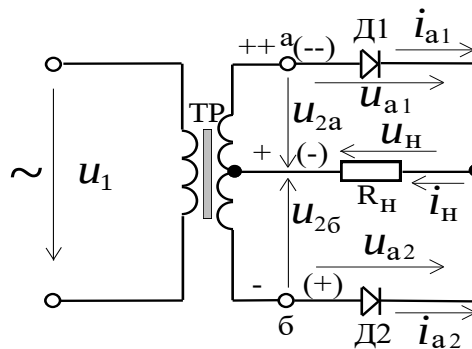


Рисунок 14.3 – Схема двопівперіодного випрямляча

Випрямляч складається з трансформатора з вторинною обмоткою має середню точку, двох діодів Д1 і Д2 і резистора навантаження R_n , ввімкненого між середньою точкою трансформатора і катодами двох діодів.

Схему можна розглядати як поєднання двох однопівперіодних випрямлячів ввімкнених на спільне навантаження.

Вважаємо, що напруги на кожній половині вторинної обмотки трансформатора рівні між собою $U_{2a} = U_{2б} = U_2$.

Протягом додатної половини періоду напруги U_{2a} точки **а** схеми має вищий потенціал (+), ніж середня точка (+-) і ще вищий потенціал, ніж точка **б**. При цьому діод Д1 відкритий, струм в резисторі навантаження $i_n = i_{a1}$, до діода Д2 прикладена напруга рівна U_{ab} .

У перебігу другої половини періоду напруги точка *a* має найнижчий потенціал (-), середня точка - вищий, а точка *b* найвищий потенціал (+), діод Д2 відкритий, струм в резисторі навантаження $i_n = i_{a2}$ і має такий самий напрям, що і в першому півперіоді.

У такій схемі величина $U_{н.ср} = 0,9U_2$, і струм навантаження визначається за формулою:

$$I_{н.ср} = \frac{0,9U_2}{R_H},$$

значить, $I_{н.ср}$ і $U_{н.ср}$ в два рази більші, ніж в однопівперіодному випрямлячі. Пульсації значно менші (коефіцієнт пульсації $K \approx 0,67$), проте зворотна напруга на закритих діодах удвічі більше $U_{зв.макс} = 2U_{2m}$

