

**Міністерство Освіти і Науки України
Державний вищий навчальний заклад
Донецький національний технічний університет**

**Методичні вказівки
до курсу "Комп'ютерна електроніка"**
для студентів спеціальності 6.050102 „Спеціалізовані комп'ютерні системи
(Комп'ютерні системи медичної технічної діагностики)”

затверджено
на засіданні кафедри ЕТ
протокол №6
від 26 січня 2010

затверджено
на засіданні навчально-видавничої Ради
ДВНЗ ДонНТУ

**Донецьк
ДонНТУ 2011р**

УДК 621.382

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Компьютерная электроника» для студентов специальности 6.050102 «Компьютерные системы диагностики в медицине и технике» /Сост. Н.Г. Винниченко, Д.Н. Кузнецов, - Донецк: ДоНТУ, 2011 – 27с. – украинский язык/

Приведені мета та задачі лабораторних робіт, порядок їх виконання, вимоги до змісту звітів, завдання на лабораторні роботи та методичні вказівки до їх виконання.

Укладачі: М.Г. Винниченко, канд.техн.наук, доцент,
Д.М. Кузнецов, канд.техн.наук, доцент.

Відповідальний за випуск: А.А. Зорі, д.т.н., професор

Рецензет: Ю.О. Скобцов, д.т.н., професор

Лабораторна робота № 1

Дослідження напівпровідникових діодів.

Мета роботи: вивчити конструкцію та принцип дії напівпровідникових діодів різних типів, зняти вольт-амперну характеристику діода та стабілітрона, експериментально визначити параметри.

Напівпровідниковим діодом називають — напівпровідниковий прилад з одним р-п переходом та двома выводами. По функціональному призначенню діоди ділять на випрямляючі, універсальні, імпульсні, детекторні, опорні (стабілітрони), тунельні та інші.

Більшість діодів виготовляються на основі несиметричних р-п переходів. Низькоомну область діодів називають емітером, а високоомну — базою. Для створення переходів з вентельними властивостями використовують р-п, р-і, п-і переходи, а також метал — напівпровідник. В рівноважному стані через р-п перехід протікає струм, який має дві складові. Перша обумовлена дифузиею основних носіїв заряду в область, де вони є неосновними, друга — дрейфом неосновних носіїв заряду теплового походження. Ідеальна ВАХ діода при прямому включенні визначається виразом

$$I = I_0 (\exp U / \varphi_m - 1)$$

де I_0 — струм в одному напрямі через р-п перехід, який знаходиться в рівноважному стані, і називається тепловим або зворотнім струмом насичення; $I_0 \exp U / \varphi_m$ — струм дифузії основних носіїв заряду при зниженні потенціального бар'єру за рахунок прикладеної напруги.

При зворотному вмиканні збіднений шар розширюється, оскільки під дією зовнішньої напруги електрони і дірки як основні носії заряду зміщуються в різні сторони від р-п переходу. При цьому дифузійна складова струму через р-п перехід зменшується, а дрейфова складова струму не змінюється, тому що концентрація неосновних носіїв заряду визначається процесом термогенерації, а не рівнем напруги..

Результуючий струм р-п переходу буде

$$I_z = I_0 (\exp(-U / \varphi_m) - 1)$$

В реальних діодах пряма та зворотна гілки ВАХ відрізняються від ідеальної. Це обумовлено тим, що тепловий струм діодів при зворотному вмиканні складає лише частину зворотного струму, а при прямому вмиканні впливає падіння напруги на опорній базі діодів рис.1.1а. З урахуванням падіння напруги на базі діоду рівняння прямої гілки вольт-амперної характеристики буде

$$I = I_0 (\exp(U - I_0 * r_0) / \varphi_m - 1)$$

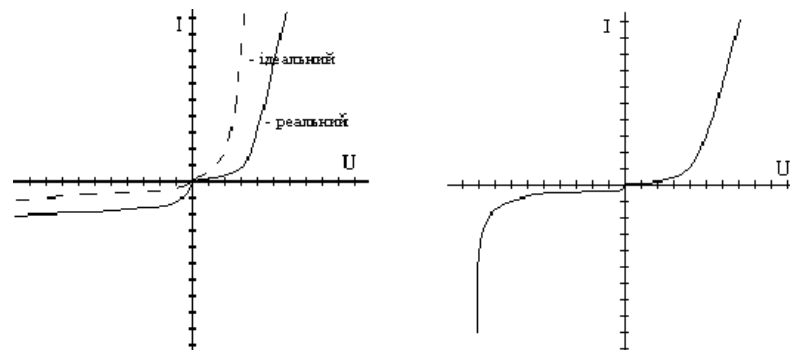
де r_0 — омичний опір бази.

При збільшенні зворотної напруги може відбутися пробій р-п переходу. Під пробоем розуміють значне зменшення зворотного опору. Розрізняють три типи пробієв: тунельний, лавинний і тепловий.

В основі тунельного пробію лежить тунельний ефект, тобто перехід електронів через потенціальний бар'єр, висота якого більше, ніж енергія носіїв заряду. Тепловий пробій відбувається за рахунок розігріву р-п переходу, коли кількість тепла, що виділяється струмом в р-п переході більше кількості теплоти, яка відводиться від нього. Лавинний пробій визивається ударною іонізацією, яка відбувається тоді, коли напруженність електричного поля, що визвана зворотною напругою, достатня для іонізації. При лавинному пробію напруга на р-п переході залишається постійною.

Тепловий пробій розрушує перехід, а тунельний і лавинний зворотні і використовуються в напівпровідникових діодах (опорних діодах) для стабілізації напруги. Механізм пробію може бути тунельним, лавинним або змішаним.

У низьковольтних стабілітронах більше вірогідний тунельний пробій. У стабілітроні з високоомною базою пробій являється лавинним. Матеріали, що використовуються для створення р-п переходів стабілітронах, мають високу концентрацію домішок, а тому напруженність електричного поля в р-п переході значно більша ніж у звичайних діодів. При відносно малих зворотніх напругах в р-п переході створюється сильне електричне поле, яке викликає електричний пробій. Струм через перехід змінюється в значних межах, а значення напруги залишається майже постійним (рис. 1.1б).



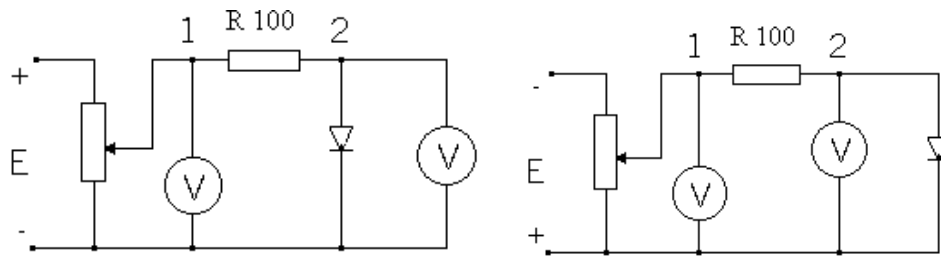
а) Реального та ідеального діодів б.) стабілітрона

Рис.1.1 Вольт-амперні характеристики діодів

Порядок виконання роботи

1. На лабораторному стенді зібрати схему для зняття вольт-амперних характеристик діоду ввімкнутому в прямому (рис.1.2а) і зворотному (рис.1.2б) напрямках

2. Змінюючи напругу з допомогою потенціометра від 0 до 4 В зняти вольт-амперну характеристику діоду ввімкненого в прямому напрямі. Величину струму визначити не прямими замірами, а при допомозі вольтметра визначаючи напругу на резисторі. Дані експерименту записати в таблицю



а). в прямому вмиканні

б). при зворотному вмиканні

Рис.1.2 Схеми для зняття ВАХ діодів.

