

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Чернігівський національний технологічний університет  
Кафедра зварювального виробництва та автоматизованого проектування  
будівельних конструкцій

## **ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА**

### **ЧАСТИНА II "ЕЛЕКТРОНІКА "**

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для підготовки бакалаврів з прикладної механіки за спеціалізацією  
"Технології та устаткування зварювання"**

Затверджено на засіданні  
кафедри зварювального виробництва  
та АПБК  
Протокол №11 від 25.05.2016 р.

Електротехніка та електроніка. Частина II "Електроніка". Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для підготовки бакалаврів з прикладної механіки за спеціалізацією "Технології та устаткування зварювання" /Укл.: Болотов Г.П.– Чернігів, ЧНТУ, 2016. – 31 с.

Укладач: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри зварювального виробництва та АПБК

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри зварювального виробництва та АПБК

Рецензент: Березін Леонід Якович, кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та АПБК Чернігівського національного технологічного університету

## ВСТУП

Методичні вказівки з описом лабораторних робіт з дисципліни “Електротехніка та електроніка”, частина II "Електроніка" складені для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр з прикладної механіки" за спеціалізацією "Технології та устаткування зварювання".

Методичний посібник складено з такою метою, щоб студент, приступаючи до роботи, мав можливість повторити теоретичний матеріал з відповідних розділів лекційного курсу про будову і принцип роботи електронних елементів та простих електронних пристроїв, ознайомитись із змістом лабораторної роботи, з метою проведення дослідження й випробування елементів та схем.

В описі кожної лабораторної роботи викладені мета та основні завдання лабораторної роботи, загальний опис будови, принципу роботи електронного приладу або схеми, порядок зняття характеристик.

Попереднє вивчення теоретичної частини кожної лабораторної роботи дає можливість студенту самостійно здійснити дослідження.

В результаті проведення лабораторних робіт студент зможе самостійно вирішувати наступні практичні задачі:

1. Виконати монтаж схеми випробування і дослідження електронних приладів або схем простих електронних пристроїв.
2. Отримати основні характеристики електронних приладів або схем.
3. Виконати аналіз отриманих результатів випробування.

## 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ

Мета роботи: ознайомлення з методами визначення фотоелектричних властивостей та основних характеристик фоторезисторів та фотодіодів.

#### 1.1 ІНФОРМАЦІЯ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

Фоторезистор представляє собою напівпровідниковий резистор, який змінює свій опір під дією випромінювання. Фоторезистор (рис. 1.1а) складається з діелектричної пластини 1, на яку нанесений тонкий шар напівпровідника 2 із контактами 3 на кінцях. Схема вмикання фоторезистора приведена на рисунку 1.1б. Вона складається із самого фото резистора  $R_{\phi}$ , джерела постійного струму  $E$ , потенціометра  $R$ , вольтметра  $V$  та міліамперметра  $mA$ . Полярність джерела живлення не має значення.

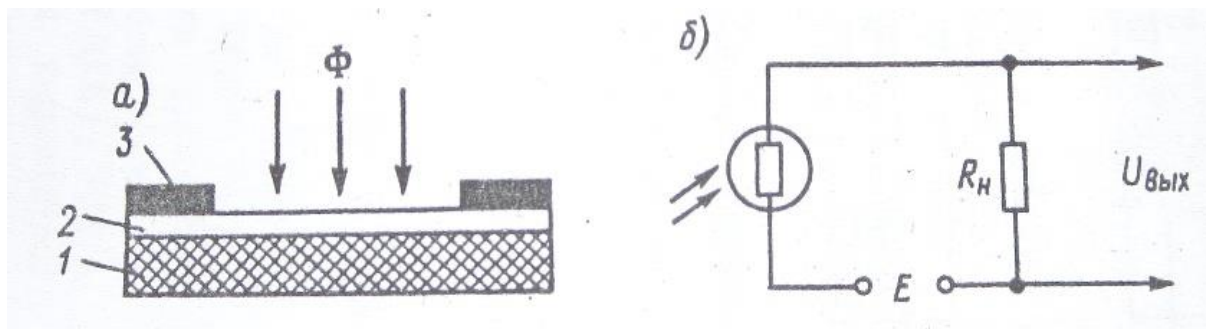


Рисунок 1.1– Будова (а) та схема вмикання (б) фоторезистора

Якщо світлове опромінення відсутнє, фоторезистор має значний опір  $R_T$ , який зветься темновим. Відповідно, у колі протікає темновий струм

$$I_T = \frac{E}{R_T + R_n}$$

Під дією на фоторезистор випромінювання з достатньою енергією фотонів, у ньому здійснюється генерація (розмноження) пар рухомих носіїв зарядів (електронів та дірок). Опір фоторезистора знижується і через нього протікає світловий струм

$$I_T = \frac{E}{R_{\bar{n}} + R_n}$$

Різниця між світловим і темновим струмом отримала назву фотоструму провідності

$$I_{\Phi} = I_c - I_T$$

До основних характеристик фоторезистора відносяться:

- вольт-амперна характеристика (рис. 1.2а), що показує залежність фотоструму (при постійному світловому потоці  $\Phi$ ) від прикладеної напруги. Для фоторезисторів ця залежність є практично лінійною;
- енергетична (світлова) характеристика (рис. 1.2б), тобто залежність фотоструму від падаючого світлового потоку при постійній прикладеній напрузі. Напівпровідникові фоторезистори мають нелінійну енергетичну характеристику. Найбільшу чутливість фоторезистори мають при малій освітленості. Це дозволяє застосовувати фоторезистори для вимірювання дуже малих інтенсивностей випромінювання.

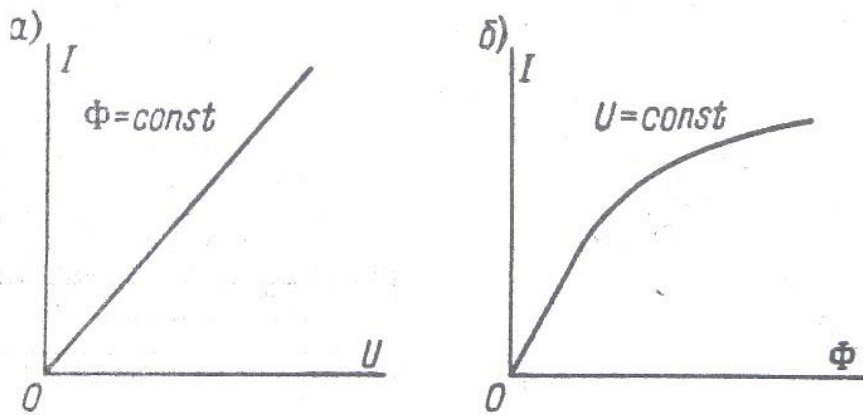


Рисунок 1.2 – Вольт-амперна (а) та енергетична (б) характеристики фоторезистора

Фотодіод представляє собою напівпровідниковий діод, зворотній струм якого залежить від освітленості р-п переходу. Світловий потік керує зворотнім струмом фотодіода. Будова фотодіода аналогічна будові звичайного площинного напівпровідникового діода. Фотодіод (рис. 1.3) має тонку пластину з германію із провідністю  $n$ -типу, на яку з одного боку вплавлений індій з провідністю  $p$ -типу. Для захисту від зовнішніх дій пластину германію розташована у корпусі із вікном для проходження світла. Фотодіоди виготовляють також із селену, кремнію, сірчаного срібла.

- 1 – кристал германія із р-п переходом;
- 2 – кристалотримач;
- 3 – металевий корпус;
- 4 – кільце;
- 5 – відвід;
- 6 – керамічна трубка;
- 7 – скляний ізолятор;
- 8 – олов'яне кільце;
- 9 – скляне вікно

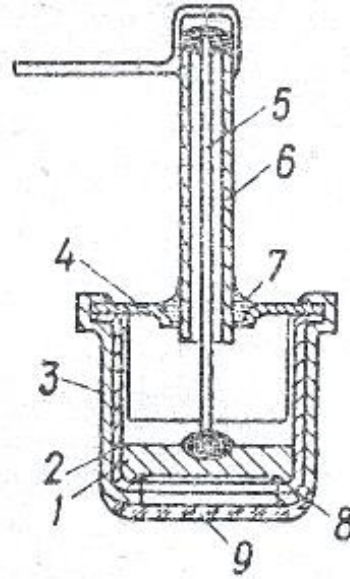


Рисунок 1.3– Будова фотодіода

При застосуванні фотодіода із зовнішнім джерелом енергії  $E$  його вмикають у неспроможному напрямку (рис. 1.4). В цьому випадку, коли потік  $\Phi = 0$ , під дією зовнішнього джерела через нього буде протікати темновий струм, що відповідає початковому зворотному струму фотодіода  $I_0$ .

Під дією світлового потоку  $\Phi$  у фотодіоді утворюються вільні електрони і дірки, які проходять через електронно-дірковий перехід: дірки, що утворюються у напівпровіднику  $n$ -типу, переміщуються у напівпровідник  $p$ -типу під дією прикладеної напруги, а електрони – із напівпровідника типу  $p$  у область з провідністю  $n$ -типу. При освітленні фотодіода зростає потік цих неосновних носіїв зарядів  $i$ , відповідно, у зовнішньому колі збільшується струм. Такий режим роботи зветься фотодіодним або фото- перетворювальним. .

