

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний технологічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для проведення лабораторних робіт
з навчальної дисципліни

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА
РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

(для студентів спеціальностей 6.05090204 «Біотехнічні та медичні апарати і системи», 6.05090303 «Технології та засоби телекомунікацій»)

Житомир – 2012

Затверджено на засіданні кафедри радіотехніка та телекомунікації
Житомирського державного технологічного університету (протокол №
від 2012 року).

Методичні рекомендації для проведення лабораторних робіт з
навчальної дисципліни "Елементна база РЕА". – Житомир: ЖДТУ,
2012. – 49 с.

Методичні рекомендації розробили: доц. Р. О. Коломієць, ст. викл.
Ж. М. Хоменко.

Відповідальний редактор: д.т.н., проф. В.П. Манойлов.

ПРАВИЛА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

1. Перед початком першого заняття студенти зобов'язані ознайомитись з правилами техніки безпеки для даної лабораторії і розписатися у відповідному журналі.

2. Для ведення протоколів і оформлення звітів по лабораторних роботах кожен студент повинен мати особистий робочий зошит (достатньо звичайного шкільного зошита). Оформлення звіту можна проводити з використанням комп'ютера або писати від руки.

3. Напередодні дня виконання лабораторної роботи студент повинен:

- ознайомитися з метою і змістом роботи;
- заготовити в робочому зошиті або з використанням комп'ютера бланк протоколу з необхідними таблицями відповідно до вимог, викладених в описі кожної роботи;
- виконати домашнє завдання;
- підготуватися до відповідей на контрольні питання, перелік яких приведено в кінці кожної роботи.

Виконане домашнє завдання і успішні відповіді на питання є необхідною умовою допуску студента до роботи.

4. Виконувати лабораторну роботу потрібно в порядку, викладеному в даних методичних вказівках. Розрахунки і отримані експериментальні результати по кожному пункту кожен студент фіксує у власному бланку протоколу і пред'являє викладачеві для перевірки. Виконання роботи затверджується в протоколі кожного студента підписом викладача і датою. Протоколи на окремих листах до розгляду не приймаються.

5. За результатами виконання всіх пунктів роботи потрібно оформити і захистити звіт, прикривши до нього протокол. Захист звіту затверджується підписом викладача і супроводжується виставлянням оцінки.

6. Перед виходом з лабораторії студент повинен привести робоче місце в порядок: **вимкнути прилади, прибрати сполучні дроти**, поставити на місце стільці, **здати методички викладачу!**

Лабораторна робота №1 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Мета роботи: ознайомитися з основними вимірювальними приладами, які будуть в подальшому використовуватися в лабораторних роботах.

Обладнання: мультиметри, генератор синусоїдальних сигналів, джерело постійної напруги, електронно-променевий осцилограф, резистори.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Мультиметр

Ознайомитися з мультиметром (рис. 1.1). Визначити, які фізичні величини, в яких межах та з якою точністю можливо вимірювати за його допомогою.



Рис. 1.1 – Цифрові мультиметри

Виміряти за допомогою мультиметра опори виданих викладачем резисторів, записати їх до протоколу виконання лабораторної роботи. Звірити виміряні значення з тими, які написані на резисторах, зробити відповідні висновки.

Поміряти напругу в електричній мережі, записати результат.

2. Джерело постійної напруги

Ознайомитися з джерелом постійної напруги ВИП-009 (рис. 1.2). Визначити елементи керування та межі напруг, які можливо отримати за їх допомогою.

За допомогою ручок «Грубо» і «Плавно» виставити на лівій частині джерела по черзі напруги 2 В, 4 В, 7 В, 9 В і 13 В. Контролювати напругу за допомогою мультиметру. Записати положення стрілки на індикаторі джерела живлення. Зробити відповідні висновки.



Рис. 1.2 – Кероване джерело постійної напруги ВИП-009

3. Генератор синусоїдальних сигналів

Ознайомитися з генератором синусоїдальних сигналів ГЗ-35 (рис. 1.3). Визначити елементи керування, а також діапазон його вихідних частот і напруг.

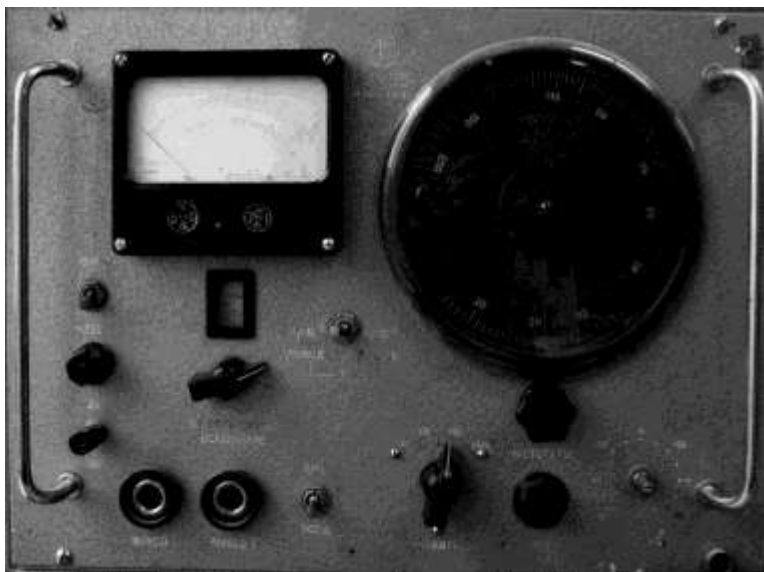


Рис. 1.3 – Генератор синусоїдальних сигналів

4. Електроно-променевий осцилограф

Ознайомитись з призначенням приладу (рис. 1.4). Визначити основні елементи керування та їх функції.

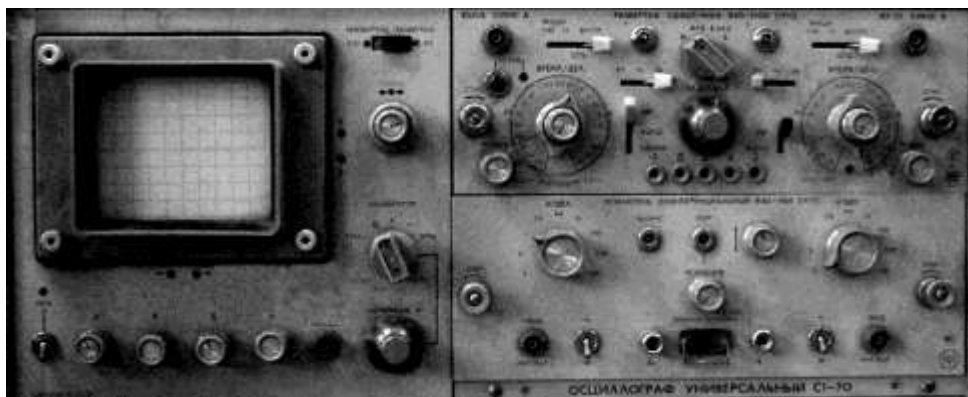


Рис. 1.4 – Електронно-променевий осцилограф С1-70

За допомогою генератора синусодільних коливань ГЗ-35 виставити частоти сигналів 150, 480, 2700, 34000 і 162000 Гц. Спостерігати на екрані осцилографа їх осцилограми, обов'язково відзначити В/діл та с/діл. Зняти осцилограми (сфотографувавши їх або замалювавши). Перевірити, чи виконується співвідношення між періодом сигналу на екрані осцилографа та частотою на індикаторі

генератора $f = \frac{1}{T}$. Також подивитися прямокутний сигнал від вбудованого генератора в мультиметру DT700D, визначити його період, частоту і амплітуду.

Зміст звіту

1. Назва, мета роботи і обладнання, яке використовувалося в роботі.
2. Ескіз або знімок мультиметру, на якому повинні бути показані:
 - екран;
 - спільна клема («земля»);
 - клема для вимірювання опору, постійної/змінної напруги, постійного струму;
 - клема для вимірювання постійного струму до 10А;
 - перемикач режимів вимірювання;
 - режими вимірювання постійної напруги;

- режими вимірювання змінної напруги;
 - режими вимірювання опору;
 - режими вимірювання постійного струму;
 - режим перевірки p - n -переходів;
 - режим генератора прямокутного сигналу (лише для DT700D).
3. Результати вимірювань опорів резисторів у вигляді таблиці з двома колонками: ліворуч – те, що написано на резисторах, праворуч – відповідні покази мультиметра.
4. Результати вимірювання напруги в електромережі.
5. Ескіз або знімок джерела постійної напруги ВІП-009, на якому повинні бути показані:
- тумблер включення/вимкнення;
 - ліве джерело напруги;
 - праве джерело напруги;
 - перемикач вкл./вимк. для правого джерела;
 - вихідні клеми відповідно для правого і лівого джерел;
 - індикатори вихідної напруги;
 - регулятори величини вихідної напруги.
6. Результати вимірювань за допомогою мультиметру постійної напруги від джерела живлення у вигляді таблиці: ліворуч – напруги, задані викладачем; праворуч – точне положення стрілки на індикаторі джерела живлення.
7. Ескіз або знімок генератора синусоїдальних сигналів ГЗ-35, на якому показані:
- тумблер включення/вимкнення;
 - індикатор вихідної напруги;
 - перемикач діапазонів вихідної напруги;
 - індикатор частоти;
 - регулятори частоти;
 - регулятор амплітуди;
 - виходи.
8. Ескіз або знімок електронно-променевого осцилографа С1-70, на якому показані:
- тумблер включення/вимкнення;

- регулятори якості зображення;
- вхід;
- регулятор масштабу часу;
- регулятор масштабу амплітуди;
- регулятор зміщення сигналу по горизонталі;
- регулятор зміщення сигналу по вертикалі;

9. Осцилограми сигналів від генератора ГЗ-35 з частотами, заданими викладачем. Навпроти кожної осцилограми потрібно відзначити масштаби часу і амплітуди, а також розрахунок частоти і порівняння її із заданим значенням.

10. Осцилограма прямокутного сигналу від вбудованого генератора мультиметру DT700D, розрахунок його частоти.

11. Висновки.

Орієнтовні теми питань на захисті

Призначення вимірювальних приладів. Техніка безпеки при роботі з вимірювальними приладами. Діапазон вимірюваних величин. Точність вимірювальних приладів. Абсолютна і відносна похибка вимірювань.