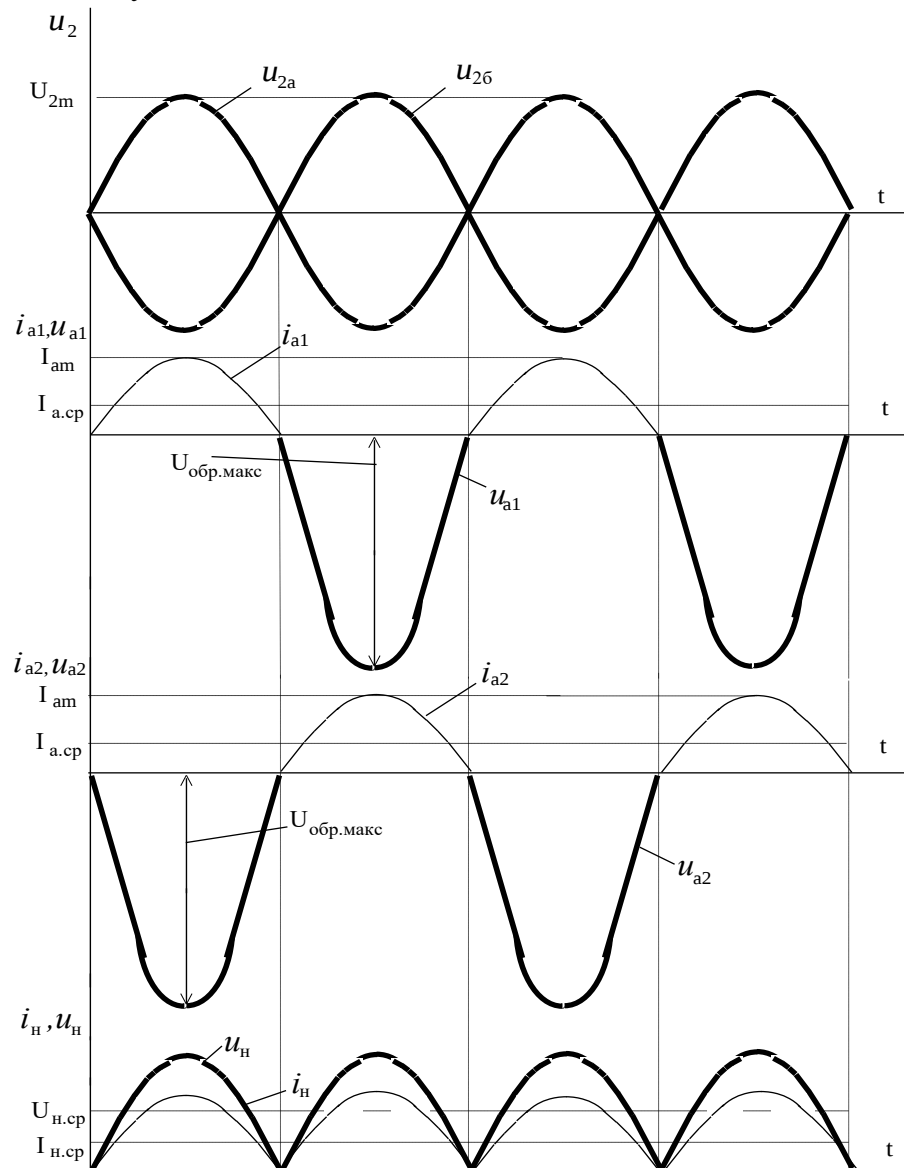


Рисунок 14.4 – Часові діаграми напруг і струмів двопівперіодного випрямляча

3. Мостова схема випрямляча

Найпоширенішою схемою є мостова схема двопівперіодного випрямляча (рис.14.5) відповідні часові діаграми якої приведені на рис.14.6.