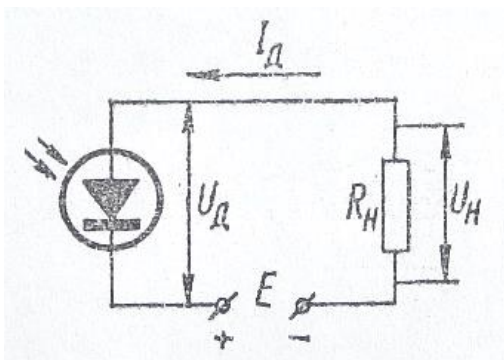


Рисунок 1.4 – Схема вмикання фотодіода

Основними характеристиками фотодіода є:

- вольт-амперна характеристика (рис. 1.5а), що визначає залежність зворотного струму фотодіода від прикладеної напруги при постійній величині світлового потоку;

- енергетична (світлова) характеристика (рис. 1.5б), яка показує залежність зворотного струму фотодіода від величини світлового потоку при постійній прикладеній напрузі на фотодіоді. Енергетична характеристика фотодіода є практично лінійною і слабо залежить від напруги.

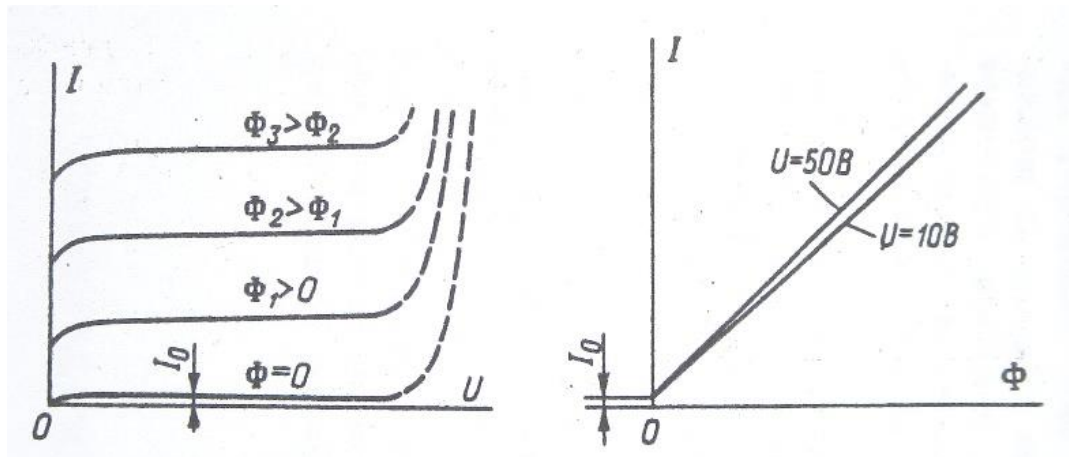


Рисунок 1.5 – Вольт-амперна (а) та енергетична (б) характеристики фотодіода

## 1.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1.2.1. Зібрати електричну схему для проведення вимірювань.

1.2.2. Ввімкнути джерело світла і поступово збільшуючи його інтенсивність зміною напруги на виході джерела живлення, здійснити вимірювання вихідного струму.

1.2.3. За отриманими даними побудувати характеристики фотоелементів.

## 1.3 ЗМІСТ ЗВІТУ.

1.3.1. Назва роботи.

1.3.2. Мета роботи.

1.3.3. Короткі теоретичні відомості.

1.3.4. Обробка результатів експериментів.

1.3.5. Висновки по роботі.

## 1.4 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ.

1.4.1. Конструкція фоторезистора та фотодіода.

1.4.2. Принцип роботи напівпровідникових фотоелементів.

1.4.3. Основні характеристики фотоелементів.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ЗНЯТТЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА

Мета роботи: Ознайомитись з різними варіантами вмикання транзисторів. Зняти статичні характеристики, і використовуючи їх, визначити параметри транзистора.

#### 2.1 ІНФОРМАЦІЯ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

Транзистор - напівпровідниковий прилад, який являє собою монокристал напівпровідника, в котрому створено дві області з провідністю р-типу, відділені одна від одної тонкою зоною провідності n-типу (у транзисторі р-n-p), чи р-типу (у транзисторі n-p-n). Ця зона називається базою. Крайні області монокристалу називаються відповідно емітером та колектором (рис. 2.1).

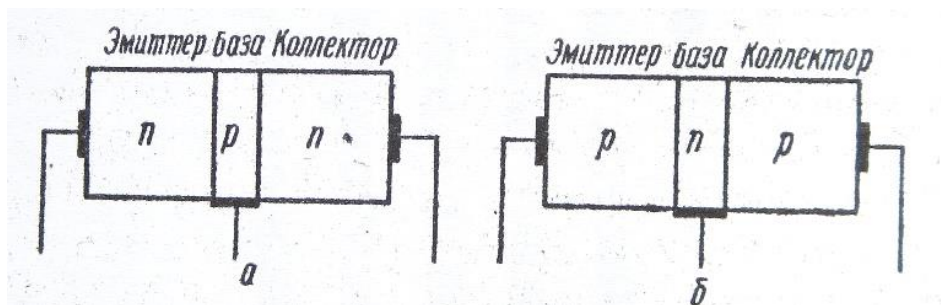


Рисунок 2.1– Типи структур транзисторів

До всіх трьох названих областей кріплять виводи, тому, виходячи з цього, транзистор є трьохполюсним напівпровідниковим приладом. Підсилювальні властивості транзистора забезпечуються його вмиканням в схему таким чином, що перехід база-емітер (БЕ) працює у прямому напрямку. В цьому випадку струм емітера змінюється у значних межах навіть при незначних змінах напруги  $U_{BE}$ . До колекторного переходу у схемі підключена запираюча напруга і тому він ввімкнений у зворотному напрямку.

Оскільки база транзистора має дуже малу товщину (одиниці мікрометрів), то це обумовлює сильну залежність струму колектора від струму емітера, що забезпечує підсилювальні властивості транзистору.

При прикладанні напруги до переходу база-емітер, вільні носії зарядів інjektують (переміщуються) з емітера у базу (рис. 2.2). Концентрація дірок у базі безпосередньо біля емітерного р-n переходу збільшується, завдяки цьому дірки дифундують у бік колекторного р-n переходу, де концентрація дірок мала. Тут сильне електричне поле, створене джерелом напруги  $U_{БК}$ , переносить носії додатних зарядів (дірки) із області бази у область колектора, створюючи струм колектора.



Таким чином, у транзисторі можна змінювати струм колектора шляхом зміни струму емітера. Але струм емітера створюється також електронами, які інжектують з бази до емітера. Ці заряди ніколи не проходять скрізь колекторний перехід і не впливають на струм колектору. Виходячи з цього, електронна складова струму емітера повинна бути якомога менше, бо тільки у цьому випадку більша частина струму емітера буде проходити у коло колектора. Для цього концентрація носіїв зарядів у базі повинна бути набагато менша, ніж їх концентрація у емітері.

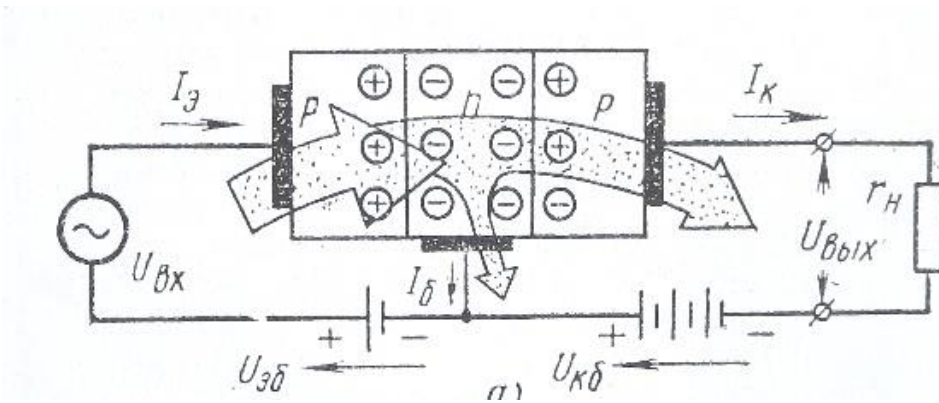


Рисунок 2.2 – Схема для пояснення принципу роботи транзистора

Існують три схеми підключення транзисторів (рис. 2.3), які складаються з лівого і правого контурів і загальної перемички між ними:

а) із загальною базою /ЗБ/; б) із загальним емітером /ЗЕ/; в) із загальним колектором /ЗК/.

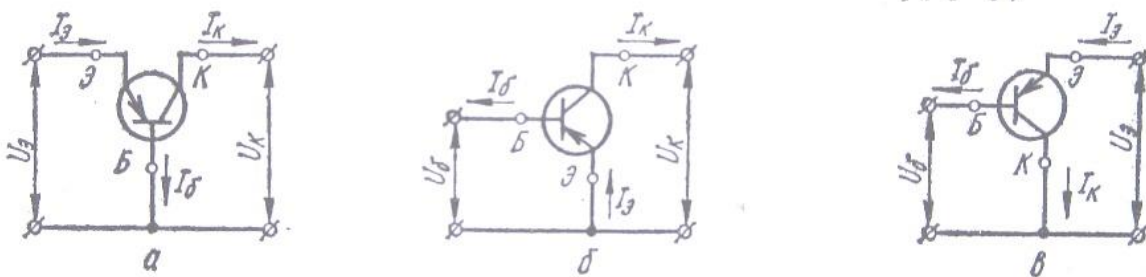


Рисунок 2.3– Схеми підключення транзисторів

Електричні властивості транзистора визначаються двома сімействами характеристик: входними та вихідними. Для кожної з трьох схем вмикання /ЗБ,ЗЕ,ЗК/ вони встановлюють залежність між входними струмами і напругами та вихідними струмами і напругами. Так при вмиканні транзистора за схемою із загальним емітером, як найбільш розповсюдженою, під входніми характеристиками розуміють залежність струму бази від величини напруги

база-емітер при незмінній напрузі між колектором та емітером, тобто  $i_b = f(U_{BE})$  при  $U_{KE} = \text{const}$

Приблизний вигляд вхідних характеристик транзистора, підключеного за схемою з ЗЕ, показаний на рисунку 2.4а.