Лабораторна робота №2

ПАСИВНІ ФІЛЬТРИ

Мета роботи: дослідити пасивні фільтри низьких частот і високих частот, побудувати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) фільтра.

Обладнання: набірне поле “Електроніка”, генератор синусоїдальної напруги; осцилограф.

Короткі теоретичні відомості

Електронний фільтр — це пристрій для виділення бажаних компонент частотного спектру електричного сигналу та/або придушення небажаних. Фільтри поділяють на активні та пасивні. Активні фільтри часто мають досить складну будову, для своєї роботи вимагають окремого джерела живлення і можуть одночасно з фільтрацією підсилювати сигнал. Пасивні фільтри навпаки, складаються з кількох (як правило, не більше п'яти) елементів, сигнал підсилювати не можуть і завжди працюють без додаткового джерела живлення.

Розрізняють RC- та LC-фільтри. Принципової різниці в їх роботі немає. Взагалі роботу пасивного фільтра зручно ілюструвати за допомогою закону Ома і формул реактивного опору:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}, \quad X_L = j\omega L,$$

де $\omega = 2\pi f$ — колова частота електричних коливань.

Основною характеристикою електричного фільтра є його амплітудно-частотна характеристика (АЧХ). Вона показує залежність амплітуди коливань від їх частоти. Оскільки діапазон частот, в якому працює фільтр, є доволі великим, поширена практика побудови АЧХ в так званому логарифмічному масштабі частоти. Цей прийом полягає в тому, що по осі абсцис (незалежна змінна) відкладаються відрізки, які відповідають десятковому логарифму частоти ($\lg f$), але підписуються дані числа як звичайна частота (!!!) — рисунок 2.1.

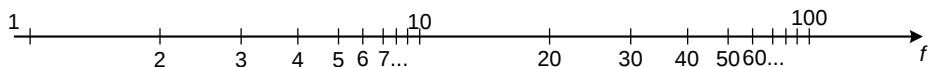


Рисунок 2.1

Таким чином кожна велика поділлка даної шкали відповідає збільшенню частоти в 10 разів і за рахунок цього стає можливим на одній сторінці сторінці зображувати графік АЧХ в діапазоні до десятків і сотень ГГц.

По осі ординат (залежна змінна) числа можуть відкладатися або у звичайному масштабі, або у децибелах – відносних одиницях вимірювання рівнів. Значення рівня в децибелах обчислюється за формулою

$$\text{Точка АЧХ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} \quad (2.1)$$

Значення рівнів у децибелах можуть бути як додатними, так і від’ємними. Додатні рівні свідчать про перевищення вихідної напруги над вхідною, від’ємні – навпаки. Вся АЧХ пасивного фільтра лежить в області від’ємних рівнів і тільки у RC-фільтрів може бути невелика ділянка АЧХ з додатними рівнями за рахунок накопиченого заряду в конденсаторі.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з лабораторним макетом, отримати від викладача номер фільтра, який потрібно дослідити. Схеми пасивних фільтрів представлені на рисунку 2.2.
2. Зафіксувавши амплітуду напруги на виході генератора синусоїдального сигналу, за допомогою осцилографа зняти амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) заданого фільтра в діапазоні частот 20 Гц...200 кГц з кроком по 5 вимірювань на кожен діапазон частот генератора.

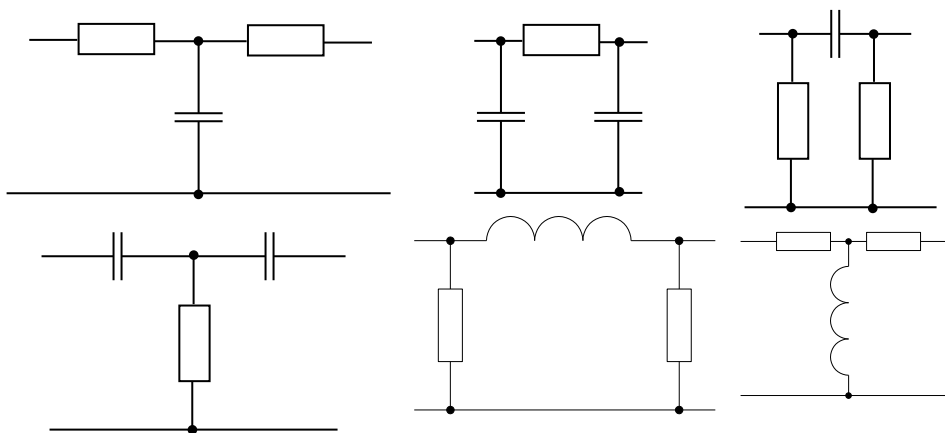


Рисунок 2.2

Зміст звіту

1. Назва роботи, мета, обладнання, варіант.
2. Електрична принципова схема піддослідного фільтра.
3. Таблиця значень АЧХ фільтра: у вольтах (те, що було виміряне) та в децибелах (порахувати за формулою (2.1)).
4. Графіки АЧХ фільтра: у вольтах і в децибелах.
5. Розрахунок сталої часу фільтра по відомим значенням R і C або індуктивності котушки по графікам АЧХ (через визначення сталої часу).
6. Висновки (зокрема про те, який зв'язок сталої часу фільтра з графіком його АЧХ).

Орієнтовні теми питань на захисті

Визначення, класифікація, характеристики і області застосування електричних фільтрів. Особливості пасивних фільтрів. Резистори. Конденсатори. Котушки індуктивності.

Лабораторна робота №3

ТРАНСФОРМАТОРИ

Мета роботи: ознайомитися з принципом дії, характеристиками та конструкцією трансформатора; дослідити трансформатори на сталевому та феритовому осердях.

Обладнання: трансформатори на залізному та феритовому осердях, мультиметр, генератор синусоїдального сигналу, осцилограф.

Короткі теоретичні відомості

Трансформатор — пристрій, що використовується для перетворення електричної енергії одного рівня напруги в електричну енергію іншого рівня напруги.

Трансформатор (від лат. Transformo - перетворювати) - статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більше індуктивно зв'язані обмотки і призначений для перетворення за допомогою електромагнітної індукції однієї або кількох систем (напруг) змінного струму в одну або декілька інших систем (напруг) змінного струму без зміни частоти системи (напруги) змінного струму (ГОСТ 16110-82).

Трансформатори широко застосовуються в лініях електропередач, в розподільних та побутових пристроях. Передача електроенергії відбувається з меншими втратами при високій напрузі й малій силі струму. Тому зазвичай лінії електропередач високовольтні. Водночас побутові й промислові машини вимагають високої сили струму й малої напруги, тому перед споживанням електроенергії перетворюється в низьковольтну.

Трансформатори характеризуються дуже високим коефіцієнтом корисної дії.

Найпростіший трансформатор складається з обмоток на спільному осерді (рис. 3.1). Одна з обмоток під'єднана до джерела змінного струму. Ця обмотка називається первинною. Інша обмотка, вторинна, служить джерелом струму для навантаження. Створений струмом у первинній обмотці змінний магнітний потік викликає появу електрорушійної сили (е.р.с.) у вторинній обмотці, оскільки обидві обмотки мають спільне осердя. Співвідношення е.р.с. у вторинній

обмотці й напруги на первинній залежить від кількості витків у обох обмотках. В ідеальному випадку

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S},$$

де індексом P позначені величини, що стосуються первинної обмотки, а індексом S — відповідні величини для вторинної обмотки, U — напруга, N — кількість витків, I — сила струму.

Таким чином, перетворення напруги й сили струму в трансформаторів визначається кількістю витків у первинній та вторинній обмотках. Напруга пропорційна кількості витків, тоді як сила струму обернено пропорційна їй.

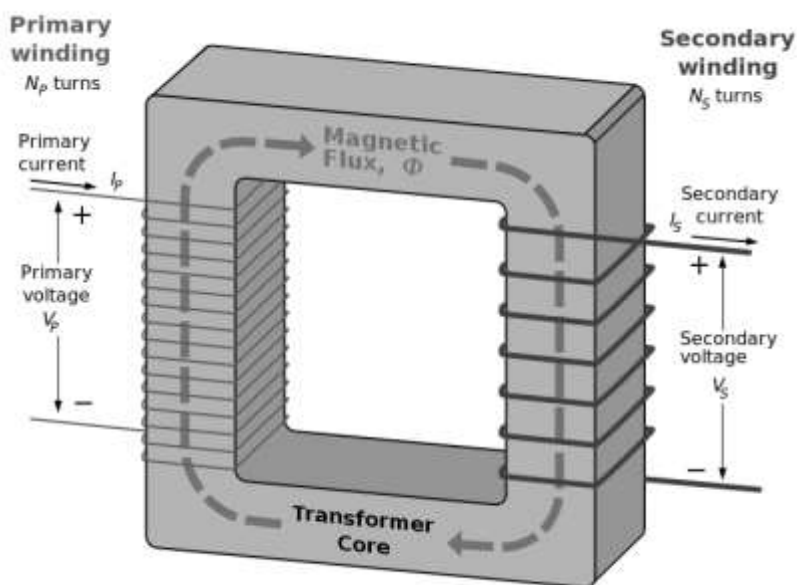


Рис. 3.1 – Схематичне зображення конструкції трансформатора

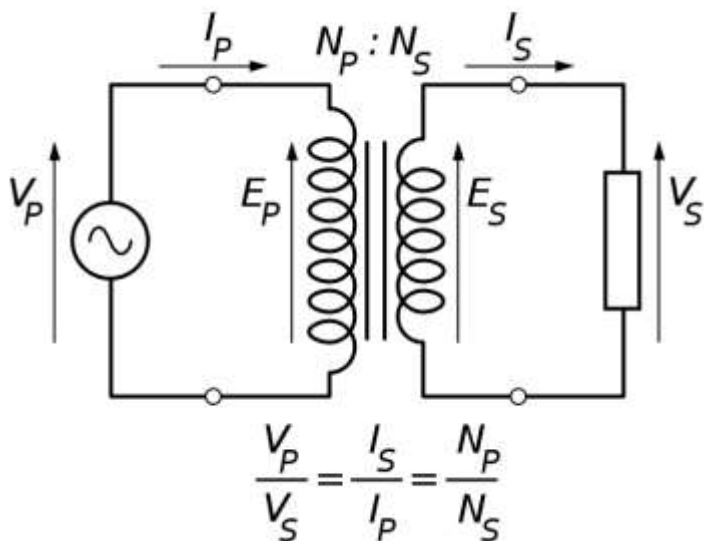


Рис. 3.2 – Електрична принципова схема трансформатора

Основними матеріалами для виробництва осердь слугують трансформаторна сталь (низькочастотні і силові трансформатори) і ферит (високочастотні трансформатори). За формою розрізняють стержньові, броньові та тороїд альні осердя.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією трансформатора на феритовому осерді. Порахувати кількості витків у первинній та вторинній обмотках, визначити коефіцієнт трансформації.
2. Подати на вхід синусоїдальний сигнал з частотою 200 кГц. Зняти осцилограму вхідного та вихідного сигналів. Визначити коефіцієнт трансформації та порівняти його із значенням, отриманим в п.1. Зробити відповідні висновки.