U_{10}							
U_{20}							
U_{10^-} $U_{20^-}=U_{12}$							
$I=U_{12}/R$							

3.Зняти вольт-амперну характеристику діоду ввімкненого в зворотному напрямі.

4.Зібрати схему (рис 1.2) ввімкнувши замість діоду стабілітрон.

5.Зняти ВАХ стабілітрона, ввімкненого в прямому і зворотному напрямі. при цьому струм стабілітрона не повинен перевищувати 30 мА.

ЗМІСТ ЗВІТУ.

1.Схеми, дані експерименту, побудовані ВАХ діодів.

2.Визначені по даним експерименту параметри еквівалентних схем для діоду і стабілітрона.

3.Розрахунки за даними отриманими від викладача.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1.Чому змінюється струм діодів при зміні температури навколишнього середовища?

2.Як відрізняються ВАХ характеристики діодів виготовлених із кремнію і германію?

3.Які пробої відбуваються в діодах?

Лабораторна робота №2

Дослідження біполярних транзисторів.

Мета роботи – познайомитися з конструкцією та принципом дії транзистора, експериментально зняти вольт-амперні характеристики і визначити параметри еквівалентних схем.

Біполярний транзистор (БПТ) – це трьохелектродний напівпровідниковий прилад, що має два взаємодіючих р-п-переходи. Він є активним напівпровідниковим приладом і забезпечує підсилення потужності електричних сигналів. В транзисторі між трьома шарами напівпровідника різної електропровідності на межі їх поділу є два р-п-переходи. В залежності від характеру електропровідності зовнішніх шарів розрізняють транзистори типу р-п-р і п-р-п (рис. 2.1).

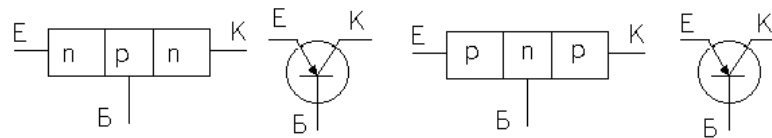


Рис. 2.1 Типи біполярних транзисторів.

Внутрішню область монокристала транзистора, що розподіляє р-п-переходи називають базою (Б). Зовнішній шар монокристала, що призначений для інжектування носіїв заряду в базу, називають емітером (Е), а р-п-перехід, що примикає до емітера, - емітерним. Інший зовнішній шар, екстрагуючий носії заряду з бази, називають колектором, а перехід – колекторним. Щоб відбувалася інжекція носіїв заряду в базу емітер має більше домішок, ніж колектор, а відповідно набагато менший опір. База слабо легірується домішками, а тому має великий опір. Ширина бази, що знаходиться між р-п-переходами називається активною. Взаємодія між двома р-п-переходами буде існувати тільки тоді, коли активна ширина бази буде набагато менше дифузійної довжини неосновних носіїв заряду. Кожний із переходів може бути ввімкнений як в прямому так і в зворотному напрямі.

В залежності від комбінації ввімкнення переходів отримують три режими роботи транзистора:

1. Активний режим, при якому емітерний перехід ввімкнений в прямому напрямі, а колектор – в зворотному. Цей режим використовується у більшості схем підсилювачів та імпульсних приладах.
2. Режим відсічки – обидва переходи ввімкнені в зворотному напрямі і через транзистор проходять незначні струми.
3. Режим насичення – обидва переходи ввімкнені в прямому напрямі і через транзистор проходять великі струми.

При використанні транзистора в активному режимі, для створення емітерного струму потрібна невелика потужність, а потужність, яка створюється в колекторному колі, в наслідок великого опору колекторного переходу буде значно більшою, тому транзистор являється підсилювачем потужності. В залежності від того, який електрод загальний для вхідної і вихідної напруг отримують три схеми ввімкнення транзистора: з загальною базою (ЗБ), з загальним емітером (ЗЕ), з загальним колектором (ЗК). Розглядаючи транзистор як чотирьохполюсник, його можна описати різними системами рівнянь. Найбільше вживаними є три системи з відповідними коефіцієнтами. Система Z- параметрів . Система Y– параметрів. . Система h- параметрів

$$\begin{cases} u_1 = f(I_1; I_2) \\ u_2 = f(I_1; I_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 = f(u_1; u_2) \\ I_2 = f(u_1; u_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = f(I_1; u_2) \\ I_2 = f(I_1; u_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = z_{11} I_1 + z_{12} I_2 \\ u_2 = z_{21} I_1 + z_{22} I_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = y_{11} u_1 + y_{12} u_2 \\ u_2 = y_{21} u_1 + y_{22} u_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = h_{11} I_1 + h_{12} u_2 \\ I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} u_2 \end{cases}$$

.Найбільше часто вживається h- параметри, тому що вони легко визначаються експериментальним шляхом і мають конкретний фізичний смисл.

$$h_{11} = \left. \frac{\partial u_1}{\partial I_1} \right|_{u_2 = const}$$

- вхідний опір транзистора при короткому замиканні на виході.

$$h_{12} = \left. \frac{\partial u_1}{\partial u_2} \right|_{I_1 = const}$$

коefficient зворотного зв'язку по напрузі при холостому ході на вході.

$$h_{21} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial I_1} \right|_{u_2 = const}$$

коefficient передачі струму при короткому замиканні на виході.

$$h_{22} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial u_2} \right|_{I_1 = const}$$

вихідна провідність при холостому ході на вході.

Значення h- параметрів залежить від схеми вмикання транзистора. Відповідно до системи рівнянь (3), транзистор в загальному виді можна представити еквівалентною схемою рис. 2.2, для безмежно малих сигналів, коли характеристики лінійні.

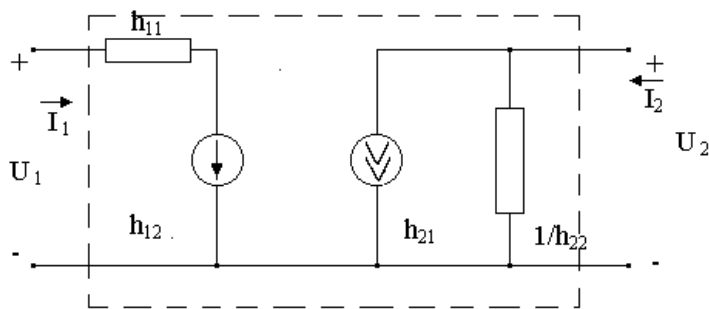


Рис. 2.2 Еквівалентна схема транзистора для h-параметрів.

В декартовій системі координат рівняння, що описують транзистор, характеризують 4 типа характеристик транзистора. Дві із них мають переважне значення (рис 2.3).