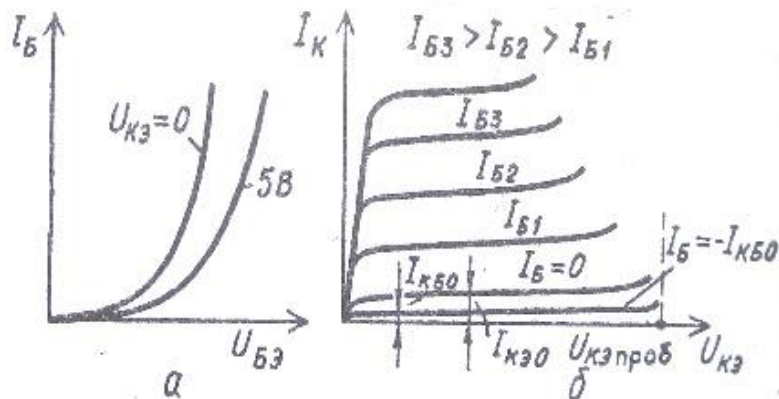


Рис. 2.4. Вхідні (а) та вихідні (б) характеристики транзистора

Під вихідною характеристикою транзистора, включеного за схемою із ЗЕ, розуміють залежність струму колектора  $i_k$  від величини напруги між колектором та емітером  $U_{KE}$  при незмінному струмі бази  $i_b$ , тобто  $i_k = f(U_{KE})$  при  $i_b = \text{const}$ .

Встановлюючи різні струми бази, отримують сімейство вихідних характеристик (рис. 2.4б).

При розрахунках схем з транзисторами можна користуватися статичними характеристиками транзистора чи його параметрами та еквівалентними схемами.

Транзистор можна замінити еквівалентною схемою. Результати розрахунків, виконаних за еквівалентною схемою, співпадають з отриманими в дійсності. В якості еквівалентної схеми транзистора приймають схему чотирьохполосника. Транзистор - нелінійний елемент і його параметри будуть змінюватися при зміні режиму роботи. Ці параметри можна вважати постійними лише при малих межах зміни сигналу.

Робота чотирьохполосника характеризується вхідними величинами  $U_1$ ,  $i_1$ , та вихідними  $-U_2$  та  $i_2$ , де  $U_1$  - зміна напруги база-емітер,  $i_1$  - зміна струму бази,  $U_2$  - зміна напруги колектор-емітер,  $i_2$  - зміна струму колектора. В якості змінних можуть бути взяті будь-які дві величини, тоді дві інші є їх функціями. Властивості транзистора як підсилюючого елемента характеризуються системою  $h$  - параметрів. Ці параметри визначаються безпосередньо за характеристиками транзистора. Вони мають різну розмірність і тому таку систему називають змішаною. Так  $h_{11}$ - вхідний опір транзистора, вимірюється в Ом;  $h_{21}$ - відношення вихідного струму до вхідного, тобто показує здатність чотирьохполосника підсилувати величину струму;  $h_{22}$  - вихідна провідність

чотирьохполосника у режимі холостого ходу у вхідному колі (розмірність – Сіменс);  $h_{12}$ - коефіцієнт передачі внутрішнього зворотнього зв'язку при тих же умовах.

Тобто:

$$h_{11} = U_1/i_1 \quad \text{при} \quad U_{ке} = \text{const};$$

$$h_{21} = i_2/i_1 \quad \text{при} \quad U_{ке} = \text{const};$$

$$h_{12} = U_1/U_2 \quad \text{при} \quad i_1 = 0;$$

$$h_{22} = i_2/U_1 \quad \text{при} \quad i_1 = 0.$$

## 2.2 ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ

2.2.1. Вставити у роз'єм на універсальному стенді плату і під'єднати за допомогою проводів необхідні вимірювальні прилади відповідно електричній схемі.

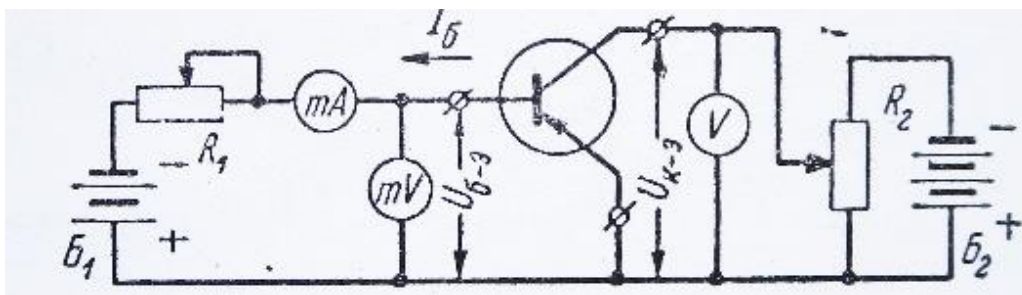


Рисунок 2.5– Схема вимірювань вхідних характеристик транзистора

2.2.2. Дані вимірювань занести до таблиць.

Таблиця 2.1 - Вхідні характеристики

$U_{ке} = 0, \text{ В}$	$U_{бе}, \text{ В}$	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
	$i_{бе}, \text{ мА}$						
$U_{ке} = 5 \text{ В}$	$U_{бе}, \text{ В}$	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
	$i_{бе}, \text{ мА}$						

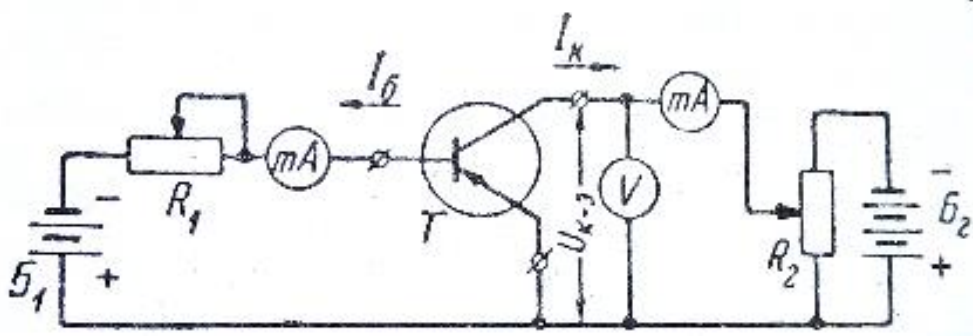


Рисунок 2.6 – Схема вимірювань вихідних характеристик транзистора

Таблиця 2.2 - Вихідні характеристики

$i_b = 0, \dots \text{мА}$	$U_{ке}, \text{В}$	0	1	2	4	6	8
	$i_k, \text{мА}$						
$i_b = 0, \dots \text{мА}$	$U_{ке}, \text{В}$	0	1	2	4	6	8
	$i_k, \text{мА}$						
$i_b = 0, \dots \text{мА}$	$U_{ке}, \text{В}$	0	1	2	4	6	8
	$i_k, \text{мА}$						
$i_b = 0, \dots \text{мА}$	$U_{ке}, \text{В}$	0	1	2	4	6	8
	$i_k, \text{мА}$						

Примітка: струм бази  $i_b$  призначати в межах  $0 \dots 1 \text{ мА}$ .

### 2.3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

За даними табл.2.1 та табл. 2.2 побудувати сімейство вхідних і вихідних характеристик транзистора, включеного за схемою з ЗЕ. Користуючись цими характеристиками визначити систему  $h$  - параметрів транзистору.

### 2.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

2.4.1. Назва роботи.

2.4.2. Мета роботи.

2.4.3. Короткі теоретичні відомості.

2.4.4. Виконання роботи й обробка результатів вимірювань.

2.4.5. Висновки по роботі.

### 2.5 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

2.5.1. Принцип підсилення за допомогою транзистору.

2.5.2. Схеми вмикання транзисторів.

2.5.3. Головні характеристики транзистору.

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

## ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПРЯМЛЯЧІВ

Мета роботи: Зняти зовнішні характеристики одно- і двох- напівперіодних випрямлячів з різними типами фільтрів при їх роботі на активне навантаження. З'ясувати вплив різних схем фільтрів на роботу випрямляча.

### 3.1 ІНФОРМАЦІЯ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

#### 3.1.1 Класифікація схем випрямлення

Всі схеми випрямлення можна розподілити за такими основними ознаками:

- а) За кількістю фаз первинної обмотки трансформатора - на однофазні, трьохфазні.
- б) За кількістю фаз вторинної обмотки трансформатора - на однофазні, трьохфазні, шестифазні і т.д.
- в) За кількістю імпульсів струму у вторинній обмотці трансформатора за період - на однокітні та двохкітні.
- г) За схемою з'єднання вентилів - на схеми з послідовним включенням вентилів та вторинної обмотки, на мостові і на каскадні схеми.
- д) За формою спрямленої напруги - на одно- і двохнапівперіодні.

Найбільш розповсюджені схеми випрямлення на практиці прийнято називати таким чином:

- схеми, які живляться від однофазного джерела змінного струму - однонапівперіодна, двохнапівперіодна та однофазна мостова;
- схеми, які живляться від трьохфазного джерела змінного струму - трьохфазна, трьохфазна мостова, шестифазна.

Властивості будь-якого спрямлюючого пристрою залежать від його схеми, характеру навантаження і схеми згладжуючого фільтру. Аналіз роботи такого пристрою в цілому дуже складний. Тому для спрощення аналізу схем будемо вважати, що трансформатор та вентилі є ідеальними.

Розглянемо параметри, котрими характеризується робота кожного із елементів схеми випрямлення. Знання цих параметрів необхідне для правильного вибору трансформатора і вентилів.