3. За допомогою мультиметра визначити схему трансформатора з багатьма вторинними обмотками на сталевому осерді. Записати опори обмоток і нумерацію виводів.
4. Подати на первинну обмотку (ту, що має найбільший опір) синусоїдальний сигнал з частотою 50 Гц. Зняти осцилограми сигналів з всіх вторинних обмоток, визначити відповідні коефіцієнти трансформації.

Зміст звіту

1. Назва роботи, мета, обладнання.
2. Розрахунок коефіцієнту трансформації для трансформатора на феритовому осерді за відомими кількостями витків у первинній і вторинній обмотках.
3. Осцилограми вхідного та вихідного сигналів для трансформатора з феритовим осердям та розрахунок коефіцієнту трансформації по виміряним напругам.
4. Результати вимірювання опорів обмоток трансформатора на сталевому осерді та його електрична схема.
5. Осцилограми вхідного та вихідних сигналів для трансформатора на сталевому осерді та розрахунок відповідних коефіцієнтів трансформації по виміряним напругам.
6. Висновки.

Орієнтовні теми питань на захисті

Принцип дії та конструкція трансформатора. Класифікація трансформаторів. Матеріали осердь. Явище гістерезису. Закон електромагнітної індукції. Втрати в трансформаторі. Застосування трансформаторів.

Лабораторна робота №4 НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДІОДИ

Мета роботи: дослідити кремнієвий та германієвий напівпровідникові діоди і зняти їх вольтамперні характеристики (ВАХ).

Обладнання: набірне поле “Електроніка”, вольтметр і амперметр постійного струму.

Короткі теоретичні відомості

Діод – електронний прилад з двома електродами, що пропускає електричний струм лише в одному напрямі. Застосовується у радіотехніці, електроніці, енергетиці та в інших галузях, переважно для випрямлення змінного електричного струму, детектування, перетворення та помноження частоти, а також для переключення електричних кіл.

Діоди виготовляють з кремнію, германію, селену, та інших напівпровідників.

В основі роботи напівпровідникового діода лежить р-п-перехід. Цей перехід не вдається одержати механічним з'єднанням напівпровідників, бо відстань між р і n областями має бути не більшою від міжатомних відстаней. Тому основними методами одержання р-п переходів є сплавлення і дифузія. Для отримання р-п-переходів в основний напівпровідник при високій температурі вплавають інший, внаслідок чого утворюється ділянка з р- або n-електропровідністю. На межі цих ділянок утворюється р-п перехід.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) напівпровідникового діода схематично показана на рис. 4.1 (без збереження масштабу). Рисунок демонструє чотири режими роботи напівпровідникового діода. При оберненій напрузі більшій за V_{br} , настає пробій — різке збільшення струму, яке використовується в роботі лавинних діодів та діодів Зенера. При оберненій напрузі, меншій від V_{br} , існує тільки малий струм насичення, здебільшого, порядку мікроамперів. При прикладенні напруги в прямому напрямку, струм зростає експоненційно, залишаючись малим до напруги V_d , — напруги

відкривання діода. Ця напруга може бути різною, в залежності від типу діода, — від 0,2 В для діодів Шоткі, до 4 В у блакитних світлодіодів і більше у силових діодів.

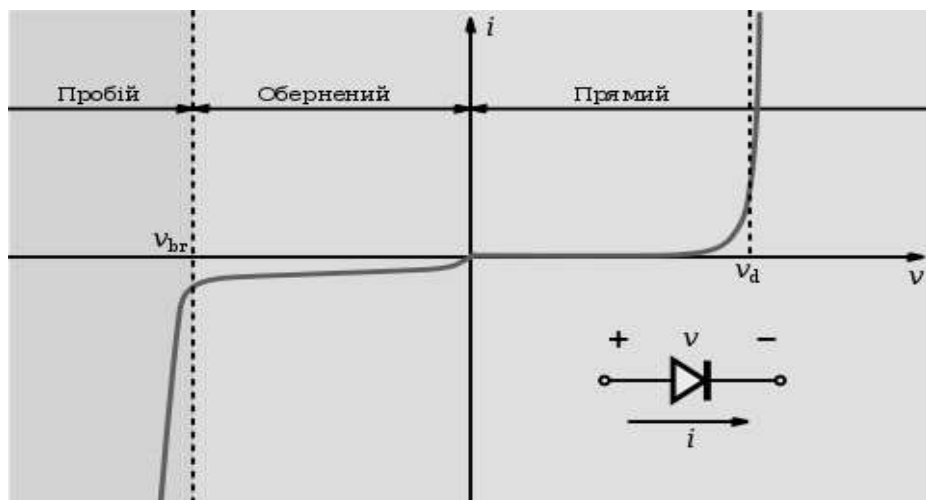


Рис. 4.1 – Вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода

ВАХ деяких діодів, наприклад, діода Ганна і резонансного тунельного діода можуть містити ділянки з від'ємною диференціальною провідністю, тобто ділянки, на яких сила струму в діоді зменшується, при збільшенні прикладеної напруги. Такі діоди зручні для використання в генераторах електричних коливань.

Вольт-амперну характеристику ідеального діода, тобто діода, в якому не враховується можливість пробію та інші фактори, можна описати рівнянням Шоклі:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right]$$

де I — сила струму, I_S — сила струму насичення при зворотній напрузі, V_a — напруга (в прямому напрямку), k — стала Больцмана, T — абсолютна температура. Величину $V_T = kT / e$ називають термальною напругою.

Основними характеристиками діодів є:

I_S — струм насичення (тепловий струм);

R_a — активний опір;

R_d — диференційний опір;

C_b — бар'єрна ємність;

C_d — дифузійна ємність;

$R_{тп к}$ — тепловий опір перехід-корпус;

K_v — коефіцієнт випростування

ϕ_k — контактна різниця потенціалів

Допустимі зворотні напруги кремнієвих діодів — 1000—1500 В, а германієвих 100—400 В. Інтервал робочих температур кремнієвого діода — від -60 оС до $+150$ оС; а для германієвого — від -60 оС до $+85$ оС. Тому зараз в основному використовують кремнієві діоди.

Діоди широко використовуються в електротехніці, електроніці, та радіотехніці. З різною метою, в залежності від їх характеристик.

Умовні графічні позначення деяких видів діодів наведені на рис. 4.2.

Головна властивість діода — проводити струм лише в одному напрямку, застосовують у випрямлячах — для перетворення змінного струму на постійний.

Діоди використовуються при демодуляції амплітудно-модульованого радіосигналу, тобто виділення низькочастотної складової з високочастотного сигналу.

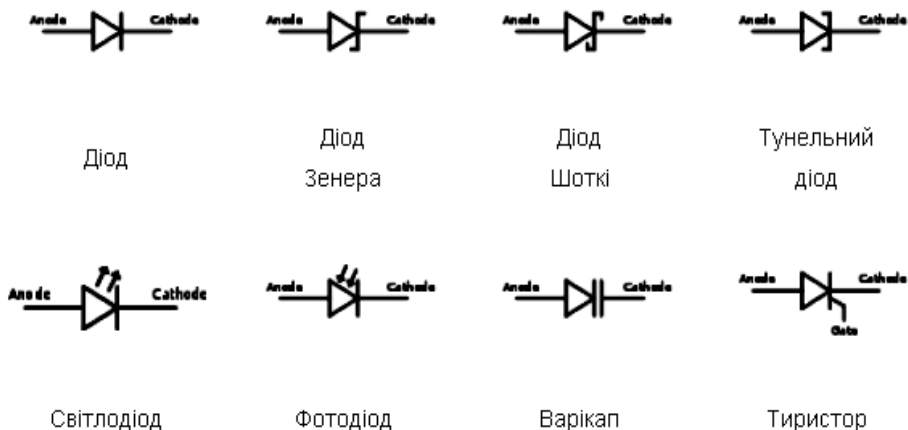


Рис. 4.2 – Умовні графічні позначення різних видів напівпровідникових діодів

Разом із іншими електронними компонентами, діоди можуть використовуватися для створення логічних елементів AND і OR.

Світлодіоди використовуються як джерела світла, а фотодіоди — як його індикатори.

Робота діодів чутлива до радіоактивних променів, що дозволяє використовувати їх у якості детекторів іонізуючого випромінювання, зокрема детекторів елементарних частинок. Одна така частинка має енергію в сотні тисяч і мільйони електронвольт. Проходячи через напівпровідник вона створює значну концентрацію носіїв заряду. Неосновні носії заряду легко проходять через р-п перехід діода, підключеного у зворотньому напрямку, і створює струм, вимірюючи який можна оцінити характеристики частинки.

Постійне опромінення впливає на характеристики діода, а тому діоди можна використовувати не тільки для детектування частинок, а й для вимірювання доз опромінення. Для цієї мети особливо зручні PIN-діоди, в яких р- та n-області розділені широкою ділянкою ізолятора (нелегованого напівпровідника). Завдяки ширині такої області, радіаційні пошкодження детектувати легше.

Діоди використовуються, також, для вимірювання температури, оскільки падіння напруги на діоді (при прямому включенні) залежить від температури.

Варіації виконують роль керованої напругою ємності.

Діоди з від'ємною ділянкою ВАХ є нелінійними елементами схем генераторів високочастотних коливань.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Зібрати схему для вимірювання ВАХ (схема Е1а або Е1б (з комплекту “Електроніка”) або рисунок 1.3). Приєднати необхідні вимірювальні прилади.
2. Виставити початкове положення опору змінного резистора в схемі таким чином, щоб і амперметр, і вольтметр одночасно показували нуль.
3. Поступово змінюючи опір змінного резистора, зняти по точках пряму гілку вольт-амперної характеристики діода. На прямій гілці повинно бути 8 — 10 точок.
4. Переставити полюси (ніжки) діода в зворотному напрямку. Повторити п. 2 і 3, але в цьому випадку знімається обернена гілка ВАХ. На оберненій гілці ВАХ також повинно бути 8 — 10 точок.
5. Скласти схему для вимірювання опору р-п-переходу (схема Е1в, Е1г або рисунок 1.4). Виміряти опір р-п-переходу в прямому та зворотному включеннях по 10 разів. Обчислити абсолютну та відносну похибки вимірювання.