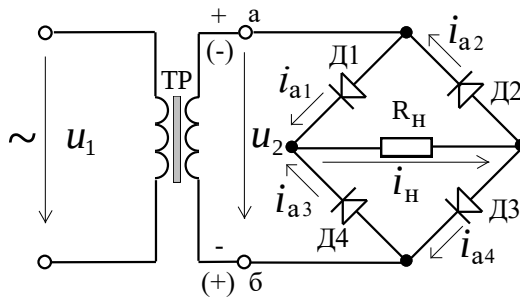


Рисунок 14.5 – Мостова схема випрямляча

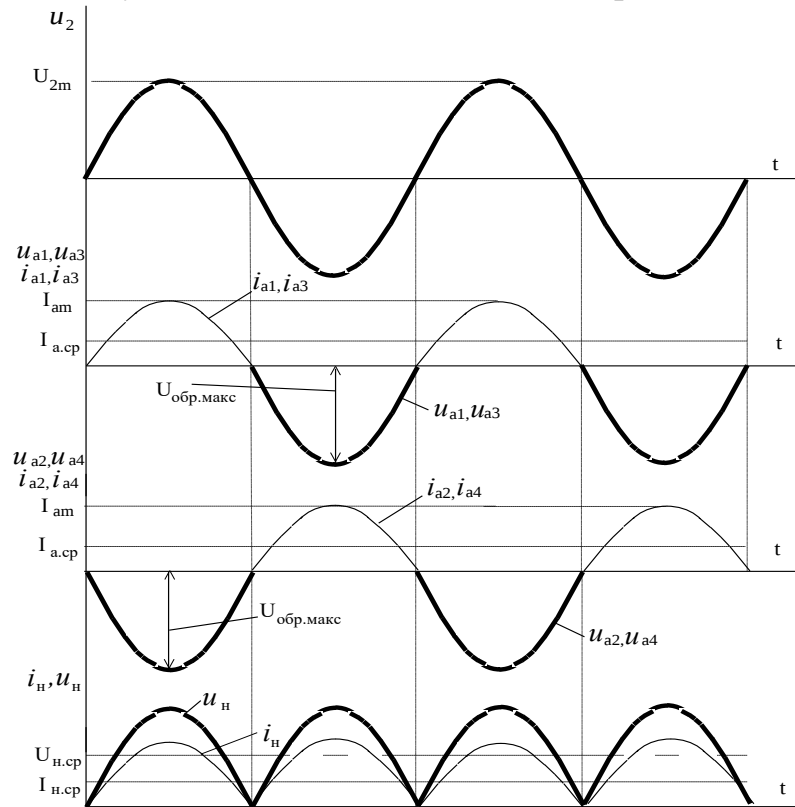


Рисунок 14.6 – Часові діаграми напруг і струмів мостового випрямляча

У цій схемі діоди Д1-Д4 включені по мостовій схемі, до однієї діагоналі якої підведена змінна напруга U_2 , а до іншої підключений резистор навантаження R_H .

Протягом першої половини періоду напруги U_2 , коли потенціал точки **a** додатний, а точки **б** - від'ємний, діоди Д1, Д3 відкриті, а Д2, Д4 - замкнуті, струм i_H тече через діод Д1, резистор навантаження R_H і діод Д3. До діодів Д2, Д4 прикладено напругу вторинної обмотки трансформатора U_2 . У інший півперіод напруги U_2 потенціал точки **a** нижче за потенціал точки **б** і діоди Д2, Д4 відкриті, а Д1, Д3 закриті, при цьому струм i_H тече через діод Д2, резистор навантаження R_H і діод Д4 в тому ж напрямі, що і в перший півперіод напруги.

При цьому середній струм $I_{H.c.p}$ і середня напруга $U_{H.c.p}$ на навантаженні в два рази перевищують струм і напругу однопівперіодного випрямляча, а пульсації такі ж як у випрямлячі з середньою точкою.

Зворотна напруга на діодах в закритому стані рівна відповідно $U_{зв.макс} = U_{2m}$.

Величина $U_{H.c.p} = 0,9U_2$ і струм навантаження визначається формулою:

$$I_{н.ср} = \frac{0,9U}{R_H}.$$

4. Згладжуючі фільтри

Випрямлена напруга має пульсуючий характер і її не можна безпосередньо використовувати для живлення електронних пристроїв. Тому для зменшення ступеня пульсації на виході випрямляча застосовують згладжуючі фільтри.

Фільтри складаються з конденсаторів і котушок індуктивності. Основні види фільтрів: ємнісний, індуктивний і змішаний.

Фільтр ємнісний (рис.14.7, а) вмикається паралельно до резистора навантаження і шунтує його для складової струму. При цьому конденсатор C_ϕ спочатку заряджається під дією випрямленої напруги U_B , а потім розряджається через резистор R_H . Якщо постійна часу розряду конденсатора $\tau = C_\phi R_H$ значно перевищує період напруги U_2 , то напруга при розряді зменшується неістотно (рис.14.7,б), що приводить до значного збільшення середнього значення напруги на резисторі навантаження $U_{н.ср}$ і до зниження ступеня пульсації випрямленої напруги.

Фільтр ємнісний використовується для слабких струмів і невеликої потужності, тобто при високоомному навантаженні.

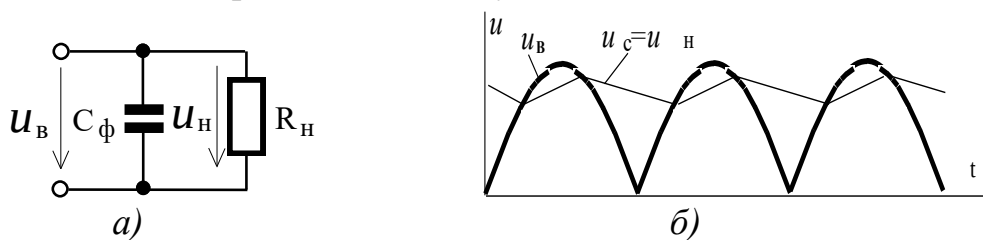


Рисунок 14.7 – Ємнісний фільтр

Для випрямлячів великої і середньої потужності застосовуються індуктивні фільтри які вмикаються послідовно з резисторами навантажень (рис.14.8, а).