1. вхідні характеристики $I_1 = f(U_1)$ $U_2 = const$

2. вихідні характеристики $I_2 = f(U_2)$ $U_1 = const$

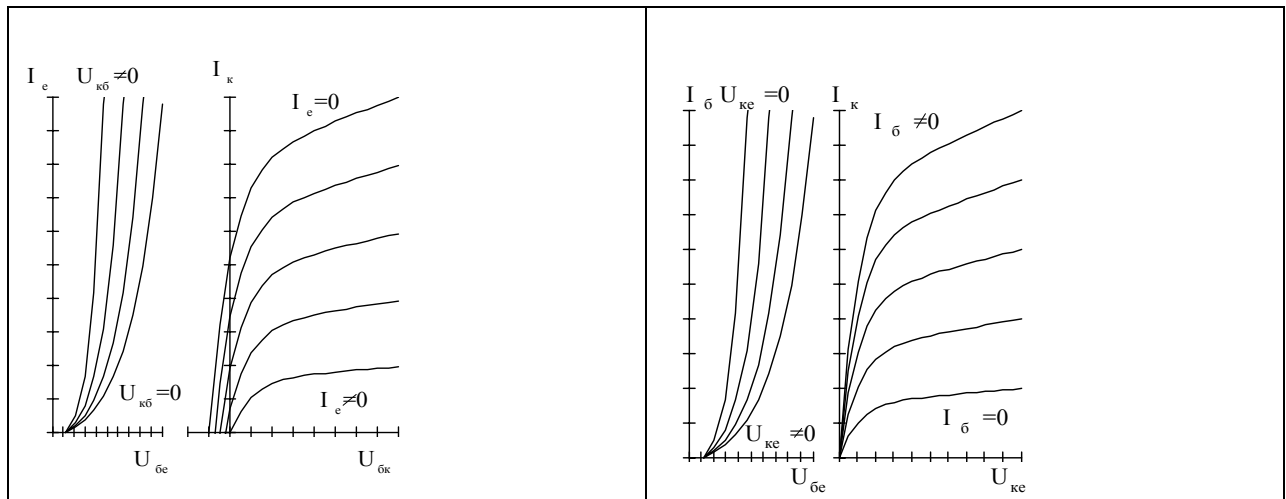


Рис 2.3 Вхідні та вихідні характеристики транзистора

Дві інші сім'ї ВАХ практичного застосування не отримали. Маючи одну із систем параметрів для довільної схеми вмикання визначають інші параметри для необхідної схеми. В лабораторній роботі визначаються ВАХ і h - параметри для схеми вмикання з загальним емітером. Лабораторна робота виконується на спеціальному стенді, який має джерело живлення, вимірювальні прилади, а також схему, вид якої змінюється за допомогою тумблерів.

Порядок виконання роботи

1. На універсальному лабораторному стенді зібрати схему рис. 2.4 для зняття ВАХ біполярного транзистора, ввімкненого за схемою з загальним емітером.

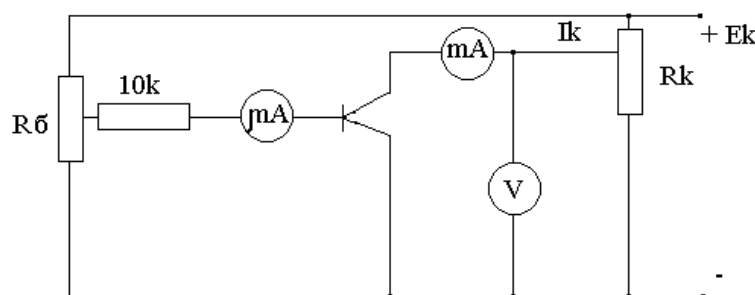


Рис 2.4 Схема для визначення ВАХ транзистора.

2. Зняти сім'ю вхідних характеристик транзистора $I_c = f(U_{be})$ при $U_{ce} = 0V; +2V; +5V; +10V$. дані занести в таблицю 2.1
3. Зняти сім'ю вихідних характеристик з загальним емітером $I_c = f(U_{cl})$ при $I_b = 0; 50, 100, 150, 200$ [мкА] дані занести в таблицю 2.2

N	0		+2		+5		+10	
	I_b	U_{be}	I_b	U_{be}	I_b	U_{be}	I_b	U_{be}
1								
2								
3								

Таблиця 2.2

N	50мкА		100мкА		150мкА		200мкА	
	I_k	U_{ke}	I_k	U_{ke}	I_k	U_{ke}	I_k	U_{ke}
1								
2								
3								

4. Визначити експериментально h – параметри біполярного транзистора в заданій викладачем точці, для чого в коло колектора ввімкнути резистор 750 Ом

4.1 Встановити задані величини струму I_b і напруги U_{ke} , а також отримані I_k напругу U_{be} . Дані занести в перший рядок таблиці 2.3

Таблиця 2.3

N	I_b	U_{be}	I_k	U_{ke}	U_m
1					
2					
3					

4.2 Змінити напругу мережі U_m і при допомозі резистора R_b встановити попереднє значення струму бази. Зняти значення величин і записати в другий рядок таблиці 2.3

4.3 За допомогою резистора R_b встановити величину напруги U_{ke} яка була в п.4.1, зняти покази приладів і записати в третій рядок таблиці 2.3.

4.4 Визначити зміни струмів ΔI_b і ΔI_k та напруги ΔU_{be} і ΔU_{ke} і вирахувати h -параметри транзистора.

Зміст звіту

1. Подати умовне позначення, цоколювию і парметри досліджуваного транзистора за даними довідника.
2. Схему рис. 2.3 дані вимірювань п.2.3 і побудовані характеристики БПТ.
3. Таблиці з даними вимірювань згідно з пунктами 2,3,4.
4. Визначені h - параметри за даними експерименту.
5. По вхідним і вихідним характеристикам в точці спокою визначені h - параметри графічно.
6. Подати лінійну еквівалентну схему транзистора в h -параметрах.

Контрольні запитання

1. Який принцип роботи транзистора?
2. Які схеми вмикання транзисторів та їх особливості?
3. Що характеризують коефіцієнти α і β транзистора і яка залежність між ними?
4. Які типи транзисторів ви знаєте?
5. Які бувають пробої транзистора?

Лабораторна робота N 3.

Дослідження польових транзисторів.

Мета роботи-експериментально зняти статичні вольт-амперні характеристики польового транзистора з керуючим р-n- переходом і визначити параметри.

Лабораторна робота виконується на універсальному стенді. Напівпровідникові прилади, робота яких основана на модуляції опору напівпровідникового матеріалу поперечним електричним полем, називають польовими (уніполярними) транзисторами. В цих приладах електричний струм створюється носіями заряду тільки одного типу: електронами або дірками.

Польові транзистори (ПТ) бувають двох типів : з керуючим р-n переходом і структури метал-діелектрик-напівпровідник (МДН- транзистори). ПТ відрізняється від БПТ тим, що він керується електричним полем, яке створюється вхідною напругою.

Транзистор з керуючим р-n переходом представляє собою пластинку з напівпровідника, який має провідність типу n або p, від кінців якої відходять два виводи-електроди стоку і витоку. Вздовж пластинки виготовлений електричний р-n-перехід, від якого зроблено третій відвід - затвор. Зовнішнє електричне поле підключається між стоком і витоком так, щоб проходив струм, а напруга підведена до затвору, зміщувала електричний перехід в зворотному напрямі.

Область напівпровідника, яка розташована під переходом називається каналом, і її опір залежить від напруги на затворі. Розміри переходу збільшуються або зменшуються в залежності від полярності напруги прикладаної до затвору, що приводить до зменшення або збільшення електричного опору каналу. Електрод, від якого починають рухатися основні носії заряду в каналі, називають витоком, а електрод, до якого рухаються-стоком.

Канал польового транзистора може бути виготовлений із напівпровідника з провідністю типу p або n, а відповідно і напруга, яка підводиться до затвору буде негативною або позитивною .