Відомими чи заданими завжди є параметри навантаження: середнє значення спрямленої напруги  $U_0$  і струму  $I_0$  та допустимий коефіцієнт пульсації  $K_p$ .

При відомих параметрах навантаження  $U_0$ ,  $I_0$ , а також напрузі  $U_1$  та частоті мережі  $f$  у результаті аналізу схеми випрямлення визначаються параметри, необхідні для розрахунку трансформатора і вибору вентилів.

Цими параметрами є:

для трансформатора - діючі значення напруги  $U_2, U_3 \dots$  і струму  $I_1, I_2, I_3$  окремих обмоток; розрахункові потужності окремих обмоток  $P_1, P_2, P_3 \dots$  і типова потужність усього трансформатора в цілому  $P_{\text{min}}$ .

для вентилів - зворотна напруга  $U_{\text{зв}}$ , яка припадає на один вентиль; середнє, діюче і амплітудне значення струму вентиля  $I_{\text{ср}}, I_{\text{д}}, I_{\text{max}}$ .

Зворотною напругою, яка припадає на один вентиль при роботі останнього у схемі випрямлення, називається найбільше значення різниці потенціалів між анодом і катодом вентиля у ту частину періоду, коли вентиль не проводить струму.

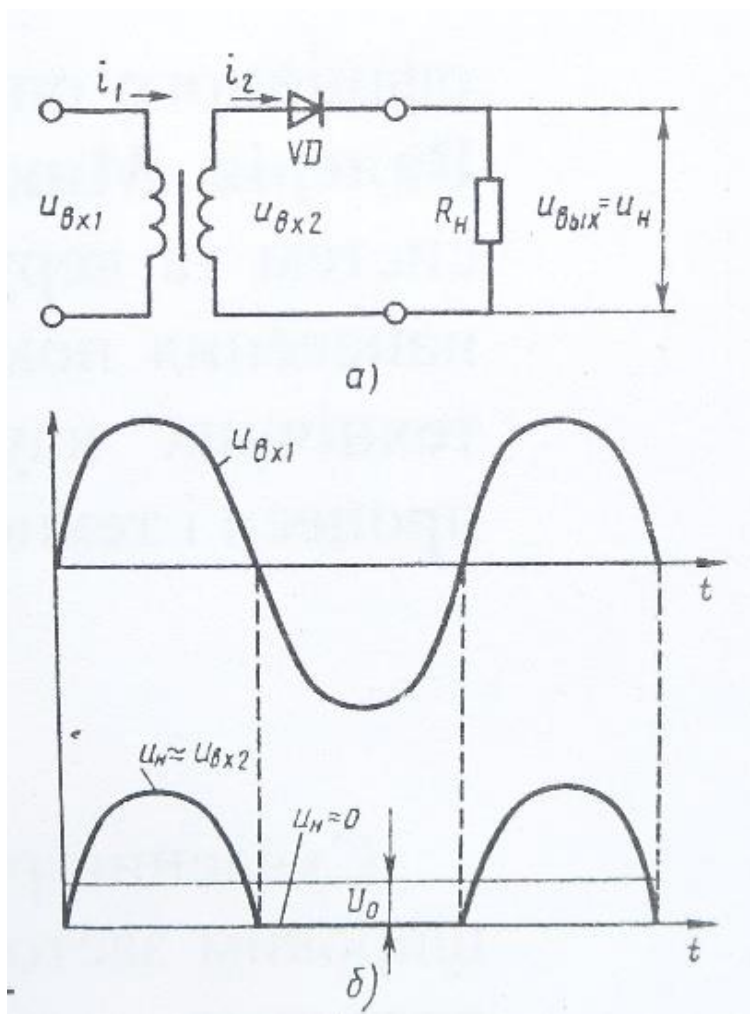


Рисунок 3.1 – Однонапівперіодна схема випрямлення (а) та часові діаграми (б) напруг на вході і виході (навантаженні) однонапівперіодного випрямляча

Однонапівперіодна однофазна схема випрямлення (рис.3.1а) складається з однофазного трансформатора й одного діоду. При цьому діод пропускає струм тільки тоді, коли на його анод поданий додатній потенціал по відношенню до катоду, тобто під час додатних напівперіодів е.р.с. джерела змінного струму (рис.3.1б). Під час від'ємних напівперіодів вентиль запирається.

Схема має велику пульсацію випрямленої напруги на частоті головної гармоніки, рівній частоті мережі  $f_m$ , високу зворотну напругу на діоді, вимушене підмагнічування осердя трансформатора, неповне використання трансформатора за потужністю  $K_{тр} \approx 0,48$ .

Двохнапівперіодне спрямлення може бути здійснене за допомогою однофазної мостової схеми випрямлення, приведеної на рис. 3.2.

Випрямляч має чотири вентиля  $VD_1, VD_2, VD_3, VD_4$  і трансформатор Т. Ця схема є двотактною, так як у вторинній обмотці струм протікає як у додатну, так і у від'ємну частини періоду.

Розглянемо роботу схеми при живленні від мережі синусоїдальної напруги.

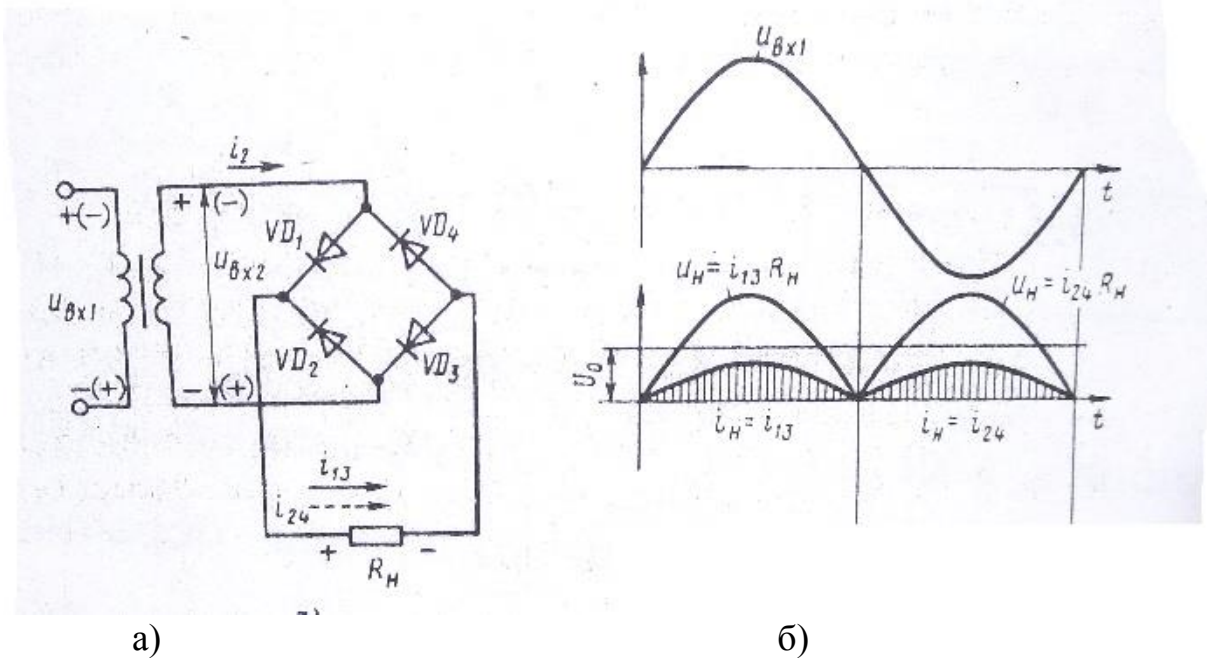


Рисунок 3.2 – Двохнапівперіодна мостова схема випрямлення (а) та часові діаграми струмів і напруг на вході випрямляча і навантаженні (б)

В перший напівперіод, коли потенціал точки а (рис.3.2 ) додатній, а потенціал точки б від'ємний, струм проходить через вентиль  $VD_1$ , навантаження  $R_H$  і вентиль  $VD_2$  у напрямку, вказаному суцільними стрілками. Вентилі  $VD_3$  і  $VD_4$  в цей час не пропускають струм і знаходяться під зворотною напругою. В наступний напівперіод, коли потенціал точки б стає додатнім, а точки а - від'ємним, струм тече через вентиль  $VD_3$ , навантаження  $R_H$  і вентиль  $VD_4$  у напрямку, вказаному пунктирними стрілками. Вентилі  $VD_1$  і  $VD_2$  в цей час не пропускають струм і знаходяться під зворотною напругою. З рис. 3.3. видно, що напрямки струмів, які протікають через навантаження під час обох напівперіодів, співпадають. Тому у схемі, що розглядається, має місце двохнапівперіодне випрямлення.

На рисунку 3.2б приведені криві випрямленого струму  $i_0$  і напруги  $U_0$ . Так як падіння напруги в обмотці трансформатора та у вентилях прийнято рівним

нулю, то форма випрямленої напруги повторює форму напруги на затискачах вторинної обмотки.

На рис. 3.2б приведені діаграми струмів скрізь вентиля VD1, VD2, VD3, VD4. Струм у вторинній обмотці трансформатора протікає під час обох напівперіодів і є синусоїдальним, тому вимушене намагнічування трансформатора відсутнє. Струм у первинній обмотці також є синусоїдальним (рис. 3.2б).