Зміст звіту

1. Назва роботи, мета, обладнання, варіант.
2. Електрична принципова схема для вимірювання ВАХ напівпровідникового діода.
3. ВАХ діода. Повинна бути представлена у вигляді таблиці та графіку. На одному графіку повинні бути як пряма, так і обернена гілки ВАХ !!!
4. Результати вимірювання опору переходу. Їх зручно представити у вигляді таблиці з двома колонками, в які записати результати вимірювання опору у прямому включенні та зворотному.
5. Обчислення абсолютної та відносної похибок опору переходу.

6. Висновки. Чи відповідає графік ВАХ діода зразку на рис. 4.1? Яка саме ділянка загальної ВАХ на рис. 4.1 відповідає вимірній ВАХ діода? Наскільки велика різниця в опорах р-п-переходу, включеному у пряму та зворотному напрямку?

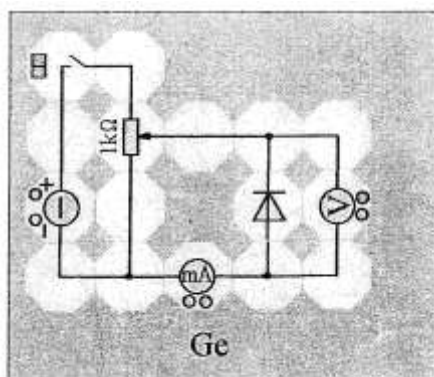
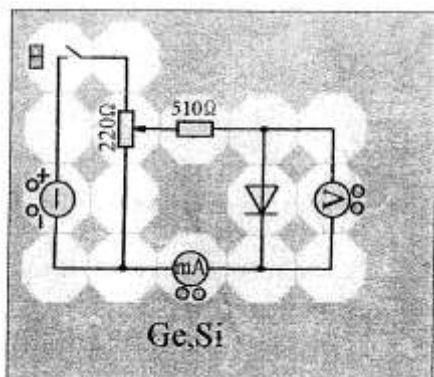


Рис. 4.3 – Схеми включення діодів для зняття ВАХ

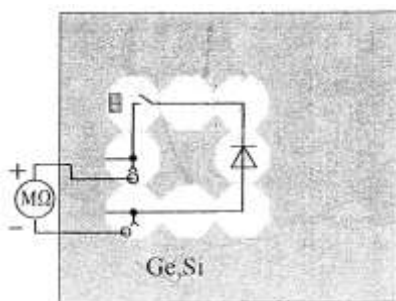
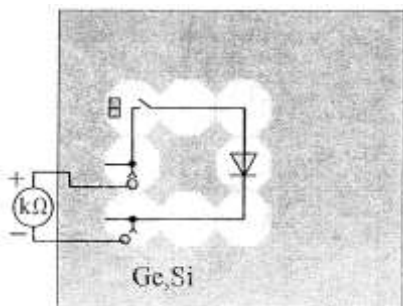


Рис. 4.4 – Схеми включення діодів для вимірювання опорів р-п-переходів

Орієнтовні теми питань на захисті

Визначення, будова, характеристики і області застосування напівпровідникових діодів. Будова, властивості та фізичні механізми роботи р-п-переходу. Напівпровідники та р-п-перехід з точки зору зонної теорії твердого тіла. Класифікація напівпровідників.

Лабораторна робота №5

БІПОЛЯРНІ ТРАНЗИСТОРИ

Мета роботи: дослідити роботу біполярних транзисторів n-p-n і p-n-p типів при включенні їх за схемою зі спільною базою та спільним емітером при постійних напругах.

Обладнання: набірне поле “Електроніка”, вольтметри і амперметри постійного струму.

Короткі теоретичні відомості

Біполярний транзистор – напівпровідниковий елемент електронних схем, із трьома електродами, один з яких служить для керування струмом між двома іншими. Термін «біполярний» підкреслює той факт, що принцип роботи приладу полягає у взаємодії з електричним полем частинок, що мають як позитивний, так і негативний електричний заряд.

Виводи біполярного транзистора називаються емітером, базою і колектором. В залежності від типу носіїв заряду, які використовуються в транзисторі, біполярні транзистори поділяються на транзистори NPN та PNP типу. В транзисторі NPN типу емітер і колектор легуються донорами, а база — акцепторами. В транзисторі PNP типу — навпаки.

Умовні графічні позначення біполярних транзисторів наведені на рис. 5.1. На рисунку позначені “В” – база, “С” – колектор, “Е” – емітер.



Рис. 5.1 – Умовні графічні позначення біполярних транзисторів

Дія біполярного транзистора базується на використанні двох р-п переходів між базою та емітером і базою та колектором. В області р-п переходів виникають шари просторового заряду, між якими лежить тонка нейтральна база. Якщо між базою й емітером створити напругу в прямому напрямку, то носії заряду інжектуються в базу й

дифундують до колектора. Оскільки вони є неосновними носіями в базі, то легко проникають через р-п перехід між базою й колектором. База виготовляється достатньо тонкою, щоб носії заряду не встигли прорекомбінувати, створивши значний струм бази. Якщо між базою й емітером прикласти запірну напругу, то струм через ділянку колектор-емітер не протікатиме.

В залежності від того, в яких станах знаходяться переходи транзистора, розрізняють режими його роботи. Оскільки в транзисторі є два переходи (емітерний та колекторний), і кожен із них може знаходитись в двох станах (відкритому та закритому), розрізняють чотири режими роботи транзистора. Основним є активний режим, при якому емітерний перехід знаходиться у відкритому стані, а колекторний — в закритому. Транзистори, які працюють в активному режимі, використовуються в схемах підсилення. Окрім активного виділяють інверсний режим, при якому емітерний перехід закритий, а колекторний — відкритий, режим насичення, при якому обидва переходи відкриті, та режим відсічки, при якому переходи закриті.

Активний режим. Активному режиму роботи транзистора відповідає відкритий стан емітерного переходу і закритий колекторний перехід. В цьому режимі переходи транзистора мають різну ширину: закритий колекторний перехід значно ширший ніж відкритий емітерний перехід. Окрім наскрізного потоку електронів, в структурі в активному режимі протікає інший потік, а саме, зустрічний потік дірок, що рухаються із бази в емітер. Два зустрічних потоки (дірок та електронів) відображають ефект рекомбінації в базі. Електронний потік створюється електронами, які рухаються із емітера, однак не доходять до колекторного переходу (як електрони, що створюють наскрізний потік), а рекомбінують із дірками в базі. Дірковий потік створюється дірками, що надходять із зовнішнього кола в базу для компенсації втрати дірок внаслідок рекомбінації з електронами. Вказані потоки створюють в зовнішніх колах емітера і бази додаткові складові струмів. Потоки неосновних носіїв заряду створюють власний

тепловий струм колекторного переходу (потік електронів, що рухаються із бази в колектор, та потік дірок з колектора в базу).

Наскрізний потік є єдиним корисним потоком носіїв в транзисторі, оскільки визначає можливість підсилення електричних сигналів. Всі інші потоки не беруть участі в підсиленні сигналу, і тому є побічними. Для того щоб транзистор мав високий коефіцієнт підсилення, необхідно щоб побічні потоки були якомога слабші в порівнянні з корисним наскрізним потоком.

Інверсний режим. Інверсний режим (інверсний активний режим) роботи біполярного транзистора аналогічний активному режиму з відмінністю лише в тому, що в цьому режимі у відкритому стані знаходиться колекторний перехід, а в закритому — емітерний.

Режим насичення. В режимі насичення обидва переходи транзистора знаходяться у відкритому стані. В цьому режимі електрони і з емітера, і з колектора рухаються в базу, внаслідок чого в структурі протікають два зустрічних наскрізних потоки електронів (нормальний та інверсний). Від співвідношення цих потоків залежить напрям струмів, що протікають в колах емітера та колектора. Внаслідок подвійного насичення бази, в ній накопичуються надлишкові електрони, внаслідок чого посилюється їх рекомбінація з дірками і рекомбінований струм бази є набагато вищим, ніж в активному чи інверсному режимах. У зв'язку із насиченням бази транзистора і його переходів, надлишковими носіями зарядів, опір останніх стає дуже маленьким. Тому електричні кола, що містять транзистор в режимі насичення можна вважати короткозамкненими.

Режим відсічки. В режимі відсічки обидва переходи транзистора знаходяться у закритому стані. Наскрізні потоки електронів в цьому режимі відсутні. Через переходи транзистора протікають потоки неосновних носіїв заряду, що створюють малі некеровані теплові струми переходів. База і переходи транзистора в режимі відсічки збіднені рухомими носіями заряду, внаслідок чого їх опір є дуже високим. Тому вважають, що транзистор в режимі відсічки розриває

електричне коло. Режим насичення та відсічки використовуються при роботі транзистора в імпульсних схемах.

Характеристики біполярних транзисторів можна розділити на вхідні, перехідні, вихідні і характеристики керування. Характеристики транзисторів вказуються у спеціальних довідниках.

Біполярні транзистори використовуються в підсилювачах, генераторах, перетворювачах сигналу, логічних схемах.

Існує три основні схеми включення транзисторів. При цьому один з електродів транзистора є загальною точкою входу і виходу каскаду. Треба пам'ятати, що під входом (виходом) розуміють точки, між якими діє вхідна (вихідна) змінна напруга. Основні схеми включення називаються схемами зі спільним емітером (СЕ), спільною базою (СБ) і спільним колектором (СК).

Будь-яка схема підключення транзистора характеризується двома основними показниками:

- коефіцієнт підсилення по струму $\mu = I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}}$
- вхідний опір $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}$

Схема зі спільною базою.

Схема представлена на рис. 5.2, а. Коефіцієнт підсилення по струму: $I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}} = I_{\text{к}}/I_{\text{е}} = \alpha$ ($\alpha < 1$).

Вхідний опір $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}} = U_{\text{бє}}/I_{\text{е}}$.