Основними характеристиками ПТ являються:

1. Стокова (вихідна) вольт-амперна характеристика : $I_c = f(U_c)$ при $U_3 = const$
2. Стокозатворна - $I_c = f(U_3)$ при $U_c = const$ (див. рис.3.1)

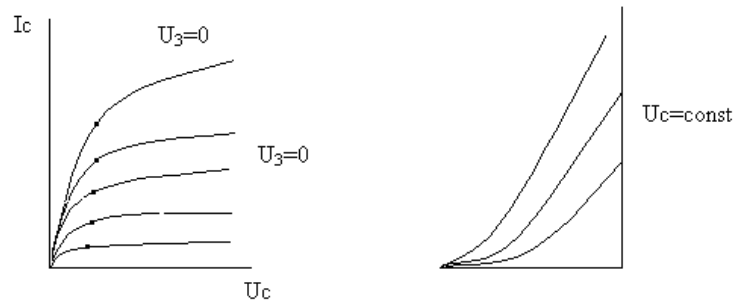


Рис.3.1. ВАХ польового транзистора з керуючим р-п-переходом.

Напруга між затвором і витком, при якій струм стоку досягає заданого низького рівня ($I_c \Rightarrow 0$) називають напругою відсічки польового транзистора $U_{з\text{і відс}}$. При низьких напругах $U_{\text{св}}$ і малому струмі I_c транзистор поводить себе як лінійний опір. При підвищенні напруги $U_{\text{св}}$ характеристика $I_{\text{св}} = f(U_c)$ стає нелінійною, що пов'язано із звуженням каналу біля стокового виводу. При деякій значенні струму відбувається насичення, при якому I_c мало змінюється зі збільшенням U_c . Напруга, при якій відбувається режим насичення, називається напругою насичення. Вплив $U_{\text{зв}}$ і $U_{\text{св}}$ практично однаковий, тому при $U_{\text{з}} \neq 0$ режим насичення буде при меншій напрузі $U_{\text{св}}$.

В зв'язку з тим, що керування ПТ відбувається напругою на затворі, то для кількісної оцінки керуючої дії затвору використовують крутість характеристик

$$S = dI_c / dU_g \quad \text{при } U_c = \text{const}$$

Підсилюючі властивості ПТ характеризують коефіцієнтом підсилення

$$\mu = -dU_g / dI_c \quad \text{при } I_c = \text{const}$$

Опір каналу, який характеризує нахил ВАХ в заданій точці

$$R_i = dU_g / dI_c \quad \text{при } U_g = \text{const}$$

Ці параметри пов'язані між собою залежністю $\mu = S * R_i$

Порядок виконання роботи.

1. Зібрати схему для зняття вольт-амперних характеристик ПТ з керуючим р-п-переходом (рис.3.2)
2. Змінюючи напругу на стоку зняти ВАХ польового транзистора.
 - 2.1 Сімейство стокових характеристик транзистора при заданих напругах на затворі. Дані занести в таблицю 3.1
 - 2.2 Сімейство ВАХ передачі (стокозатворних) ПТ при різних напругах стік-витік. Дані занести в таблицю 3.2

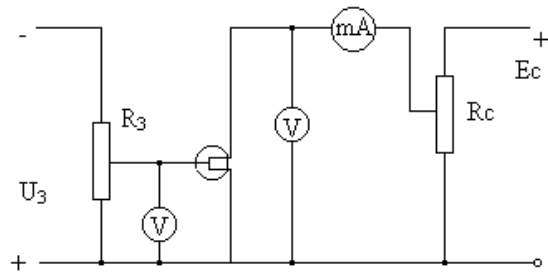


Рис.3.2 Схема для зняття ВАХ ПТ з керуючим р-п-переходом.

3. Побудувати сімейства вихідних і стокзатворних ВАХ.

Таблиця 3.1

$U_3=0$		$U_3=$		$U_3=$		$U_3=$		$U_3=$	
I_c	U_c	I_c	U_c	I_c	U_c	I_c	U_c	I_c	U_c

Таблиця 3.2

$U_c=$		$U_c=$		$U_c=$	
I_c	U_3	I_3	U_3	I_3	U_3

4. Визначити параметри польового транзистора дослідним шляхом, дані експерименту занести в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 Дані для визначення параметрів транзистора

N	U_3	U_c	I_c
1			
2			
3			

5. По статичним ВАХ ПТ знайти малосигнальні параметри.

а) крутість характеристики керування $S = \partial I_c / \partial U_3 / U_c = \text{const}$

б.) внутрішній опір ПТ $R_z = \partial U_c / \partial I_c / U_3 = \text{const}$

в) статичний коефіцієнт підсилення по напрузі: $\mu = S R_z = \partial U_c / \partial U_3 / I_3 = \text{const}$

Зміст звіту.

1. Довідникові дані досліджуваного транзистора та його умовне позначення і цоколювку.
2. Принципову схему для проведення дослідів.

3. Таблиці і графіки відповідних ВАХ транзистора.
4. Розрахунок параметрів транзистора визначених експериментально і графоаналітично, еквівалентні схеми.
5. Висновки.

Контрольні запитання.

1. Намалюйте структуру польових транзисторів з каналами n і р типів. Чим вони відрізняються?
2. Які схеми вмикання ПТ ви знаєте?
3. Які основні параметри транзистора?

Лабораторна робота N 4.

Дослідження транзисторних підсилювачів звукової частоти на біполярних транзисторах.

Мета роботи-вивчити принципи побудови транзисторних підсилювачів звукової частоти, експериментально зняти характеристики та визначити основні параметри підсилювачів.

Лабораторна робота виконується на універсальному лабораторному стенді. Відповідно трьом схемам вмикання транзистора (3Е; 3Б; 3К) існує три різновиди схем транзисторних підсилювачів: підсилювач з загальним емітером (рис.4.1а), підсилювач з загальною базою (рис.4.1.б) , підсилювач з загальним колектором (рис.4.1.в)

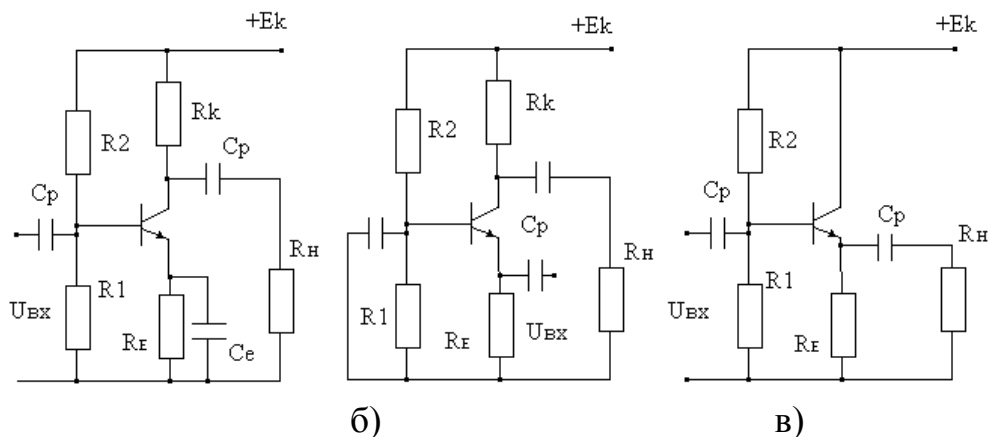


Рис.4.1 Принципові схеми підсилювачів а). з загальним емітером; б.) з загальною базою; в). з загальним колектором.