Напруга між електродами вентилів знаходиться у протифазі з напругою вторинної обмотки трансформатора. Під час другого напівперіоду, коли працюють вентиля VD3 і VD4, катод вентиля VD2, з'єднаний з точкою б вторинної обмотки, знаходиться під додатнім потенціалом. У цей же час анод вентиля VD2 має від'ємний потенціал, який дорівнює потенціалу точки а вторинної обмотки (так як падіння напруги у вентилі VD4 при прямому струмі дорівнює нулю). Таким чином, під час другого напівперіоду вентиль VD2 знаходиться під зворотною напругою, яка дорівнює різниці потенціалів між кінцями вторинної обмотки трансформатора. Максимальне значення цієї різниці потенціалів дорівнює амплітудному значенню напруги вторинної обмотки. Нескладно бачити, що закон зміни зворотної напруги на вентилі VD1 такий же, як і на вентилі VD2.

Під час першого напівперіоду різниця потенціалів між електродами вентилів VD1 і VD2 дорівнює нулю, а вентиля VD3 і VD4 знаходяться під зворотною напругою тієї ж величини, як і вентиля VD1 і VD2 у попередній напівперіод.

### 3.1.2 Згладжуючі фільтри

На виході всіх схем, які випрямляють, отримується пульсуюча напруга і тому через навантаження протікає пульсуючий струм. Періодичні зміни спрямленої напруги і струму (пульсації) значно погіршують роботу пристроїв, які вмикаються до виходу випрямляча. Величина пульсації характеризується коефіцієнтом пульсації

$$\hat{\epsilon}_i = \frac{U_{\max}}{U_0}$$

де  $U_{\max}$  – амплітудне значення головної гармоніки змінної складової спрямленої напруги;

$U_0$  – середнє значення спрямленої напруги.

Для зменшення пульсації, тобто змінної складової спрямленої напруги, застосовують фільтри, які згладжують. Вони вмикаються між випрямлячем і навантаженням.

Фільтрація змінної складової заснована на тому, що послідовно з навантаженням вмикаються елементи, які мають великий опір для змінної складової спрямленого струму і малий - для постійної, а паралельно навантаженню - елементи, що мають малий опір для змінної складової і



великий - для постійної складової. Послідовними елементами можуть бути котушки індуктивності з феромагнітними осердями. Елементом, який вмикають паралельно навантаженню, може бути конденсатор великої ємності.

Головним параметром, за яким оцінюється дія фільтру, який згладжує, є його коефіцієнт фільтрації - відношення коефіцієнта пульсації на вході фільтру  $K_{п}$ , до коефіцієнта пульсації на виході  $K'_{п}$ :

$$K_{ф} = K_{п} / K'_{п}$$

Цей коефіцієнт показує, у скільки разів фільтр зменшує величину коефіцієнта пульсації на виході випрямляча.

Найпростішими фільтрами, які згладжують, є фільтри, що складаються або з одної індуктивності, включеної послідовно з навантаженням (рис.3.3,а), або з однієї ємності, включеної паралельно навантаженню (рис.3.3,б).

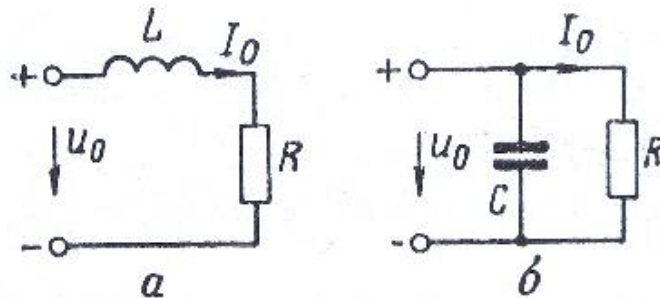


Рисунок 3.3 – Схеми індуктивного (а) та ємнісного (б) фільтрів

В обмотці котушки індуктивності (дроселя), включеної послідовно з навантаженням, протікає пульсуючий струм. Змінна складова цього струму створює у осерді дроселя змінний магнітний потік, який індуктує в його обмотці противо-е.р.с. (е.р.с. самоіндукції), яка перешкоджає змінам струму у колі. Зменшення відносних змін змінної складової струму у колі викликає зменшення відносних змін (пульсацій) напруги на затискачах навантаження. В цьому і полягає дія дроселя, що згладжує, включеного послідовно з навантаженням.

Для кращого згладжування пульсацій необхідно, щоб індуктивний опір дроселя для головної гармоніки змінної складової, що відповідає частоті випрямленої напруги, був значно більший, ніж опір навантаження, тобто щоб виконувалась умова:

$$X_L = \omega L \gg R_{н}$$

де  $\omega = 2\pi f$  – колова частота напруги;  $f$  – лінійна частота напруги на виході випрямляча;  $L$  – індуктивність дроселя. Індуктивний фільтр забезпечує добре згладжування пульсації при малих опорах навантаження, тобто при великих струмах, тому його застосовують головним чином в потужному спрямлюючому устаткуванні.

Як відомо, конденсатор, включений паралельно навантаженню, періодично заряджається в ті моменти часу, коли напруга на виході випрямляча перевищує напругу на затискачах конденсатора. У ті ж періодично повторні проміжки часу, коли напруга на виході випрямляча менша, ніж на затискачах конденсатора, останній розряджається через опір навантаження. Тому напруга на затискачах зарядженого конденсатора змінюється у відносно менших межах, ніж змінювалася б напруга на виході випрямляча при відсутності ємності. В цьому і полягає згладжуюча дія конденсатора, включеного паралельно навантаженню.

Конденсатор, включений на виході випрямляча, являє собою ємнісний опір для змінної складової спрямленого струму. Для забезпечення значного згладжування пульсацій необхідно, щоб ємнісний опір конденсатора для головної гармоніки змінної складової був значно менший за опір навантаження, тобто виконувалась умова:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \ll R_n$$

де  $C$  - ємність конденсатора.

Для забезпечення великих коефіцієнтів фільтрації застосовують більш складні багатоланкові  $\Gamma$  - подібні і  $\Pi$  - подібні фільтри, котрі є комбінаціями простіших  $L$  - та  $C$  - фільтрів. Прикладом таких фільтрів може бути фільтр, схема якого приведена на рис. 3.4.

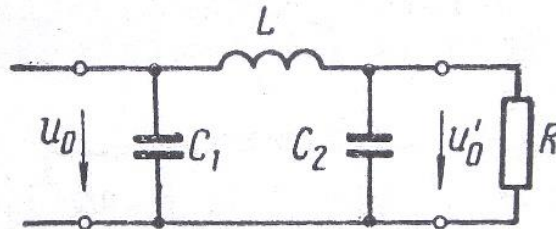


Рисунок 3.4 – Схема  $\Pi$  - подібного  $L$ - $C$  фільтра

## 3.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.2.1. Встановити у роз'єм на стенді макетну плату і підключити до неї необхідні прилади згідно схеми.

3.2.2. Встановити на вході випрямляча напругу, вказану керівником. Виконати вимірювання амплітудних і діючих значень спрямленої напруги. Визначити коефіцієнт пульсації схеми. Досліди виконати для одно- та двохнапівперіодних випрямлячів.

3.2.3. Повторити досліди при підключеному згладжуючому фільтрі.  
Замалювати форми кривих випрямленої напруги.

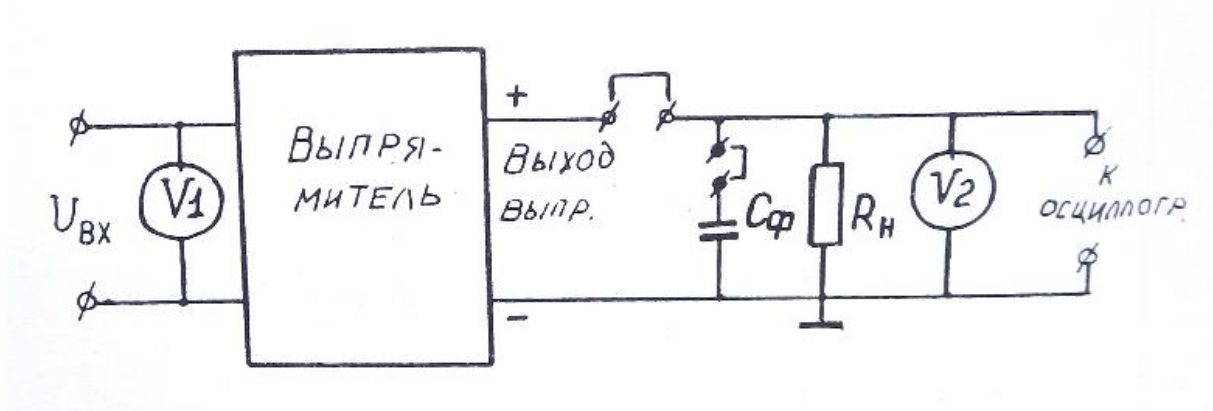


Рисунок 3.5 – Схема вимірювань

### 3.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.3.1. Назва роботи.
- 3.3.2. Мета роботи.
- 3.3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 3.3.4. Результати вимірювань.
- 3.3.5. Висновки по роботі.

### 3.4 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- 3.4.1. Класифікація схем спрямлення.
- 3.4.2. Головні параметри випрямлячів.
- 3.4.3. Одно- та двонапівперіодні схеми випрямлення.
- 3.4.4. Призначення згладжуючих фільтрів.

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДСИЛЮВАЧА ЗВУКОВОЇ ЧАСТОТИ НА ТРАНЗИСТОРІ

Мета роботи: Ознайомитися зі схемою підсилювального каскаду звукової частоти, вивчити призначення елементів схеми. Зняти частотну та амплітудну характеристики підсилювача.

#### 4.1 ІНФОРМАЦІЯ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

##### 4.1.1 Структурна схема і класифікація підсилювачів

Електронний підсилювач - пристрій, призначений для підвищення потужності вхідного електричного сигналу. При цьому підсилення малопотужного вхідного сигналу досягається за рахунок енергії зовнішнього джерела живлення значно більшого рівня потужності.