Вхідний опір для схеми зі спільною базою малий і не перевищує 100 Ом для малопотужних транзисторів, оскільки вхідний ланцюг транзистора при цьому є відкритим емітерним переходом транзистора.

Переваги:

- Добрі температурні та частотні властивості (стабільність)
- Висока допустима напруга

Недоліки

- Мале підсилення по струму, оскільки $\alpha < 1$
- Малий вхідний опір

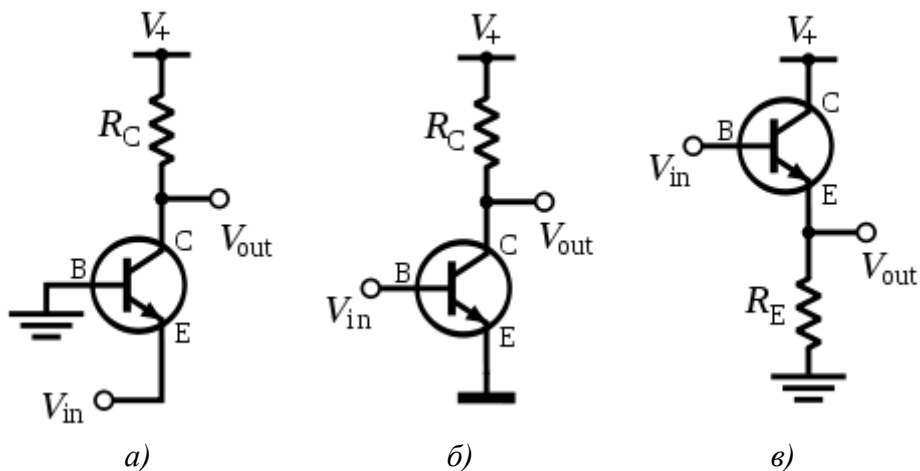


Рис. 5.2 – Основні схеми включення біполярних транзисторів
 а) із спільною базою; б) із спільним емітером;
 в) із спільним колектором.

Схема із спільним емітером.

Представлена на рис. 5.2, б.

Вихідні дані: $I_{вих} = I_K$; $I_{вх} = I_6$; $U_{вх} = U_{6e}$; $U_{вих} = U_{Кe}$

Коефіцієнт підсилення по струму: $I_{вих}/I_{вх} = I_K/I_6 = I_K/(I_e - I_K) = \alpha/(1 - \alpha) = \beta$.
 ($\beta \gg 1$)

Вхідний опір: $R_{вх} = U_{вх}/I_{вх} = U_{6e}/I_6$

Переваги:

- Великий коефіцієнт підсилення по струму та по напрузі
- Найбільше підсилення потужності
- Можна обійтись одним джерелом живлення
- Вихідна напруга інвертується відносно вхідної

Недоліки

- Гірші температурні та частотні властивості в порівнянні зі схемою зі спільною базою

Схема зі спільним колектором (емітерний повторювач).

Представлена на рис. 5.2, в.

Вихідні дані $I_{\text{вих}} = I_c$; $I_{\text{вх}} = I_b$; $U_{\text{вх}} = U_{\text{бк}}$; $U_{\text{вих}} = U_{\text{ке}}$

Коефіцієнт підсилення по струму: $I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}} = I_c/I_b = I_c/(I_c - I_k) = 1/(1 - \alpha) = \beta$.
($\beta \gg 1$)

Вхідний опір: $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}} = (U_{\text{бе}} + U_{\text{ке}})/I_b$

Переваги

- Великий вхідний опір
- Малий вихідний опір

Недоліки

- Коефіцієнт підсилення по напрузі менше 1

Транзистор, як і діод та інші елементи, має вольт-амперну характеристику, але внаслідок того, що він включається як чотириполюсних, вона в нього являє собою сімейство кривих. Кожній кривій такого сімейства відповідає певне фіксоване значення струму або напруги третього виводу (див. приклад на рисунку 3.5)

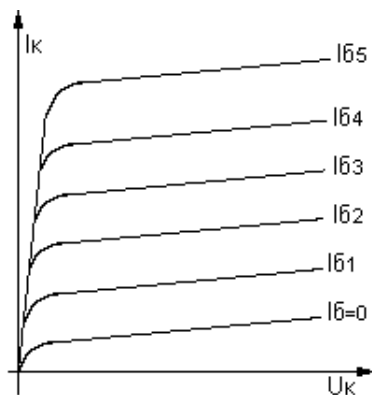


Рис. 5.3 – Сімейство ВАХ транзистора

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Зібрати схему включення транзистора із спільною базою (схема Е3б або рис. 5.4).
2. Зняти сімейство залежностей струму колектора від напруги колектор-база при трьох значеннях струму емітера. Достатньо 6-8 вимірювань для побудови кожної кривої.
3. Зібрати схему включення транзистора зі спільним емітером (схема Е4б або рис. 5.5).
4. Зняти сімейство залежностей струму колектора від напруги колектор-емітер при трьох значеннях струму бази. Достатньо 6-8 вимірювань для побудови кожної кривої.

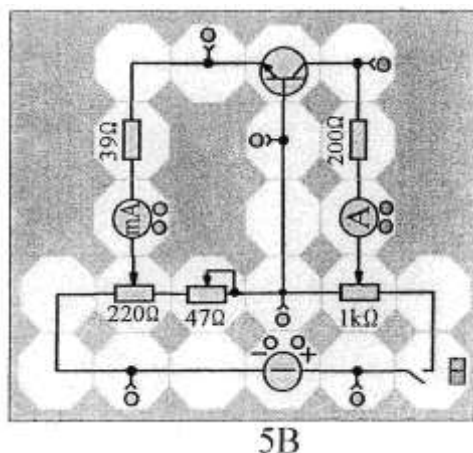


Рис. 5.4 – Схема з СБ

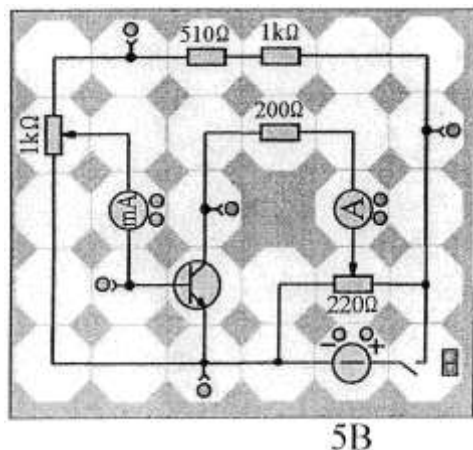


Рис. 5.5 – Схема з СЕ

Зміст звіту

1. Назва роботи, мета, обладнання, варіант.
2. Електрична принципова схема включення транзистора зі спільною базою.
3. Таблиця залежностей струму колектора від напруги колектор-база при трьох значеннях струму емітера.

4. Сімейство вихідних характеристик для транзистора, включеного по схемі зі спільною базою.
5. Електрична принципова схема включення транзистора зі спільним емітером.
6. Таблиця залежностей струму колектора від напруги колектор-емітер при трьох значеннях струму бази.
7. Сімейство вихідних характеристик для транзистора, включеного по схемі зі спільним емітером.
8. Висновки. Оцінка коефіцієнту підсилення по напрузі для кожної схеми включення транзистора.

Орієнтовні теми питань на захисті

Будова та призначення біполярних транзисторів. Класифікація та маркування їх. Основні характеристики біполярних транзисторів. Режими роботи БТ. Схеми включення БТ, особливості та область застосування кожної зі схем включення.

Лабораторна робота №6 ПОЛЬОВІ ТРАНЗИСТОРИ

Мета роботи: вивчити та експериментально дослідити вольт-амперні характеристики (ВАХ) і параметри польових транзисторів з керувальним p - n - переходом.

Обладнання: набірне поле «Електроніка», вольтметри і амперметри постійного струму.

Короткі теоретичні відомості

Польові транзистори є напівпровідниковими приладами, в яких проходження струму зумовлено дрейфом основних носіїв заряду під дією поздовжнього електричного поля. Управління струмом у польових транзисторах здійснюється шляхом зміни електропровідності струмопровідної ділянки напівпровідника поперечним електричним полем. Це поле створюється напругою, прикладеною до керуючого електроду.

Польові прилади можуть працювати в підсилювальному або ключовому режимі. Головна особливість польових приладів полягає в тому, що їх коло керування ізольоване від вихідного кола діелектриком або зміщеним у зворотному напрямку p - n -переходом. Фактично коло керування польового приладу являє собою конденсатор, заряд на обкладках якого змінюється під дією керуючого поля (напруги). Напівпровідникова обкладка цього конденсатора входить у вихідне коло приладу: зміна заряду обкладки призводить до зміни опору каналу і відповідно вихідної потужності.

Таким чином передача керуючого заряду в польових транзисторах здійснюється напругою (через ємність). Управління безпосередньо електричним полем визначає основні особливості експлуатації польових напівпровідникових приладів.

У класі польових транзисторів розрізняють транзистори з ізольованим затвором зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник (МДН-транзистори) і транзистори з керувальним p - n -переходом. У МДН-транзисторах керувальне коло відокремлене від каналу діелектриком. Зазвичай в якості діелектрика використовують оксид

(діоксид кремнію SiO_2) і говорять про МОН-транзисторах (зі структурою метал - оксид - напівпровідник).

У польових транзисторах з керувальним p - n -переходом (рис. 6.1, а) керуюче коло відокремлене від каналу зворотно зміщеним p - n -переходом, при цьому канал розташований в об'ємі напівпровідника й існує при нульовій напрузі на затворі, тобто є вбудованим каналом. На керувальний p - n -перехід можна подавати лише зворотну напругу, і тому польові транзистори з керувальним p - n -переходом працюють в режимі збіднення каналу носіями заряду.

МДН-транзистори застосовують двох типів: з вбудованим і індукованим каналами. У МДН-транзисторі з індукованим каналом (рис. 6.1, б) при напрузі на затворі, що дорівнює нулю, канал відсутній. Тільки при прикладенні до затвору так званої порогової напруги утвориться (індукується) канал. При цьому полярність напруги на затворі повинна збігатися зі знаком основних носіїв в обсязі напівпровідника-підкладки: на поверхні напівпровідника індукується заряд протилежного знаку, тобто тип провідності приповерхневого шару напівпровідника інвертується і утворює провідний канал.