Основними параметрами транзисторного підсилювача являються:

$$\text{Коефіцієнт підсилення по напрузі} \quad \dot{K}_u = U_{вих} / U_{вх}$$

$$\text{Коефіцієнт підсилення по струму} \quad \dot{K}_i = I_{вих} / I_{вх}$$

$$\text{Коефіцієнт підсилення по потужн} \quad K_p = P_{вих} / P_{вх} = K_u * K_i$$

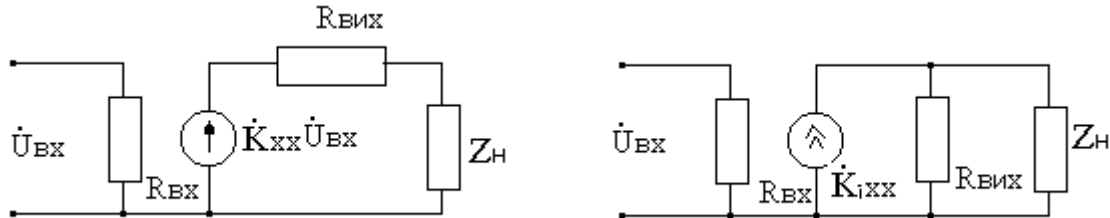
Вхідний опір

$$Z_{вх} = U_{вх} / I_{вх}$$

Вихідний опір

$$Z_{вих} = (E_{вих} - E_{вх}) / I_{вих} = (U_{хх} - U_{вих}) / I_{вих}$$

При допомозі цих параметрів підсилювач можна подати стандартним чотирьохполюсником з генератором напруги, або генератором струму (рис.4.2)



а) З генератором напруги

б) З генератором струму

Рис. 4.2 Еквівалентні схеми підсилювача

Замінивши $Z_н$ через параметри схеми підсилювача можна визначити останні параметри такі як: коефіцієнти частотних спотворень в області нижніх та верхніх частот.

Порядок виконання роботи.

1.Зібрати на універсальному стенді схему підсилювача з загальним емітером і при $E_k=10$ В заміряти параметри режиму роботи за постійним струмом $I_{бп}$, $I_{кп}$, $U_{кп}$, $U_{бп}$.

2.На вхід підсилювача підключити звуковий генератор, а на вихід осцилограф.

3.На частоті 1000 Гц на вхід подати таку напругу, щоб $U_{вих}=1$ В при заданому $R_н$.

4.Визначити параметри підсилювача як стандартного чотирьохполюсника.

5.Аналогічно провести досліди для підсилювачів з загальною базою та колектором.

6.Для схеми з загальним емітером зняти характеристику навантаження на частоті 1000 Гц.

7.Змінюючи частоту вхідного сигналу від 20 Гц до 200 кГц зняти частотну характеристику підсилювача.

Зміст звіту.

Для кожної схеми підсилювача складається окремий зміст.

1.Схему підсилювача та параметри роботи підсилювача за постійним струмом.

2. Результати вимірювань для визначення основних параметрів підсилювача як стандартного чотирьохполюсника.
3. Дані для побудови характеристики навантаження.
4. Дані для побудови частотної характеристики.
5. Еквівалентні схеми підсилювача та відповідні характеристики.

Контрольні запитання.

1. Яке призначення підсилювачів напруги?
2. Чим визначаються частотні спотворення підсилювачів.
3. Зробіть порівняльну характеристику підсилювачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА N5.

Дослідження підсилювачів на польових транзисторах.

Мета роботи: вивчити принцип роботи підсилювачів на польових транзисторах, методику розрахунку різних схем підсилювачів, отримати навички експериментального визначення характеристик і параметрів підсилювачів.

Лабораторна робота виконується на універсальному лабораторному стенді, який дозволяє за допомогою перемикачів зібрати потрібну схему підсилювача (з загальним витоком, стоком або затвором). Схеми підсилювачів приведені на рис. 5.1

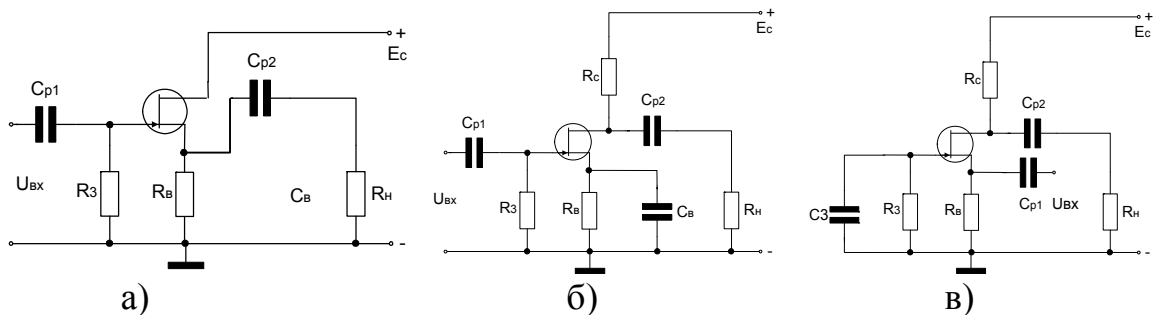


Рис. 5.1 Принципові схеми підсилювачів на ПТ. а) з загальним стоком; б) з загальним витоком; в) з загальним затвором.

Порядок виконання роботи.

1. Зібрати на універсальному стенді схему заданого підсилювача. При напрузі живлення 10 В заміряти параметри робочого режиму підсилювача за постійним струмом.
2. На вхід підсилювача підключити звуковий генератор, а на вихід – осцилограф.
3. На частоті 1000 Гц подати напругу на вхід підсилювача від звукового генератора, щоб вихідний сигнал був без спотворення і мав синусоїдальну форму.

4.Провести необхідні заміри для визначення коефіцієнтів підсилення підсилювача, вхідного та вихідного опорів при різних опорах навантаження.

5.Змінюючи частоту звукового генератора в межах 20Гц-200кГц зробити необхідні вимірювання для побудови амплітудно-частотної характеристики.

ЗМІСТ ЗВІТУ.

- 1.Характеристики ПТ із попередньої лабораторної роботи .
- 2.Параметри транзистора в робочій точці.
- 3.Принципові схеми підсилювачів їх еквівалентні схеми та розрахункові параметри підсилювача K_u , $R_{вх}$, $R_{вих}$.
- 5.Таблиці експериментальних досліджень, та параметри.
- 6.Частотні характеристики.
- 7.Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

- 1.Чим відрізняються підсилювачі на БПТ від підсилювачів на ПТ.
- 2.Зробіть порівняльну характеристику підсилювачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6.

Дослідження підсилювачів зі зворотним зв'язком.

Мета роботи –вивчити призначення і типи зворотних зв'язків у підсилювачах і експериментально визначити вплив зворотного зв'язку на параметри і характеристики підсилювачів.

Для отримання стабільних характеристик і параметрів підсилювача використовують зворотний зв'язок, тобто частину вихідного сигналу подають знову на вхід через чотирьохполюсник зворотного зв'язку (рис.6.1) так щоб виконувалися умови:

$$\overset{\bullet}{U}_{12} = \overset{\bullet}{U}_{вх} + \overset{\bullet}{U}_{56} \qquad \overset{\bullet}{U}_{56} = \overset{\bullet}{\beta} \cdot \overset{\bullet}{U}_{вих} = \overset{\bullet}{\beta} \cdot \overset{\bullet}{K} \cdot \overset{\bullet}{U}_{12}$$

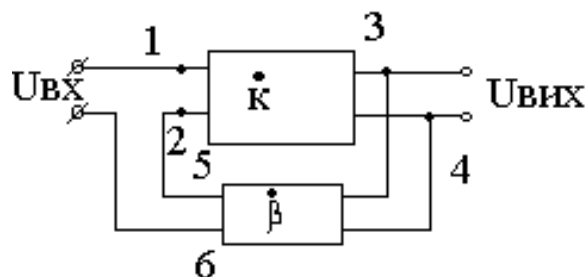


Рис.6.1 Чотирьохполюсник охоплений зворотним зв'язком

$\overset{\bullet}{K}$ - коефіцієнт підсилення підсилювача без зворотного зв'язку .