Структурна схема підсилювача приведена на рисунку 4.1 у вигляді активного чотирьохполосника, до вхідних зажимів 1 та 2 якого підключається джерело вхідного сигналу. Опір навантаження підключається до вихідних зажимів 3 та 4.

Сам підсилювач має активні (напівпровідникові прилади) і пасивні (резистори, конденсатори, індуктивності) елементи, а також джерела живлення.

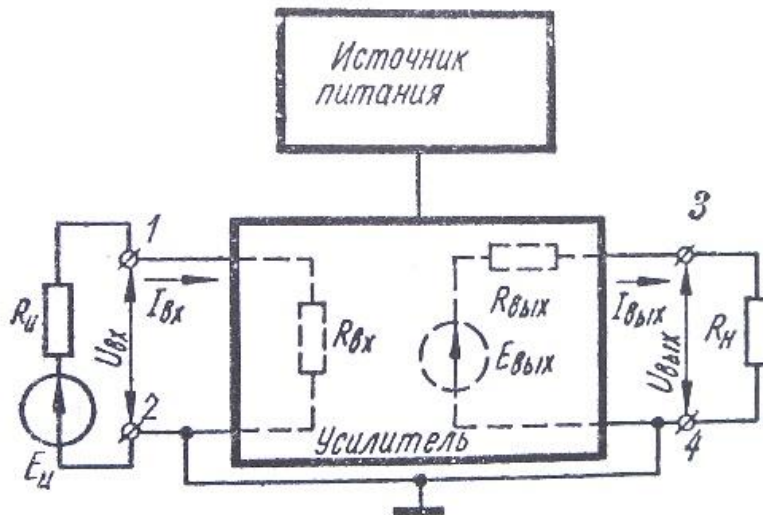


Рисунок 4.1– Структурна схема підсилювача

В залежності від характеру зміни у часі вхідного сигналу розрізняють підсилювачі постійного і змінного струму. Для підсилювачів постійного струму характерна наявність підсилення вже при частоті  $f=0$ . Підсилювачі змінного струму поділяються на підсилювачі звукової (ЗЧ) і високої (ВЧ) частоти.

#### 4.1.2 Головні характеристики підсилювачів

Роботу підсилювача і його стан характеризують різні кількісні та якісні показники, які називаються вторинними (вихідними) параметрами чи функціями схеми.

Коефіцієнт підсилення - головний параметр, що визначає відношення напруги (струму) на виході підсилювача до напруги (струму) на його вході, тобто збільшення вихідного сигналу порівняно з вхідним.

$$K = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}$$

В цій формулі коефіцієнт підсилення виражено у відносних одиницях. Дуже часто коефіцієнт підсилення виражається у децибелах. Коефіцієнт підсилення у децибелах визначається за формулою:

$$K = 20 \lg \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}$$

Діапазоном підсилюваних частот називається область частот, у межах якої коефіцієнт підсилення не знижується нижче заданого рівня. У підсилювачах звукової частоти цей діапазон може бути у межах від десятків герц до декількох десятків кілогерц.

У будь-якому підсилювачі форма вихідної напруги повинна точно відповідати формі вхідної напруги. У реальних підсилювачах цього не отримується, тобто сигнал, проходячи крізь підсилювач, спотворюється. Причинами спотворень є наявність в підсилювачі реактивних опорів (ємнісного та індуктивного), величина котрих залежить від частоти сигналу, що підсилюється.

Звичайно вхідний сигнал має складну форму, тобто являє собою суму напруг різних частот. Наявність реактивних опорів в підсилювачі призводить до того, що однакові за величиною, але різні за частотою вхідні напруги, підсилюються у різному ступені. На виході підсилювача співвідношення амплітуд напруг різних частот, що створюють складний сигнал, отримується не таким, яким було це співвідношення на вході підсилювача, звідси на виході підсилювача форма складного сигналу отримується спотвореною. Зміни форми сигналу при різному підсиленні напруг різних частот називаються частотними спотвореннями. Оцінити величину частотних спотворень можна за допомогою частотної характеристики, яка показує залежність коефіцієнта підсилення від частоти. Графічне зображення частотної характеристики для най-розповсюдженішого класу підсилювачів змінної напруги з ємнісним зв'язком показане на рисунку 4.2.

Для кількісної оцінки вводять коефіцієнти, що визначають допустиму величину спотворень сигналів. Коефіцієнт частотних спотворень сигналів визначається як відношення коефіцієнту підсилення  $K_0$  на деякій середній частоті до коефіцієнту підсилення на даній робочій частоті

$$\dot{I} = 20 \lg \frac{\hat{E}_i}{\hat{E}_f}$$

Звичайно коефіцієнт частотних спотворень визначають на межах умовного діапазону пропускання підсилювача, який являє собою діапазон частот.

$$f = f_B - f_H$$

тому

$$M_H = K_0 / K_H ;$$

$$M_B = K_0 / K_B$$

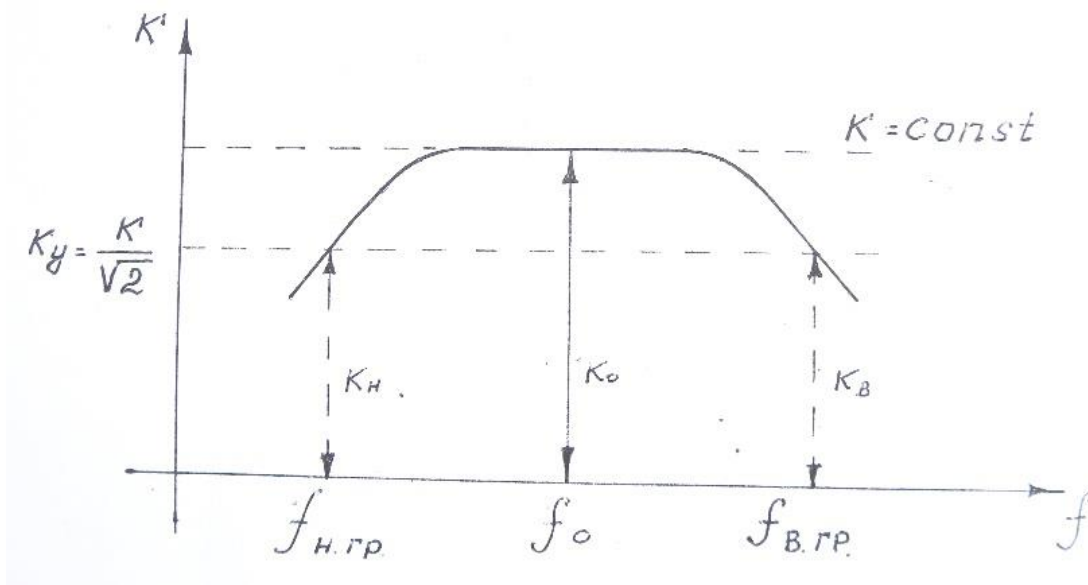


Рисунок 4.2– Вигляд частотної характеристики підсилювача

Як правило, це відношення не повинно перевищувати величини  $\sqrt{2}$ . Виходячи з цих міркувань, діапазон пропускання частот підсилювачем обмежується найменшою частотою  $f_H$ , яка відповідає  $K_0 / K_H = \sqrt{2}$ , і найбільшою частотою  $f_B$ , відповідаючою  $K_0 / K_B = \sqrt{2}$ .

Амплітудна характеристика визначається залежністю  $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$  на деякій постійній частоті (рис. 4.3).

В робочому діапазоні амплітуд вхідного сигналу  $U_{\text{вх.min}} - U_{\text{вх.max}}$  амплітудна характеристика має форму прямої лінії (ділянка а – б), а кут її нахилу визначається значенням коефіцієнта підсилення підсилювача на данній частоті. Якщо вхідна напруга не перевищує значення  $U_{\text{вх.min}}$ , то напруга на виході підсилювача визначається напругою його власних шумів, котрі "глушать" корисний вихідний сигнал. Напруга шумів обумовлена пульсаціями напруги джерела живлення, а також напругою нестационарних процесів, які визначаються структурою активних і пасивних елементів схеми.

При вхідній напрузі, яка перевищує  $U_{вх.max}$ , транзистор підсилювача працює на нелінійних ділянках своїх характеристик, що обумовлює обмеження амплітуди вихідного сигналу і спотворення його форми.

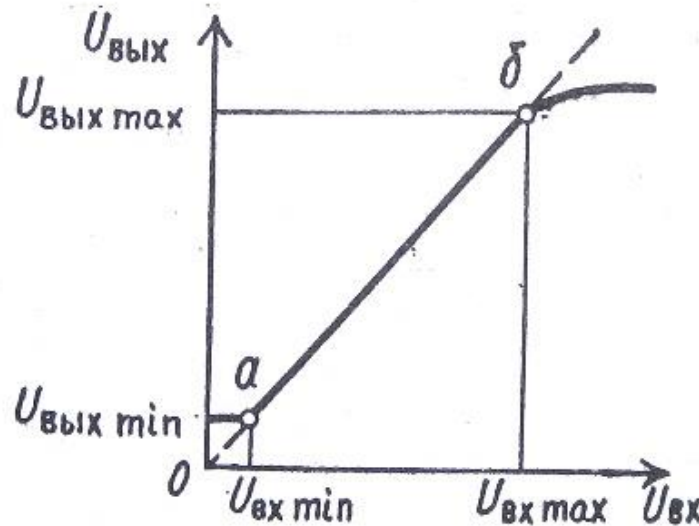


Рисунок 4.3 – Амплітудна характеристика підсилювача

#### 4.1.3 Однокаскадний підсилювач на біполярному транзисторі з ЗЕ

Типова схема підсилювального каскаду на транзисторі з ЗЕ показана на рисунку 4.4.