Зменшення струму на виході МДН-транзистора з вбудованим каналом (рис. 6.1, в) забезпечується подачею на керуючий електрод – затвор напруги U_3 з полярністю, відповідною знаку носіїв заряду в каналі: для p -каналу $U_3 > 0$, для n -каналу $U_3 < 0$. Напруга затвору U_3 зазначеної полярності викликає збіднення каналу носіями заряду, опір каналу збільшується, і вихідний струм зменшується. Якщо змінити полярність напруги на затворі, то відбудеться збагачення каналу дірками і відповідно збільшення вихідного струму.

Таким чином, МДН-транзистори з вбудованим каналом можуть працювати як в режимі збіднення каналу носіями заряду, так і в режимі збагачення. МДН-транзистор з індукованим каналом працюють тільки в режимі збагачення.

З точки зору експлуатації напівпровідникових приладів необхідно підкреслити, що МДН-транзистор з індукованим каналом за відсутності напруги управління – це нормально закритий прилад. Польовий транзистор з вбудованим каналом (польовий транзистор з керувальним p - n -переходом або МДН-транзистор з вбудованим

каналом) - прилад нормально відкритий, тобто для підтримки закритого стану таких транзисторів необхідно подавати зміщення в колі управління. Якщо коло управління з якої-небудь причини відключається, то нормально закритий прилад закривається, а в нормально відкритому приладі струм на виході різко зростає і прилад може вийти з ладу.

Польовий транзистор має три основних електрода: керувальний електрод – **затвор З**, вхідний – **виток В** і вихідний – **стік С**. Стоком називається електрод, до якого надходять носії заряду з каналу. Якщо канал, наприклад, *n*-типу, то носії заряду, що надходять з каналу – електрони, а полярність напруги стоку позитивна. Можливий також четвертий електрод (див. рис. 6.1, б, в), який з'єднується з пластиною вихідного напівпровідника – підкладкою.

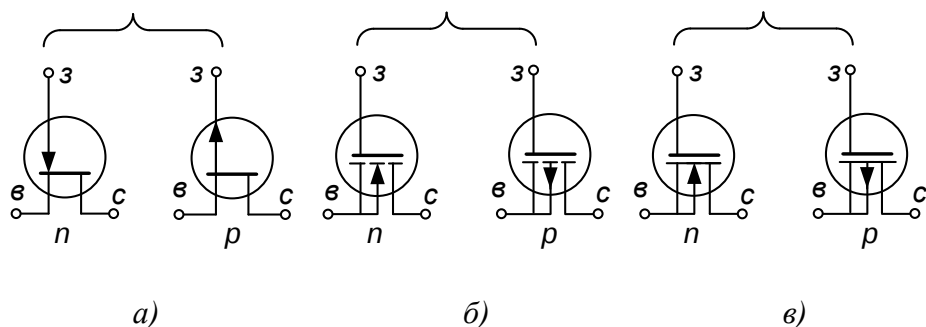


Рис. 6.1 – Умовне графічне зображення польових транзисторів:
а - з керувальним *p-n*-переходом; б - МДН-транзистора з індуктованим каналом; в - МДН-транзистора з вбудованим каналом;

На рис. 6.1 наведені основні позначення польових транзисторів. МДП-транзистори з індуктованим каналом (нормально закриті) мають пунктирну лінію в позначенні каналу (див. рис. 5.1, б), польові транзистори з вбудованим каналом (нормально відкриті) - суцільну (див. рис. 6.1, в). Стрілка в позначенні польових транзисторів визначає тип каналу: спрямована до каналу – для каналу *n*-типу та від каналу – для *p*-типу. В умовному позначенні МДН-транзистора відображений

факт ізоляції керуючого електрода – затвора від вихідних електродів стоку і витoku.

Польові транзистори широко застосовуються в пристроях промислової електроніки: в джерелах живлення і стабілізаторах, в перетворювачах для привода постійного і змінного струму, в потужних підсилювачах, у вихідних каскадах обчислювальних пристроїв, в системах управління перетворювачів та ін.

Вольт-амперні характеристики польового транзистора і їх якісний опис. Основними характеристиками польового транзистора є характеристики передачі – залежність струму стоку від напруги на затворі $I_c = f(U_3)|_{U_c = \text{const}}$ і вихідні характеристики – залежність струму стоку від напруги стоку $I_c = f(U_c)|_{U_3 = \text{const}}$.

Типові стічні вольт-амперні характеристики транзистора $I_c = f(U_c)|_{U_3 = \text{const}}$ показані на рис. 6.2.

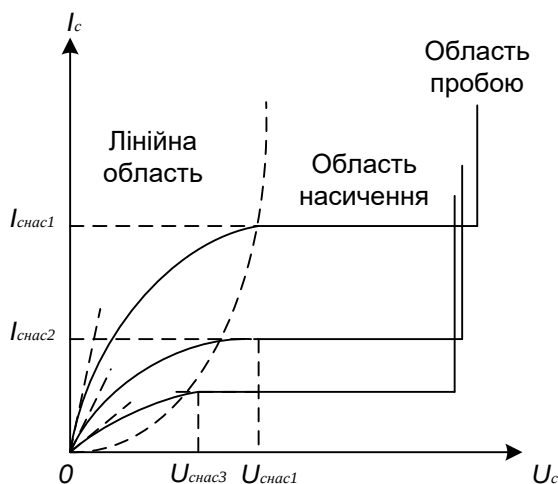


Рис. 6.2 – Сімейство вихідних ВАХ польового транзистора

На цих характеристиках варто виділити три області: лінійну (при малих напругах U_c); область насичення, де струм стоку не залежить від U_c ; область пробою, де струм стоку різко зростає з ростом U_c .

Розглянемо хід вольт-амперної характеристики для випадку, коли $U_3 = 0$. Якщо напруга U_c мала (область I), то зміна ширини p - n переходу мала в порівнянні з товщиною каналу і опір останнього практично не відрізняється від початкового. Тому зв'язок між струмом I_c і напругою U_c буде майже лінійним. При збільшенні U_c «горловина» каналу звужується, що помітно позначається на зростанні опору каналу, і зростанні струму I_c від U_c поступово сповільнюється. Змиканню «горловини» каналу відповідає точка перегину, і вольт-амперна характеристика виходить на ділянку насичення. Напруга U_c , відповідне цій точці, називають *напругою насичення* $U_{c.n}$.

На ділянці II, коли $U_c > U_{c.n}$ струм I_c з ростом U_c не змінюється. Це пояснюється зростанням диференціального опору каналу за рахунок поширення «горловини» каналу від стоку до витоку. Потенціал «горловини» зберігає значення $U_{c.n}$, а різниця потенціалів $U_c - U_{c.n}$ падає на ділянці між стоком і «горловиною». Поширення «горловини» у бік витоку буде відбуватися до тих пір, доки області об'ємного заряду p - n переходів не заповнять весь обсяг провідного каналу або не відбудеться пробій переходів (область III).

Розглянемо тепер хід характеристик, коли на затвор подано від'ємне зміщення. У цьому випадку напруга на переході буде визначатися напругою на затворі і падінням напруги вздовж каналу (вздовж осі x) при протіканні струму стоку:

$$U_{c.n} = U_{3, \text{відс.}} - U_3.$$

Насичення I_c відбудеться тоді, коли напруга U_{p-n} стане рівною напрузі відсічки $U_{3. відс.}$. При цьому напруга $U(X)$ буде відповідати напрузі насичення $U_{c.n}$. Зі сказаного випливає, що

$$U_{c.n} = U_{c.n} = U_{3. відс.} - U_3.$$

Так як $U_{3. відс.}$ для конкретного транзистора величина постійна, то з останнього виразу випливає, що $U_{c.n}$ буде зменшуватися при збільшенні напруги U_3 . У тому випадку, коли $U_{3. відс.} = U_3$ відбувається повна відсічення струму I_c .

Характеристики польового транзистора не еквідистантні. Це пояснюється нелінійною залежністю ширини $p-n$ -переходу від напруги. Тому при рівному збільшенні відстань між характеристиками не однакова (див. рис. 6.2).

Зі зростанням напруги на затворі пробій $p-n$ переходу відбувається при менших напругах U_c .

Характеристики передачі (або стоко-затворні характеристики) показані на рис. 6.3. Вони являють собою залежність струму стоку від напруги. Характер цієї залежності визначається принципом роботи польового транзистора.

Максимальний струм стоку I_c при заданій напрузі I_c відповідає $U_3 = 0$. При збільшенні $U_3 = 0$ за абсолютним значенням I_c зменшується і, коли $U_3 = U_{3. відс.}$, струм стоку стає рівним нулю.

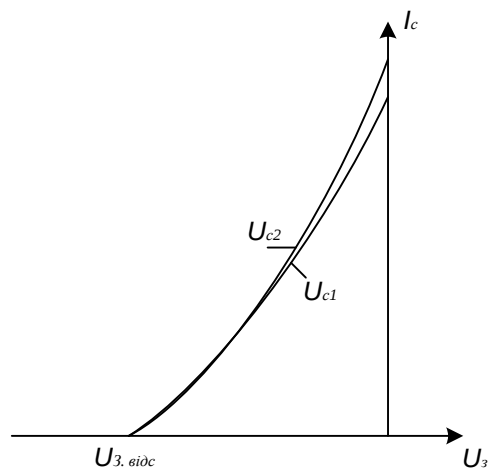


Рис. 6.3 – Характеристики передачі польового транзистора

Порядок виконання роботи

1. Зберіть схему дослідження польового транзистора (рис. 6.4).