$\dot{\beta}$ - коефіцієнт передачі ланцюга зворотного зв'язку.

Тоді коефіцієнт підсилення підсилювача із зворотним зв'язком буде рівний

$$\dot{K}_{\beta} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{\dot{K}}{1 - \dot{\beta} \cdot \dot{K}}$$

В залежності від того, який зсув фаз між вхідним сигналом і напругою зворотного зв'язку, коефіцієнт може збільшуватися, або зменшуватися. Тобто зв'язок може бути позитивним, або негативним. В залежності від того як отримують напругу зворотного зв'язку він може бути по струму або напрузі.

Порядок виконання роботи.

1. На універсальному стенді зібрати схему підсилювача зі зворотним зв'язком.(рис.6.2)

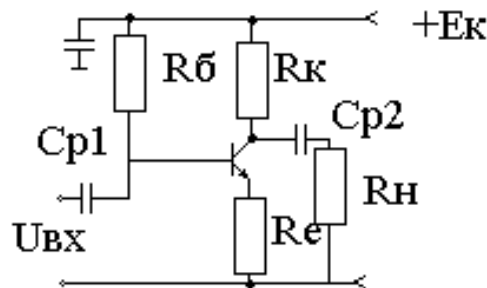


Рис.6.2 Схема підсилювача з зворотним зв'язком.

2. Заміряти параметри режиму роботи транзистора по постійному струму.
3. На вхід підсилювача підключити генератор звукової частоти, а на вихід осцилограф.
4. Установити частоту вхідного сигналу 1000 Гц і експериментально визначити величину вхідного сигналу, при якому вихідний сигнал має синусоїдальну форму при відсутності і наявності зворотного зв'язку.
5. На цій частоті зробити необхідні заміри для визначення коефіцієнтів підсилення по напрузі і струму, вхідного і вихідного опору при заданому навантаженні для підсилювача з зворотним зв'язком і без нього.
6. Визначити коефіцієнт зворотного зв'язку.
7. Змінюючи частоту вхідного сигналу в межах 20Гц-200кГц виконати необхідні заміри для побудови амплітудночастотної характеристики підсилювача.

Зміст звіту.

1. Принципову схему підсилювача, його еквівалентну схему і визначені по них параметри підсилювача.
2. Таблиці і графіки відповідних характеристик.

3. Параметри робочої точки транзистора за постійним струмом.
4. Порівняльну характеристику підсилювача зі зворотним зв'язком і без нього.

Контрольні запитання.

1. Як впливає зворотний зв'язок на параметри підсилювача?
2. Як впливає зворотний зв'язок на частотні характеристики підсилювача?
3. Які типи зворотних зв'язків ви знаєте?
4. Як впливає зворотний зв'язок на стійкість підсилювача?

Лабораторна робота N 7.

Дослідження операційних підсилювачів.

Мета роботи –вивчити принцип роботи інвертуючого і неінвертуючого підсилювачів, побудованих на базі операційних ППС в інтегральному виконанні. Експериментально визначити основні характеристики і параметри підсилювачів.

Операційним підсилювачем (ОП) називають підсилювач електричних сигналів, який використовується для виконання різних операцій над аналоговими величинами при роботі в схемах з негативним зворотним зв'язком .

Операційний підсилювач має два входи і один вихід (рис.7.1). В залежності від того на який вхід подається вхідна напруга, вихідна напруга може співпадати по фазі з вхідною, то такий підсилювач називається неінвертуючий.

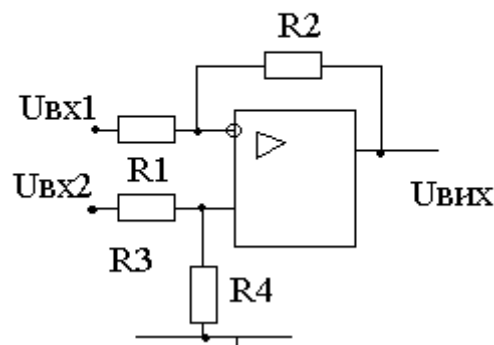


Рис.7.1 Схема операційного підсилювача.

Якщо вихідний сигнал має зсув фази по відношенню до вхідного 180° то такий підсилювач називається інвертуючим.

Операційний підсилювач має коефіцієнт підсилення $10^3 - 10^6$, тому для покращення його характеристик, його охоплюють негативним зворотним зв'язком. Коефіцієнт підсилення підсилювача охопленого негативним зворотним зв'язком визначається як

$$K_{\beta} = \frac{K}{1 + \beta k}$$

Якщо виконати умову, що $\beta k \gg 1$, то тоді $K_{\beta} = \frac{K}{\beta k} = \beta$

Тобто коефіцієнт підсилення практично не буде залежати від коефіцієнта підсилення самого підсилювача. Якщо коефіцієнт β буде мати тільки активні елементи, то частотні характеристики і стабільність параметрів підсилювача будуть в широкому діапазоні зміни температури і частоти постійними.

Основною перевагою ОП перед іншими підсилювачами є те, що він з таким же коефіцієнтом підсилює і сигнал постійного струму. Коефіцієнти підсилення по напрузі для інвертуючого і неінвертуючого підсилювача відповідно рівні

$$K_{U-} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{і} \quad K_{U+} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Порядок виконання роботи.

1. Зібрати на універсальному стенді схему інвертуючого підсилювача.

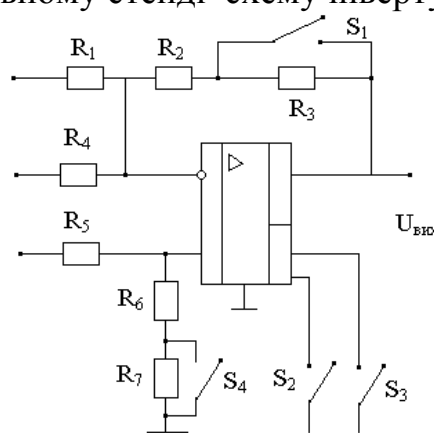


Рис 7.2 Принципова схема стенду.

2. Ввімкнути джерело живлення ± 10 В.
3. Підключити вольтметр на вихід і встановити "0" на виході підсилювача при допомозі резистора установки "нуля".
4. На вхід підключити звуковий генератор і на частоті 1000 Гц при рівні сигналу, що відповідає лінійному режиму роботи підсилювача, визначити експериментально коефіцієнт підсилення підсилювача в режимі холостого ходу по виходу для різних значень резисторів зворотного зв'язку.
5. Визначити експериментально величину вхідного і вихідного опору підсилювача.

6. Зняти на частоті 1000 Гц амплітудну характеристику підсилювача $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$.
7. Зібрати схему неінвертуючого підсилювача і провести аналогічні досліді.

Зміст звіту.

1. Схеми досліджуваних підсилювачів .
2. Таблиці даних вимірювань, формули і розрахунки для визначення K_u , $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вих}}$.
3. Амплітудні характеристики.
4. Еквівалентні схеми підсилювачів як чотирьохполюсників.

Контрольні запитання.

1. Як експериментально визначити вхідний і вихідний опори підсилювача?
2. Яке призначення і принцип роботи схеми установки “нуля”.
3. Для чого застосовуються схеми корекції?
4. Нарисуйте схему повторювача на ОП.

Лабораторна робота N8.

Дослідження генераторів синусоїдальних коливань.

Мета роботи-вивчити принцип роботи та призначення RC-генераторів на базі операційних підсилювачів.

Генератором синусоїдальних коливань називають електронний пристрій, який перетворює постійний струм в струм, який має форму синусоїди.