В результаті змінна складова струму через навантаження значно зменшується і знижує ступінь пульсації випрямленої напруги (рис.14.8, б).

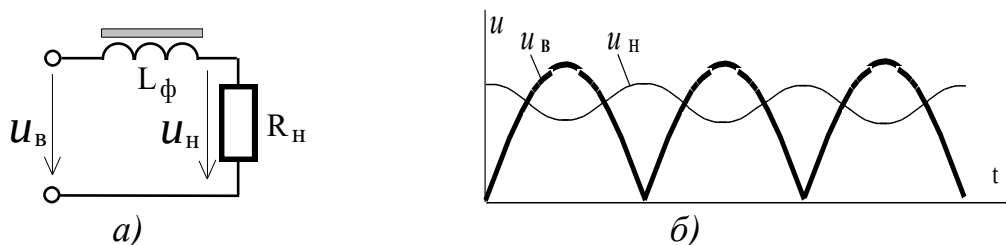


Рисунок 14.8 – Індуктивний фільтр

Частіше використовуються змішані фільтри: Г-подібний LC-фільтр (рис.14.9) або П-подібний CLC-фільтр (рис.14.10). Вони забезпечують вищий ступінь згладжування випрямленої напруги.

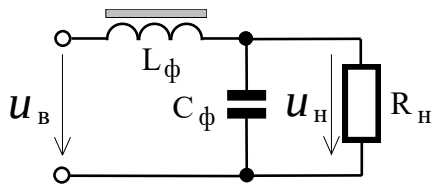


Рисунок 14.9 – Г-подібний LC-фільтр

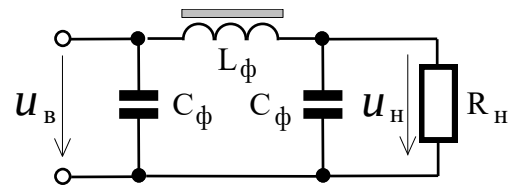


Рисунок 14.10 – П-подібний CLC-фільтр

Виконання лабораторної роботи

- Використовуючи як навантаження опір R , зніміть і порівняйте осцилограми вхідної та вихідної напруг для $R=100\ \Omega$:
 - для однопівперіодного випрямляча без фільтру;
 - для випрямляча з С-фільтром (фрагмент схеми представлений на рис.14.7а);
 - для випрямляча з CLC-фільтром (фрагмент схеми представлений на рис.14.10).

Схема досліду зображена на рис.14.11.

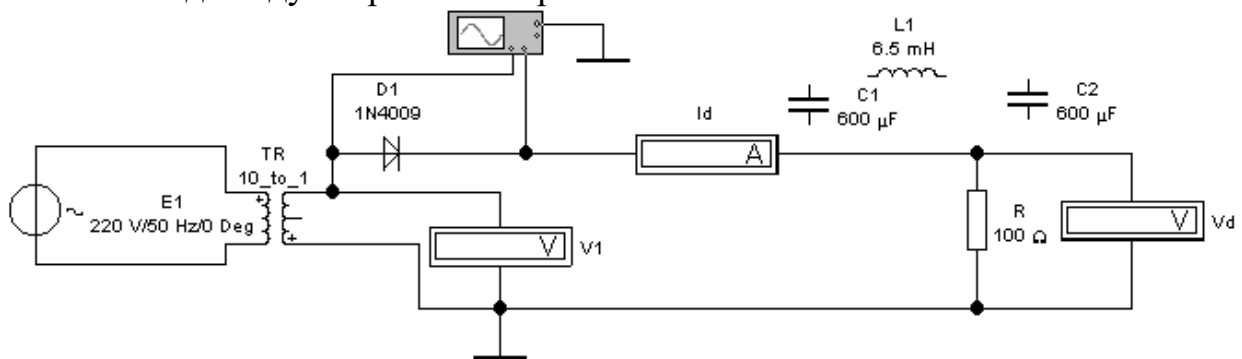


Рисунок 14.11 – Схема для вивчення роботи однопівперіодного випрямляча

- Використовуючи як навантаження опір R , зніміть і порівняйте осцилограми вхідної та вихідної напруг для $R=100\ \Omega$:
 - для мостової схеми випрямляча без фільтру;
 - для того ж випрямляча з С-фільтром;
 - для випрямляча з CLC-фільтром.