Вхідна змінна напруга  $U_{вх}$ , яка визначається джерелом вхідного сигналу, підводиться до входу підсилювача через розподілюючий конденсатор  $C_{р1}$ . Підсилена змінна напруга, яка виділяється на колекторі транзистора, підводиться до зовнішнього навантаження з опором  $R_n$  через розподілюючий конденсатор  $C_{р2}$ . Конденсатор вхідного кола  $C_{р1}$  перешкоджає передачі постійної складової напруги вхідного сигналу на вхід підсилювача, котра може викликати порушення режиму роботи транзистора. Наявність конденсатора  $C_{р2}$  передбачена з метою відокремлення постійної складової колекторного струму  $I_{ко}$  вихідного кола транзистора від зовнішнього навантаження  $R_n$ .

Крім зовнішнього джерела керування - генератора змінного струму  $I_g$ , у базове коло транзистора вводиться також постійний струм  $I_{б0}$ , виконуючий функції струму зміщення. Струм  $I_{б0}$  повинен перевищувати максимально можливу амплітуду вхідного сигналу, з тим щоб при однобічній провідності емітерного переходу вхідний сигнал міг проходити скрізь нього в обох напрямках.

У схемі на рисунку 4.4 функції кола зміщення виконує розподілювач напруги  $R_1R_2$ , приєднаний паралельно входу, а функції коригуючої ланки виконує емітерний опір  $R_e$ , зашунтований конденсатором  $C_e$ . Коригуючі ланки розраховані на підтримку у колекторному колі каскаду струму спокою на

малозмінному рівні. Конденсатор  $C_e$ , який шунтує опір  $R_e$ , пропускає майже всю змінну складову струму, виключаючи цим його втрати при протіканні через активний опір  $R_e$  і зниження коефіцієнту підсилення.

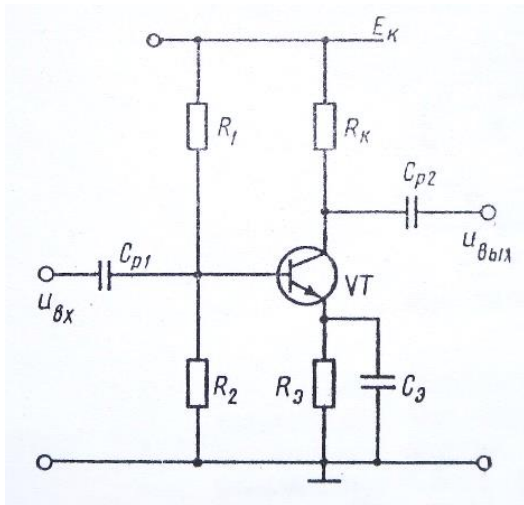


Рисунок 4.4 – Схема однокаскадного підсилювача напруги

## 4.2 ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ

Вставити у роз'єм на універсальному стенді макетну плату і приєднати до неї за допомогою провідників необхідні вимірювальні прилади згідно схемі на рисунку 4.5.

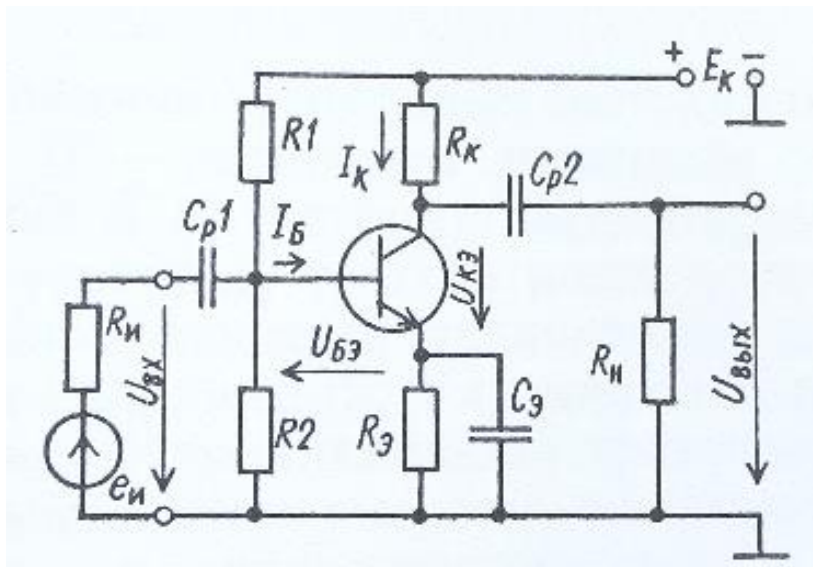


Рисунок 4.5 – Електрична схема для проведення досліджень

### 4.2.1 Зняття частотної характеристики підсилювача

Для зняття характеристики роз'єднати коло конденсатора  $C_e$ . Напругу на виході генератора ЗЧ (напругу на вході підсилювача) підтримувати під час вимірювань незмінною у діапазоні  $0,1 \dots 0,2$  В (контролюється вольтметром V1).



В таблиці записувати значення частоти генератора і показники вольтметра V2 (вихідної напруги підсилювача).

Таблиця 4.1 - Частотна характеристика підсилювача

U <sub>вх</sub> , мВ									
f, Гц									
U <sub>вих</sub> , В									

Для всіх значень частоти f розрахувати коефіцієнти підсилення  $K = U_{вих}/U_{вх}$  і побудувати частотну характеристику.

#### 4.2.2 Зняття амплітудної характеристики підсилювача

Вимірювання виконувати при вимкненому і увімкненому конденсаторі C<sub>с</sub> при незмінній частоті генератора. Дані вимірювань занести до таблиці.

Таблиця 4.2 - Амплітудна характеристика підсилювача

f, Гц									
U <sub>вх</sub> , мВ									
U <sub>вих</sub> , В									

Побудувати амплітудні характеристики підсилювача.

### 4.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 4.3.1. Назва роботи.
- 4.3.2. Мета роботи.
- 4.3.3. Короткі теоретичні відомості.
- 4.3.4. Результати вимірювань.
- 4.3.5. Висновки по роботі.

### 4.4 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- 4.4.1. Призначення підсилювача.
- 4.4.2. Головні характеристики підсилювача.
- 4.4.3. Принцип роботи підсилювального каскаду.

## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ВИВЧЕННЯ БУДОВИ Й ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНОГО ТРИГЕРУ

Мета роботи: Ознайомитися зі схемою транзисторного тригеру з автоматичним зміщенням. Зняти пускову характеристику тригеру.

### 5.1 ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

Тригером називається пристрій, котрий має релейну характеристику керування, два стійких стани і під впливом вхідного сигналу може миттєво переходити із одного стану в інший. Найчастіше тригер складається з двох активних елементів (двох напівпровідникових тріодів), які працюють у схемі з додатнім зворотнім зв'язком і забезпечують миттєву зміну вихідної напруги чи струму під дією вхідного запускаючого імпульсу.

Тригер належить до безконтактних електронних реле. Потужність, необхідна для запуску, звичайно мала, а вихідний сигнал може мати відносно велику потужність.

Пускова характеристика тригеру - залежність напруги на виході  $U_{\text{вих}}$  від керуючої напруги  $U_{\text{кер}}$  на вході (рис. 5.1) має гістерезисні властивості. Ширина області гістерезису характеризується напругою гістерезису  $U_{\text{Г}} = U' - U''$ . Ділянки AA' і BB' пускової характеристики відповідають двом стійким станам рівноваги тригеру, а точки A' і B' - граничним значенням керуючої напруги. Керуюча напруга, яка викликає спрацювання тригеру, може являти собою безперервно змінну напругу чи імпульс, а вихідна має вид стрибків напруги.

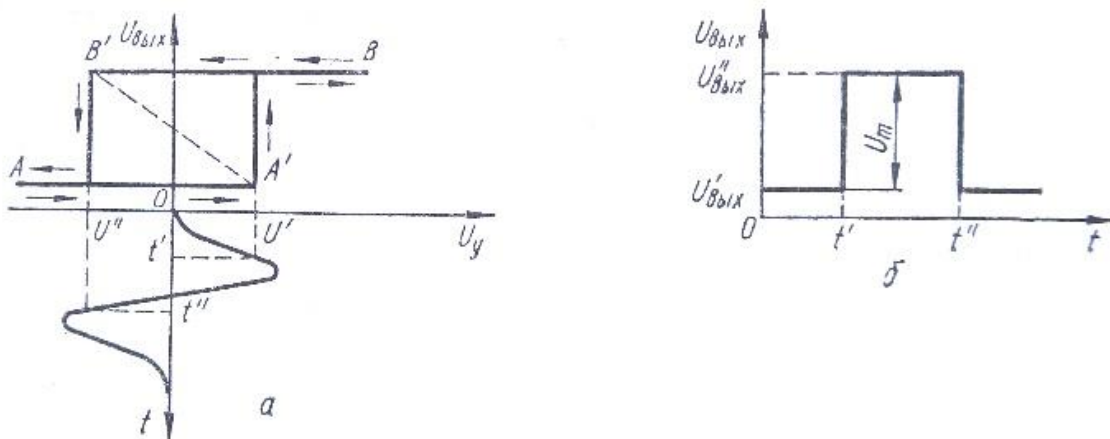


Рисунок 5.1 – Пускова характеристика тригеру

Тригери застосовуються у якості електронних реле, дільників частоти, формувачів прямокутних імпульсів, елементів пам'яті в електронно-обчислювальних машинах.

Схема симетричного триггеру із зовнішнім джерелом напруги зміщенням показана на рисунку 5.2.