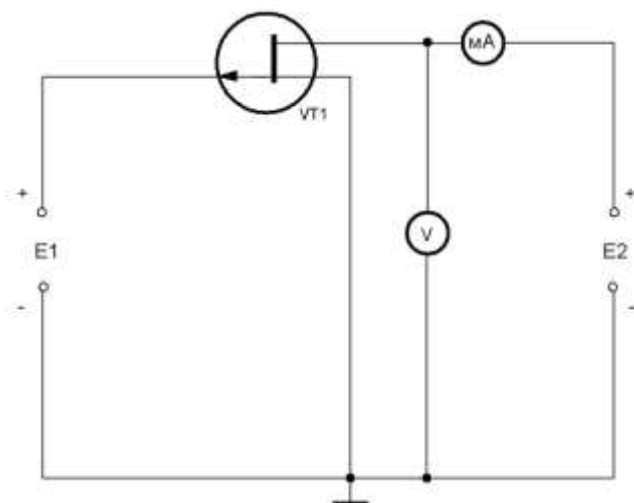


Рис. 6.4 – Схема включення польового транзистора

2. Отримайте сімейство характеристик передачі польового транзистора. Для цього встановіть за допомогою джерела живлення (E_2 на схемі) напругу $U_{c-e} = 1,5$ В. Змінюючи напругу затвор-витік за допомогою джерела E_1 в діапазоні $0 \dots 1,5$ В, фіксуйте відповідні напруги. Отримані дані занесіть у відповідні клітинки табл. 1.
3. Встановивши за допомогою джерела живлення (E_2 на схемі) напругу $U_{c-e} = 3$ В, зніміть ще одну характеристику передачі польового транзистора. Виконайте ті ж самі дії для значень $U_{c-e} = 6$ В; 12 В.
4. Отримайте сімейство вихідних характеристик польового транзистора. Для цього встановіть за допомогою джерела живлення E_1 напругу затвор-витік $U_{з-в} = 0$ В. Змінюючи напругу сток-витік за допомогою джерела в діапазоні $0,5 \dots 15$ В, фіксуйте відповідні напруги I_c .
5. За даними отриманих таблиць побудуйте графіки вольт-амперних характеристик польового транзистора КП103Л.
6. Зробіть висновки по роботі, оформіть звіт.

Зміст звіту

Звіт (протокол) з лабораторної роботи повинен містити: мету роботи, основні характеристики польового транзистора КП103Л, схему експериментальної установки, порядок виконання роботи з необхідними таблицями, графіки ВАХ польового транзистора КП103Л, висновки по роботі.

Орієнтовні теми питань на захисті

Принцип дії та область застосування польових транзисторів; класифікація та будова польових транзисторів; характеристики польових транзисторів.

Лабораторна робота №7

ТИРИСТОРИ

Мета роботи: вивчення основних фізичних закономірностей, що визначають принцип роботи і основні параметри тиристорів на підставі аналізу вольт-амперних характеристик (ВАХ) динистора і тринистора.

Обладнання: набірне поле «Електроніка», вольтметри і амперметри постійного струму.

Короткі теоретичні відомості

Тиристор – це напівпровідниковий прилад з трьома або більше р-п-переходами (рис. 7.1), ВАХ якого має ділянку з негативним диференціальним опором і який використовується для перемикання.

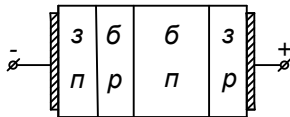


Рис. 7.1 – Структура тиристора

З точки зору застосування, тиристори – це напівпровідниковий ключ, тобто прилад, основне призначення якого полягає в замиканні і розмиканні кола навантаження за допомогою зовнішніх сигналів.

Тиристор має два статичних стани – закритий, або стан низької провідності, і відкритий, або стан високої провідності. Перехід з одного стану в інший відбувається відносно швидко під впливом короткочасного зовнішнього сигналу.

Тиристори класифікують за такими ознаками: за кількістю виводів, по виду вихідної ВАХ, за способами вимикання й управління і за іншими ознаками.

За кількістю виводів розрізняють:

- діодні тиристори (*динистори*), що мають тільки два виводи - (анод і катод) (рис. 7.2, а);

- тріодні тиристори (*тринистори*), що мають три виводи (два основних і один керуючий) - анод, катод і керуючий електрод (рис. 7.2, б-д);

- чотирьохелектродні (*тетродні*) тиристори, що мають чотири виводи (два вхідних і два вихідних) (рис. 7.2, ж), і т.д.

За видом вихідної ВАХ розрізняють:

- тиристори, що не проводять у зворотному напрямку (рис. 7.2, а-в);

- тиристори, які проводять у зворотному напрямку (тиристори зі зворотною провідністю, або тиристори-діоди) (рис. 7.2, д);

- симетричні (двопровідні тиристори, симистори або триаки), які можуть перемикатися у відкритий стан в обох напрямках (рис. 7.2, з).

За способом вимикання тиристори підрозділяються на незапірні (вимикання забезпечується тільки за вихідним анодним колом) і запірні (вимикання можливо за вхідним керуючим колом).

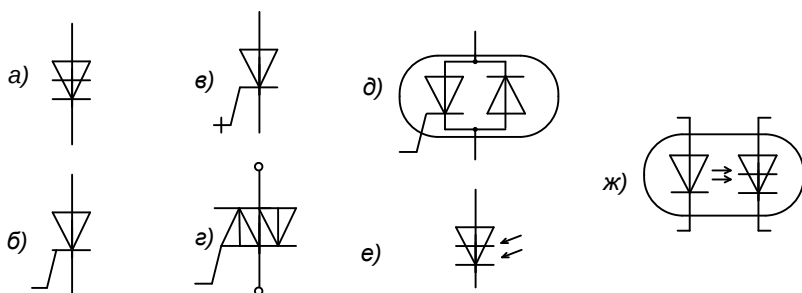


Рис. 3.2. Позначення тиристорів:

а - динистор; б - тиристор; в - запірний тиристор; г - симистор;

д - тиристор-діод (тиристор із зворотною провідністю);

е - фототиристор; ж - тиристорна оптопара

За способом управління розрізняють тиристори, фототиристори і оптоотиристори. Перші керуються (вимикаються) зовнішнім електричним сигналом по керуючому електроду. Фототиристор керується зовнішнім оптичним сигналом, оптоотиристор – внутрішнім оптичним сигналом (випромінювач і фототиристор складають в

оптотиристорі єдину конструкцію).

Параметри тиристорів. Основними параметрами тиристорів є:

- напруга включення $U_{вкл}$ – напруга на тиристорі в прямому напрямку, при якому він переходить із закритого стану у відкрите при нульовому струмі управління;
- струм включення $I_{вкл}$ – струм через тиристор, при якому тиристор переходить в увімкнений стан при нульовому струмі управління;
- струм утримання $I_{уд}$ – мінімальний струм через тиристор, необхідний для підтримання його у відкритому стані;
- напруга у відкритому стані тиристора $U_{откр}$ – напруга на тиристорі у відкритому стані при заданому струмі;
- струм у закритому стані $I_{закр}$ – струм через тиристор при заданій напрузі в закритому стані;
- відкриваючий струм керуючого електрода $I_{упр.откр.}$ – мінімальне значення постійного струму керуючого електрода, яке забезпечує включення тиристора при заданій анодній напрузі;
- час включення $t_{вкл}$ – час, протягом якого тиристор переходить з закритого стану у відкрите (інтервал часу з моменту подачі відкриваючого імпульсу до моменту, коли струм через тиристор збільшується до 90% його значення у відкритому стані);
- час вимкнення $t_{вимк}$ – час, протягом якого тиристор переходить з увімкненого стану в вимкнений (інтервал часу з моменту спаду анодного струму до нуля до моменту, коли тиристор здатний витримати, не відкриваючись, дію імпульсу анодного струму із заданою швидкістю росту).

Динистори. Двоелектродний тиристор складається з чотирьох шарів кристалу напівпровідника з типом електропровідності, що чергуються. Зовнішня напруга (пряма) на такий прилад подається мінусом на крайню область з електропровідністю n-типу (на катодний

електрод) і плюсом на крайню область з електропровідністю р-типу (на анодний електрод). У цьому випадку крайні р-п-переходи включені в пряму напругу, тому їх називають емітерними; середній р-п-перехід включений в зворотному напрямку, тому його називають колекторним. Відповідно в такому приладі існують дві емітерні області (п- і р-емітери) і дві базові (р- і п-бази).

Велика частина зовнішньої напруги падає на колекторному переході, тому початкова ділянка вольт-амперної характеристики тиристора аналогічна зворотній гілці вольт-амперної характеристики діода.

Зі збільшенням анодної напруги, прикладеної до тиристора між анодом і катодом, збільшується пряма напруга і на емітерний переходи. Електрони, інжектвані з п-емітера в р-базу, дифундують до р-п-переходу колектора, проходять колекторний перехід і потрапляють в п-базу. Подальшому проходженню електронів по тиристорній структурі перешкоджає невеликий потенційний бар'єр правого емітерний переходу. Тому частина електронів, опинившись у потенційній ямі п-бази, утворює надлишковий негативний заряд, який, знижуючи висоту потенційного бар'єру правого емітерний переходу, викликає збільшення інжекції дірок з р-емітера в п-базу. Інжектвані дірки дифундують до р-п-переходу колектора, проходять через цей перехід і потрапляють в р-базу. Їх подальшому просуванню по тиристорній структурі перешкоджає невеликий потенційний бар'єр лівого емітерний переходу. Отже, в р-базі відбувається накопичення надлишкового позитивного заряду, що зумовлює збільшення інжекції електронів з п-емітера. У результаті накопичення надлишкового позитивного заряду в р-базі та негативного в п-базі при напрузі на тиристор $U_{вкл}$ (напрузі увімкнення) відбувається різке збільшення струму, що проходить через тиристор, та одночасне зменшення падіння напруги на тиристорі. Друга ділянка вольт-амперної характеристики тиристора аналогічна прямій гілці вольт-амперної характеристики р-п-переходу. У режимі, відповідному другій ділянці, напруга на колекторному переході виявляється прямою через великий заряд, накопичений у базах.

ВАХ динистора показана на рис. 7.3.

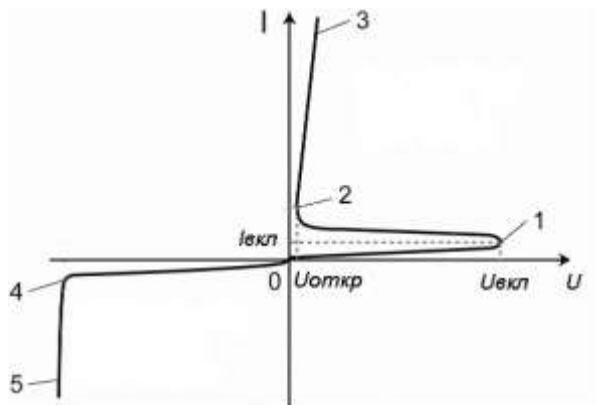


Рис. 7.3 – ВАХ динистора

На цій характеристиці можна виділити кілька характерних ділянок:

- Між точками 0 і 1 знаходиться ділянка, відповідний високому опорі приладу - пряме замикання.
- У точці 1 відбувається включення тиристора.
- Між точками 1 і 2 знаходиться ділянка з негативним диференціальним опором.
- Ділянка між точками 2 і 3 відповідає відкритому стану (пряма провідність).
- У точці 2 через прилад протікає мінімальний тримаючий струм.
- Ділянка між 0 і 4 описує режим зворотного запирання приладу.
- Ділянка між 4 і 5 - режим зворотного пробую.