Схема дослідження мостового випрямляча зображена на рис.14.12.

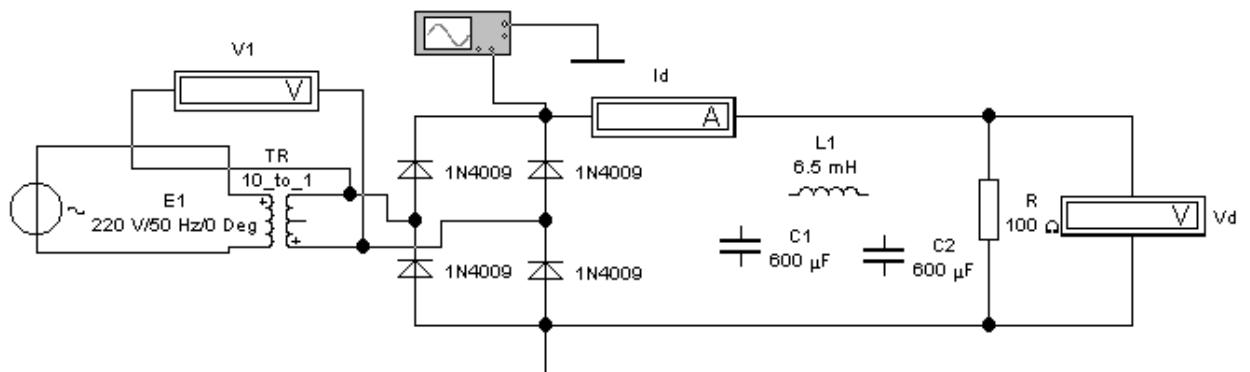


Рисунок 14.12 – Схема для вивчення роботи мостового випрямляча

- Зробіть висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення і склад випрямляча.
2. Назвіть схеми випрямлення, що досліджуються у даній роботі, і поясніть принцип дії кожної з них.
3. Вкажіть призначення, основні параметри й види згладжуючих фільтрів.
4. Вкажіть призначення стабілізаторів напруги і поясніть принцип роботи параметричного і компенсаційного стабілізаторів.

Список літератури

1. Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є., Чернівчан В.Я., Мусихіна Н.П. Основи електроніки з елементами мікроелектроніки: Навчальний посібник. – 2-ге вид., стереотип. – Львів: "Магнолія плюс", видавець СПД ФО В.М. Піча, 2006. – 225с.
2. О.М. Кобяков, М.М. Ляпа, В.М. Лисенко, В.І. Грабчак, В.В. Гриненко: Аналогова схемотехніка Навчальний посібник. – Суми. Видавництво Сум.ДУ, 2007. – 209 с.
3. Квітка С.О., Яковлев В.Ф., Нікітіна О.В. Електроніка та мікросхемотехніка.- Суми: Сумський національний аграрний університет, 2012.
4. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник/ за ред. А. Г. Соскова.- К.: Каравела, 2006.- 384 с.
5. Мікропроцесорна техніка: конспект лекцій /уклад.Ю. П. Колонтаєвський, – Харків: ХНАМГ, 2009. – 83 с.
6. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підручник / В. І. Мілих, О. О. Шавьолкін; за ред. В. І. Мілих. – К.: Каравела, 2007. – 688 с.
7. Байраченко І.В. Радіотехнічні кола та сигнали. Київ, ВПЦ "Київський університет", 1992.
8. Левитський С.М. Напівпровідникові прилади. Київ, ВПЦ "Київський університет", 2000 р. – С.108.
9. Левитський С.М. Транзисторні підсилювачі електричних сигналів. Київ, ВПЦ "Київський університет", 2003 р. – С.117.

Кравченко Володимир Олексійович
Шелехов Ігор Володимирович

Електроніка та мікросхемотехніка

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: _____ 2025 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. _____