Генератор – це підсилювач електричних сигналів, охоплений позитивним зворотним зв'язком. Коефіцієнт підсилення такого підсилювача визначається як

$$K_{\beta} = \frac{\overset{\cdot}{K}}{1 - \underset{\cdot}{\beta} \underset{\cdot}{K}}$$

При умові, що $1 = \beta k$ коефіцієнт підсилення такого підсилювача буде прямувати до нескінченності. Це значить, що при відсутності вхідного сигналу за рахунок власних шумів на виході підсилювача з'явиться сигнал, що має частоту на якій збуджується підсилювач. Схема підсилювача охопленого позитивним зворотним зв'язком приведена на рис. 8.1

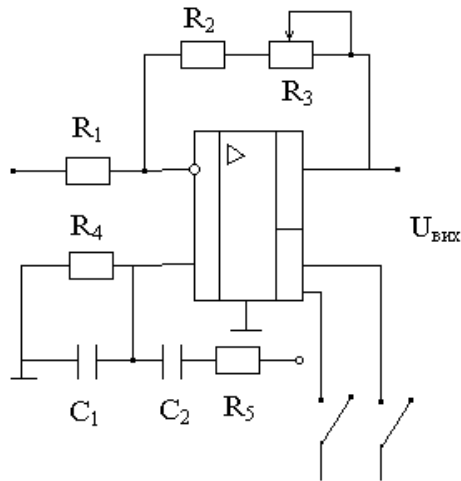


Рис. 8.1 Схема RC-генератора на ОП.

Порядок виконання роботи.

1. Зняти амплітудно-частотну характеристику чотирьохполюсника зворотного зв'язку і знайти частоту квазірезонансу і коефіцієнт передачі на цій частоті .
2. На інвертуючий вхід ОП підключити звуковий генератор і визначити мінімальний і максимальний коефіцієнти підсилення.
3. Замкнути коло зворотного зв'язку . На вихід ОП підключити осцилограф . Визначити коефіцієнт підсилення підсилювача при якому він переходить в режим генерації і визначити частоту коливань.
4. Зменшити коефіцієнт підсилення підсилювача і зняти амплітудно-частотну характеристику підсилювача.

Зміст звіту.

1. Схема RC-генератора.
2. Таблиці експериментів, графіки АЧХ ланцюга зворотного зв'язку та вибіркового підсилювача.
3. Результати виміру частот та коефіцієнтів підсилювання підсилювача і їх теоретичний розрахунок.

Контрольні запитання.

1. Як впливає величина коефіцієнта підсилення підсилювача на умови збудження генератора?
2. Що значить умови балансу фаз і балансу амплітуд?
3. Як визначити коефіцієнт передачі чотирьохполюсника зворотного зв'язку .

Лабораторна робота №9.

Дослідження мультивібратора.

Мета роботи –вивчити роботу, ознайомитися з принципами побудови мультивібраторів на різних елементах, експериментально визначити параметри та методику розрахунку періоду коливань.

Мультивібраторами називаються генератори, які складаються із широкосмугових підсилювачів, охоплених позитивним зворотним зв'язком, якій має елементи, що накопичують енергію. Широкосмугові підсилювачі можуть бути побудовані на різних елементах як то: транзистори, лампи, логічні елементи, операційні підсилювачі та інші.

В теперішній час широко застосовуються для побудови мультивібраторів логічні елементи І-НЕ та АБО-НЕ, а також операційні підсилювачі. Такі мультивібратори мають сталі параметри, а вихідні імпульси форму майже прямокутну. В залежності від того як організовано зворотний зв'язок мультивібратор може мати довгочасний стійкий стан і короткочасний стан в який він переходить під дією вхідного сигналу. Такі мультивібратори називаються одновібраторами. Якщо він має два короткочасних стійких стани- то така схема називається автоливальним мультивібратором.

Порядок виконання роботи.

1. Зібрати схему мультивібратора на операційному підсилювачі (рис.9.1).

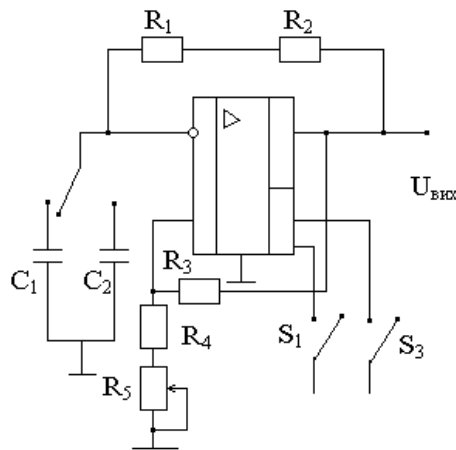


Рис. 9.1 Принципова схема мультивібратора.

2. На вихід мультивібратора підключити осцилограф і включити напругу живлення операційного підсилювача.
3. Зняти осцилограми на виході мультивібратора, конденсаторі та неінвертуючому вході ОП.
4. Зняти залежність частоти від величини опору чотирьохполюсника зворотного зв'язку та величини ємності конденсатора.
5. По осцилограмах визначити параметри імпульса та паузи.

Зміст звіту.

1. Принципову схему мультивібратора.
2. Осцилограми напруг в різних точках мультивібратора.
3. Параметри імпульсів і пауз для різних частот .
4. Теоретичний розрахунок параметрів імпульса, паузи та частоти коливань.
5. Висновки.

Контрольні запитання.

1. Від чого залежить тривалість імпульсу та паузи?
2. Як впливає на частоту коливань мультивібратора напруга живлення?
3. Складіть схему МВ на логічних елементах.

Лабораторна робота N 10.

Дослідження тригерів.

Мета роботи: вивчити принцип дії та побудову найпростіших тригерів на транзисторах та логічних елементах. Експериментально перевірити функціонування RS- та T-тригерів. Скласти таблиці істинності.

Тригери відносяться до класу бістабільних генераторів прямокутних імпульсів. Вони характеризуються тим, що кожний із двох станів рівноваги в них є тривалостійким і здібністю переходити стрибком із одного тривалостійкого стану в інший під дією зовнішнього імпульсного сигналу в найпростіших випадках зміна статичного сигналу із деякого високого рівня напруги (умовної “1”), до деякого низького значення (умовного “0”) визначається зміною вихідної напруги на активному елементі . Такі тригери називаються потенціальними або статичними. Статичний тригер має два виходи – основний(прямий) Q та інверсний P . В статичних станах значення напруг на виходах P і Q взаємно зворотні: якщо $Q=1$, то $P=0$, якщо $Q=0$, то $P=1$, тобто $P=\bar{Q}$

Схеми тригерів можуть бути побудовані на транзисторах, лампах, логічних елементах та інших. На рис.10.1 показана схема на біполярних транзисторах типу p-n-p .

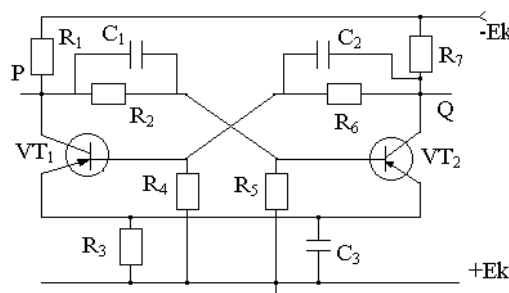


Рис.10.1 Принципова схема тригера на біполярних транзисторах.

Такий тригер отримують в результаті з'єднання двох транзисторних ключових каскадів таким чином, що вхід одного зв'язаний з виходом другого, тобто між каскадами існує сто відсотковий позитивний зворотний зв'язок.