Тригер являє собою двохкаскадний транзисторний ключ із загальним емітером, в якому вихід одного каскаду замкнений на вхід іншого. Зв'язок між каскадами здійснюється за допомогою резисторів  $R$ , ввімкнених між колекторами і базами суміжних каскадів. Прискорюючі конденсатори  $C$  шунтують резистори  $R$  і призначені для форсування (прискорення) процесів перемикання триггера. Звичайно схема виконується симетричною, тобто  $R_{к1} = R_{к2}$ ,  $R_1 = R_2 = R$  і транзистори однотипні.

Тригер має два стани стійкої рівноваги: транзистор  $T_1$  насичений і знаходиться у відкритому стані, транзистор  $T_2$  – зачинений і навпаки.

Припустимо, що у вихідному стані транзистор  $T_2$  зачинений. Тоді на його колекторі буде діяти від'ємний потенціал, близький за величиною до напруги живлення  $U_{к2} = U_{вих2} \approx -E_{к}$ . Цей потенціал через резистор зворотного зв'язку прикладається до бази транзистора  $T_1$ , забезпечуючи його відкриття. При відкритті транзистора  $T_1$  потенціал його колектора знижується майже до нуля  $U_{к1} = U_{вих1} \approx 0$  і тому на базу транзистора  $T_2$  подається додатня напруга від джерела зміщення  $E_{б}$ , яка підтримує транзистор  $T_2$  у зачиненому стані. Тригер знаходиться у одному з двох стійких станів.

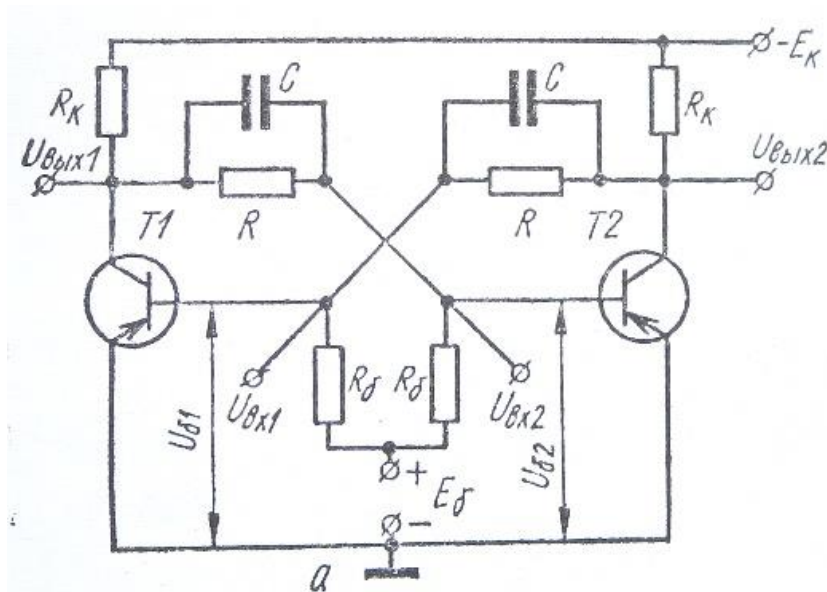


Рисунок 5.2 – Схема симетричного триггеру із зовнішнім зміщенням

При подачі на вхід  $U_{вх2}$  від'ємного вхідного сигналу транзистор  $T_2$  відкривається, потенціал на його колекторі знижується практично до нуля і на базу транзистора  $T_1$  через опір  $R_{б1}$  від джерела зміщення  $E_{б}$  поступає додатній потенціал, який призводить до його закриття. Напруга на колекторі транзистора  $T_1$  зростає до напруги живлення  $-E_{к}$  і поступаючи через опір зворотного зв'язку  $R$  на базу транзистора  $T_2$  підтримує його у відкритому стані.

Тригер переходить у другий стійкий стан. Здійснити такий перехід можливо також подачею додатнього вхідного сигналу на вхід  $U_{вх1}$ .

У випадку, коли застосування додаткового джерела напруги зміщення недоцільно, можливо використовувати симетричний тригер з автоматичним зміщенням, схема якого зображена на рис. 5.3. Роль джерела зміщення виконує падіння напруги  $U_e$ , що виділяється на резисторі автоматичного зміщення  $R_e$  при протіканні через нього струму емітера відкритого транзистора. Для того, щоб напруга автоматичного зміщення не змінювалась під час переходу тригера з одного стійкого стану в інший паралельно  $R_e$  підключається конденсатор  $C_e$ .

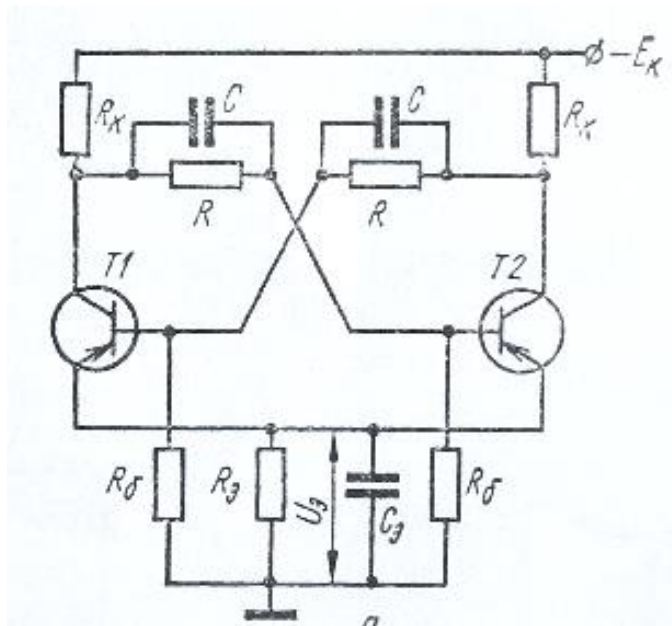


Рис. 5.3. Схема тригера з автоматичним зміщенням

В схемі, що розглядається (рис. 5.3), струм насичення кожного тріоду обмежений опорам двох резисторів  $R_e$  та  $R_k$ :

$$I_{\hat{e}} = \frac{E_{\hat{e}}}{R_{\hat{e}} + R_{\hat{a}}}$$

Тоді падіння напруги на резисторі  $R_e$ , що виконує функції напруги автоматичного зміщення на вході транзисторів, сприяючи їх закриванню, буде складати

$$U_e = I_k \cdot R_e$$

Амплітуда імпульсів, що формуються на виходах тригера

$$U_m = E_k - U_e$$

## 5.2 ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.2.1. Вставити у роз'єм на універсальному стенді макетну плату і підключити за допомогою проводів необхідні вимірювальні прилади згідно схеми (рис. 5.4).

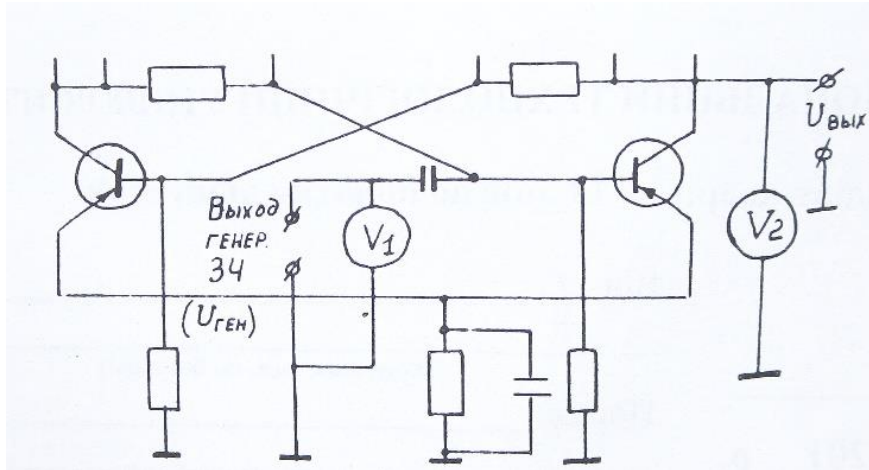


Рис. 5.4. Схема вимірювань

5.2.2. Плавним збільшенням та зменшенням вхідного сигналу від регульованого випрямляча визначити моменти переходу тригера з одного стійкого стану у інший і навпаки. Занести отримані результати до таблиці.

Таблиця 5.1 - Залежність напруги тригера від запускаючого імпульсу

$U_{вх}, В$				
$U_{вих}, В$				

### 5.3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

5.3.1 Виходячи із даних таблиці визначити напругу початку спрацьовування тригера і потенціал автоматичного зміщення  $U_e$ .

5.3.2. Згідно отриманим даним побудувати графіки пускових характеристик.

### 5.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

5.4.1. Назва роботи.

5.4.2. Мета роботи.

5.4.3. Короткі теоретичні відомості.

5.4.4. Виконання роботи та обробка результатів вимірювань.

5.4.5. Висновки по роботі.

### 5.5 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

5.5.1. Призначення тригера.

5.5.2. Тригер із зовнішнім зміщенням.

5.5.3. Тригер з автоматичним зміщенням.

5.5.4. Пускова характеристика тригера.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Исаков Ю.А. и др. Основы промышленной электроники. – К.: Техніка, 1976.
3. Королев Г.В. Электронные устройства автоматики. – М.: Высшая школа, 1991.
4. Руденко В.С. и др. Основы промышленной электроники. – К.: Вища школа, 1985.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. Дослідження фотоелектричних властивостей напівпровідникових фотоелементів.....	4
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. Зняття та дослідження характеристик транзистора.....	8
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Вивчення конструкції і дослідження характеристик випрямлячів.....	13
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. Вивчення конструкції і дослідження характеристик підсилювача звукової частоти на транзисторі .....	20
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. Вивчення будови і зняття характеристик транзисторного триггеру.....	26
Рекомендована література.....	30