Тиристор може знаходитися в двох станах: вимкненому, чи закритому, який характеризується великим падінням напруги на тиристорі та проходженням малих струмів через нього, тобто великим опором, і увімкненому, або відкритому, яке характеризується малим падінням напруги на тиристорі та проходженням великих струмів через нього, тобто малим опором.

У відкритому стані тиристор знаходиться до тих пір, поки за рахунок струму, що проходить підтримується кількість надлишкових

зарядів у базах, необхідна для зниження висоти потенційного бар'єру колекторного переходу до величини, що відповідає його прямому включенню. Якщо ж струм через тиристор зменшити до деякої величини ($I_{вимк}$), то в результаті рекомбінації і розсмоктування кількість надлишкових зарядів в базах зменшиться, р-п-перехід колектора виявиться включеним у зворотному напрямку, відбудеться перерозподіл падінь напруги на р-п-переходах тиристорної структури, зменшиться інжекція з емітера і тиристор перейде в закритий стан.

Тринистор. Тринистор відрізняється від динистора наявністю третього виводу від базової області. Це дозволяє шляхом подачі на нього напруги керувати напругою увімкнення. Тому тринистори на відміну від динисторів іноді називають керованими перемикачами. Керуючий електрод може бути підведений до будь-якої з баз тринистора. При подачі на керуючий електрод напруги такої полярності, щоб прилеглий до цієї бази емітерний перехід був включений в прямому напрямку, можна збільшити інжекції з п-емітера, що призведе до накопичення надлишкових зарядів в базових областях тиристора і переключення його в відкритий стан при анодній напрузі на тиристорі, меншій напруги включення $U_{вкл}$ (рис. 7.4, в). Іншими словами, при подачі на керуючий електрод напруги можна змінювати струм емітера і, отже, регулювати значення коефіцієнта передачі струму емітера однієї з транзисторних структур, що обумовить збільшення сумарного коефіцієнта передачі всієї тиристорної структури і переключення її у відкритий стан.

Очевидно, що зі зростанням струму керування анодна напруга, необхідна для перемикання тиристора у відкритий стан, знижується (рис. 7.4, в). Для зручності керування тиристором керуючий електрод роблять у більш тонкої бази, так як коефіцієнтом передачі струму емітера такою транзисторною структурою легше керувати, ніж коефіцієнтом передачі транзистора з товстою базою.

Керуючий контакт можна зробити не тільки непрямым, але і з додатковим р-п-переходом (рис. 7.4, б). При певній полярності напруги на керуючому електроді через додатковий перехід буде відбуватися інжекція неосновних носіїв заряду та їх накопичення у відповідній базі, що також призведе до перемикання тиристора у відкритий стан.

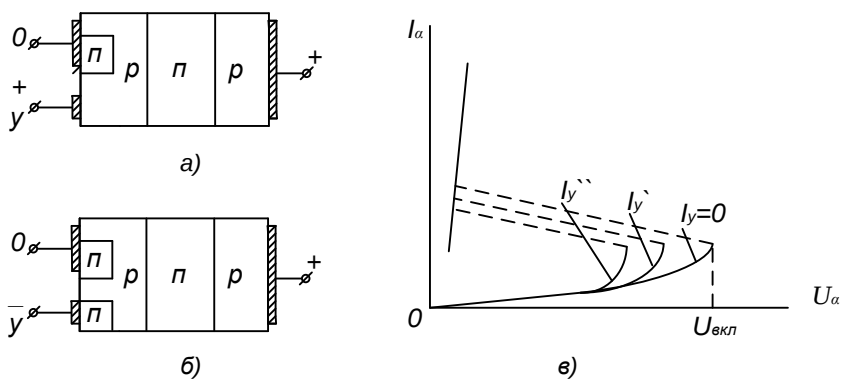


Рис. 7.4 – Структури трьохелектродних тиристорів з непрямою контактом між керуючим електродом і базою (а), з додатковим р-п-переходом під керуючим електродом (б) і вольт-амперні характеристики трьохелектродного тиристора при різних струмах ($I_y > I_y' > 0$) через керуючий електрод (в)

З розглянутих тиристорів тринистори отримали найбільше практичне застосування. Вони використовуються в імпульсних схемах, зв'язку, радіолокації, автоматичі, в потужних випрямлячах і інверторах, в пристроях управління електродвигунами і т. д.

Порядок виконання роботи

1. Підготуйте вимірювальні прилади, джерела живлення та макет, необхідні для проведення лабораторної роботи. Увімкніть цифрові мультиметри, і встановіть межі вимірювань для міліамперметра в колі керуючого електрода - 20 мА, для міліамперметра в ланцюзі анода -

200 мА, для вольтметра – 200 В. Перемикач П1-П2 встановіть у нейтральне положення. За допомогою з'єднувальних провідників зберіть схему для дослідження параметрів тиристорів (рис.7.5).

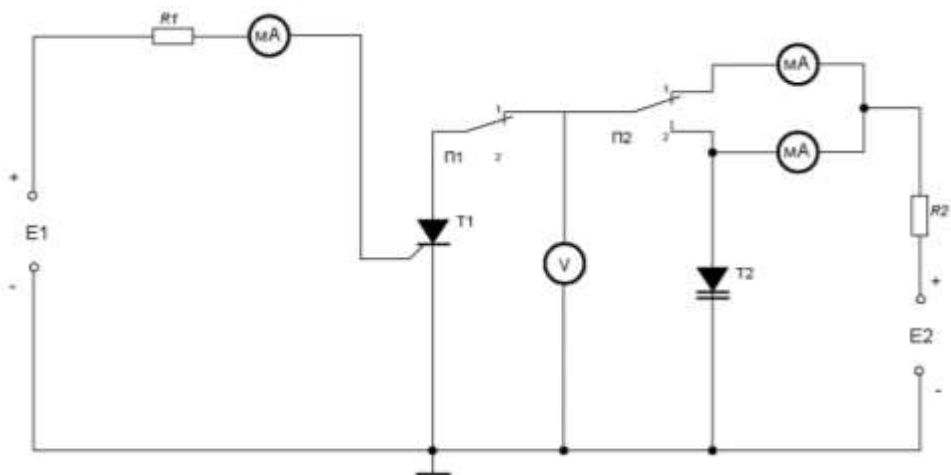


Рис. 7.5 – Схема дослідження динисторів і тринисторів

2. Отримавши дозвіл викладача, зніміть вольт-амперні характеристики динистора. Для цього перемикач П1-П2 на макеті перемкніть в положення "динистор". Змінюючи напругу анодного джерела в межах 1 ... 20 В з кроком в 1В отримаєте значення ВАХ

3. Зніміть вольт-амперні характеристики тиристора. Для цього перемикач П1-П2 на макеті перемкніть в положення "Тиристор". 5.1 Встановіть струм керуючого електрода 0,9 мА. Змінюючи напругу анодного джерела в межах 1 ... 20 В з кроком в 1В отримаєте значення ВАХ.

4. Повторити п.3 для значень струму керуючого електрода 0,95 мА і 1 мА.

5. Побудувати графіки ВАХ по отриманим таблицям. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Назва і мета роботи, перелік використовуваного обладнання.
2. Схема включення тиристорів.
3. Таблиця ВАХ динистора.
4. Графік ВАХ динистора.
5. Таблиці ВАХ тринистора.
6. Сімейство ВАХ тринистора.
7. Висновки.

Орієнтовні теми питань на захисті

Будова тиристора. Область застосування динисторів і тринисторів. Ділянка з негативним диференційним опором. Включення тринистора в режимі ключа. Особливості вольт-амперних характеристик тиристорів.

Лабораторна робота №8 ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи: ознайомитися з трансформаторними джерелами живлення і випрямлячами на основі напівпровідникових діодів.

Обладнання: лабораторний макет, цифровий мультиметр, осцилограф.

УВАГА!

**В даній лабораторній роботі використовується напруга 220 В!
Не намагайтеся це перевірити!**

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з лабораторним макетом, самостійно скласти його електричну принципову схему.
2. За допомогою мультиметру виміряти падіння напруги U_1 на резисторі, включеному в ланцюг первинної обмотки трансформатора.
3. Зібрати схему джерела живлення з діодним мостом та згладжуючим конденсатором.

УВАГА!

Конденсатор полярний, з'єднувати тільки однойменні виводи діодного моста і конденсатора: “+” з “+”, “-” з “-”!

4. Виміряти вихідну напругу джерела живлення (5...10 вимірювань).
5. Від'єднати конденсатор і зняти осцилограми напруги з виходу трансформатора та з виходу діодного моста.

Зміст звіту

1. Назва роботи, мета, обладнання.
2. Електрична принципова схема лабораторного макету.
3. Розрахунок струму в ланцюгу первинної обмотки трансформатора та потужності, яка споживається макетом.
4. Результати вимірювань напруги на виході джерела живлення з оцінкою абсолютної та відносної похибок.
5. Осцилограми сигналів після трансформатора та після випрямляча.
6. Оціночний розрахунок коефіцієнту трансформації.
7. Висновки.

Орієнтовні теми питань на захисті

Призначення і загальні риси будови джерел вторинного електроживлення. Трансформатори: класифікація, будова, принцип дії,

область використання, характеристики, конструкція. Основні схеми випрямлячів. Стабілізатори напруги. Запобіжники.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по схемотехнике для радиолюбителя // под ред. В.П. Боровского – К.: Техніка, 1989. – 480 с.
2. Справочник по полупроводниковым приборам // под ред. В.Ю. Лавриненко – К.: Техніка, 1988. – 520 с
3. У. Холовиц, В. Хилл – Искусство схемотехники (в 2-х томах) – М.: Мир, 1991

Електронні джерела:

<http://www.google.com.ua> >>> резистори; конденсатори; котушки індуктивності; трансформатори; *p-n*-перехід, зонна теорія твердого тіла; напівпровідникові діоди; біполярні транзистори, польові транзистори, тиристори; операційні підсилювачі; закон Ома; закон Джоуля-Ленца; закон електромагнітної індукції; закони Кірхгофа; електричний струм; електрична напруга; електрична енергія і т.д. – це дуже цінне джерело інформації, і намагайтесь обмежуватися не тільки Вікіпедією, а проглядати ще й другу і третю сторінки результатів пошуку...