По закінченні перехідних процесів один транзистор буде працювати в режимі насичення, а другий в режимі відсічки. При цьому на виході першого буде низький рівень напруги, а на другому високий рівень. В такому стані тригер буде знаходитися до того часу, доки на вхід не поступить імпульс запуску. В залежності від схеми запуску тригери ділять на групи одновходові D-; T-тригери і двохвходові RS-; JK- тригери та інші. Кожний тригер може бути як синхронним так і асинхронним. В обчислювальній техніці в основному застосовуються синхронні тригери. В цих тригерах на вхід крім інформаційного сигналу одночасно подається і тактовий імпульс, для цього застосовуються спеціальні схеми запуску.

Роботу потенціального тригера як і любого логічного пристрою можна описати таблицею істинності яку часто називають таблицею переключень, по якій можна скласти рівняння, що описує тригер як елементарний автомат.

Порядок виконання роботи.

1. На стенді зібрати на логічних елементах RS- і T-тригери (рис.10.2).
2. Записати можливі комбінації змінних на його входах. Провірити правильність функціонування RS- тригера шляхом перебору всіх комбінацій на входах, визначити значення сигналів на виходах.
3. Підключити на вхід генератор прямокутних сигналів. Замірити рівні логічного "0" або "1".
4. Включити T-тригер . Провірити його роботу . Підключити на вхід генератор імпульсів. Замірити по осцилографу частоту вхідних і вихідних імпульсів. Визначити тривалість переднього і заднього фронтів.

Зміст звіту.

1. Принципові схеми RS- і T-тригерів, їх умовне позначення, таблиці істинності.
2. Осцилограми вхідних і вихідних сигналів.
3. Схему тригера на біполярних транзисторах та його схеми запуску для RS- і T-тригерів.
4. Визначені тривалості фронтів та частоти.

Контрольні запитання.

1. Які типи тригерів ви знаєте?
2. Які особливості мають RS- і T-тригери ?
3. Приведіть таблицю істинності D-тригера.
4. Чим відрізняється RS-тригер від JK-тригера?

Лабораторна робота N 11.

Дослідження випрямлячів з активним та активно-ємнісним навантаженням.

Мета роботи - вивчити особливості побудови схем випрямлячів, принципи їх роботи, експериментально визначити характеристики і параметри різних схем випрямлячів.

Випрямлячі призначені для перетворення змінного струму (напруги) в постійний, і являються основною схемою джерела живлення різних радіотехнічних та обчислювальних пристроїв.

Порядок виконання роботи.

1. На універсальному макеті (рис.11.1) за допомогою шумблерів зібрати схему мостового випрямляча з активним навантаженням.
2. Ввімкнути напругу і змінюючи величину резистора навантаження визначити значення постійних напруги та струму для побудови характеристики навантаження випрямляча.
3. Для значень струму $I_o=0;10;30$ мА перевірити виконання співвідношень в випрямлячеві. При допомозі цифрового вольтметра визначити діюче значення напруги на вторинній обмотці трансформатора U_2 .
4. З екрану осцилографа зняти осцилограми напруг $U_2(\omega t), U_n(\omega t)$ та струму $I(\omega t)$.
5. Зібрати схему мостового випрямляча з активно-ємнісним навантаженням . Осцилограф підключити паралельно резистору R_d для спостереження форми струму.
6. За допомогою резистора R_n змінювати струм навантаження в межах 0-50 мА зняти заміри для побудови залежностей $U_o=f(\Theta)$, $U_o=f(I_o)$, $I_o=f(\Theta)$, де Θ - кут відсічки випрямляча.
7. Установити величину струму $I_o=20$ мА і зняти осцилограми $U_2(\omega t), U_n(\omega t)$, $I_2(\omega t)$.
8. Зібрати випрямляч з LC-фільтром . За допомогою осцилографа замірити амплітуду змінної складової напруги на вході і виході фільтра і визначити коефіцієнти пульсацій на вході і виході LC-фільтру та коефіцієнт фільтрації фільтра.
9. Виконати заміри для побудови залежності $K_\phi = f(I_o)$, при зміні струму в межах 0-50 мА.

Зміст звіту.

1. Схеми випрямлячів, таблиці даних, осцилограми.
2. Результати дослідів п.3 та їх теоретична перевірка.
3. Характеристики навантаження випрямлячів в одній системі координат.

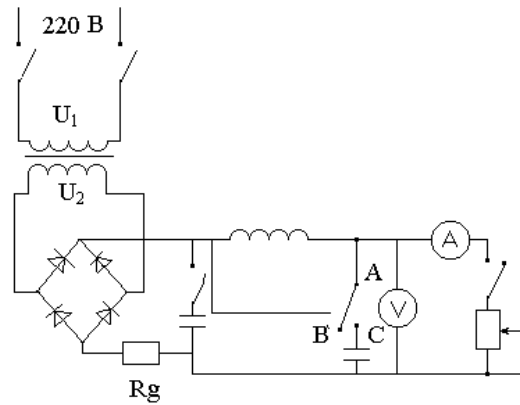


Рис.11.1 Принципова схема стенду.

4. Схеми випрямлячів, таблиці даних, осцилограми.
5. Результати дослідів п.3 та їх теоретична перевірка.
6. Характеристики навантаження випрямлячів в одній системі координат.
7. Залежності $U_o=f(\Theta)$, $I_o=\varphi(\Theta)$ і розрахунок теоретичних значень U_o при силі струму $I_o=10,20$ мА через кут відсічки Θ та U_2 .
8. Таблиці для побудови залежності і графіки $K_\phi=f(I_o)$.

Контрольні запитання.

1. Яке призначення діодів в випрямлячах?
2. Яке призначення трансформатора в схемі випрямляча?
3. Фізичний зміст середнього та діючого значення величин струму?
4. Що характеризує коефіцієнт пульсації напруги?
5. Від яких параметрів фільтра залежить коефіцієнт пульсації напруги?

Рекомендована література.

1. Руденко В.С, Ромашко В.Я., Трифонюк В.В. Промислова електроніка. -К.: Либідь, 1993. - 432 с.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. - М.: Высшая школа, 1991. -622с.
3. Пасынков В.В. и др... Полупроводниковые приборы. - М.: Высшая школа, 1987.-428с.
4. Ерофеев Ю.Н. Импульсная техника. -М. :Высшая школа, 1984, - 391 с. с ил.
5. Батушев В.А. Электронные приборы. - М. :Высшая школа, 1980, - 532 с.
6. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. . М.: Энергия, 1967. -616с. с ил.
7. Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Электроника и микросхемотехника. К.:Вища школа. 1989. -431с.
8. Виноградов Ю.В. Основы электронной и полупроводниковой техники . М.: Энергия, 1973. - 645с. с ил

Лабораторна робота №1 Дослідження напівпровідникових діодів	3
Лабораторна робота №2 Дослідження біполярних транзисторів.	5
Лабораторна робота N 3. Дослідження польових транзисторів	10
Лабораторна робота N 4. Дослідження транзисторних підсилювачів звукової частоти на біполярних транзисторах.	13
Лабораторна робота N 5 Дослідження підсилювачів на польових транзисторах.	15
Лабораторна робота N 6 Дослідження підсилювачів зі зворотним зв'язком.	16
Лабораторна робота N 7 Дослідження операційних підсилювачів.	18
Лабораторна робота N8. Дослідження генераторів синусоїдальних коливань	20
Лабораторна робота N9. Дослідження мультівібратора.	22
Лабораторна робота N 10. Дослідження тригерів	23
Лабораторна робота N 11. Дослідження випрямлячів з активним та активно-ємнісним навантаженням	25