

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи №1  
«Дослідження характеристик транзисторів та  
одиначних каскадів підсилювання»  
з дисципліни «Схемотехніка зварювального обладнання»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання

2023

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1 «Дослідження характеристик транзисторів та одиночних каскадів підсилювання» з дисципліни «Схемотехніка зварювального обладнання» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / Укл. Ю.М. Савонов, – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. – 13 с.

Укладач: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доц.;

Рецензент: І.М.Білоник, канд. техн. наук, доц.;

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено

на засіданні кафедри ІТЗ та МК

Протокол № 01 від 13.09.2023

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 2 від 10.10.2023

Мета роботи - дослідження характеристик транзистора та визначення його статичних характеристик, дослідити одиничний каскад підсилювання на напівпровідниковому триоді.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

### 1.1. Робота напівпровідникового триода

Напівпровідниковий триод (транзистор) - це пристрій, який має два р-п переходи та призначений для підсилювання та генерування електричних коливань. Зміна струму у вхідному ланцюгу транзистора викликає зміну опору у його вихідному ланцюгу.

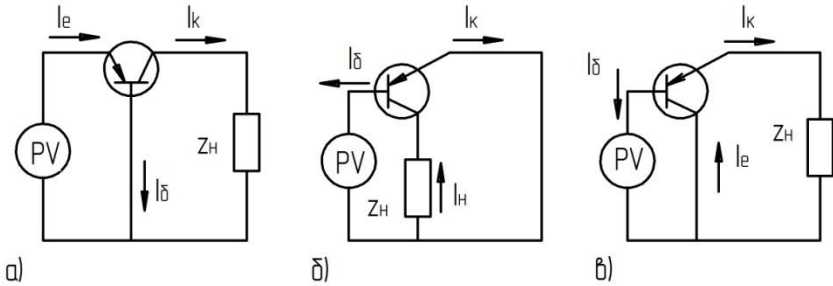
Транзистори поділяються на два типи: **р-п-р** та **п-р-п**. У напівпровідникових триодів центральний шар називається базою (Б). Один з зовнішніх шарів, який є джерелом зарядів (електронів або дірок), називається емітером (Е), а інший зовнішній шар-колектором (К). Він приймає заряди, які постачаються емітером. Як елемент електричної мережі транзистор звичайно використовується таким чином, що один з його електродів є вхідним, другий – вихідним, а третій – загальним відносно входу та виходу. До мережі вхідного електрода вмикається джерело вхідного змінного сигналу, а до мережі вихідного - навантаження. У зв'язку з цим відрізняють три схеми вмикання транзисторів (рис. 1.1):

У схемі з ЗБ вхідним струмом є струм емітера  $I_e$ , а вихідним - струм колектора  $I_k$ .

У схемі з ЗЕ струм бази  $I_b$  є вхідним, а струм колектора  $I_k$  - вихідним.

У схемі з ЗК вхідним є струм бази  $I_b$ , а вихідним - струм емітера  $I_e$ .

Сімейства вхідних і вихідних характеристик використовують для аналізу роботи транзистора та для визначення його параметрів.



- а) - з загальною базою /ЗБ /;  
 б) - з загальним колектором / ЗК/;  
 в) - з загальним емітером /ЗЕ /.
- Рис. 1.1- схеми вмикання транзисторів

Якщо вважати робочі ділянки вольт амперних характеристик транзистора лінійними, зручно для визначення параметрів транзистора уявити його у вигляді лінійного чотирьохполосника. Якщо з чотирьох величин, які характеризують триод як чотирьохполосник, виміряні вхідний струм  $I_1$  та вихідна напруга  $I_2$ , то дві інші величини, залежні від  $I_2$  та  $I_1$ , можуть бути знайдені з рівнянь:

$$I_1 = h_{11}I_1 + h_{12}I_2 ; \quad I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}I_2$$

де  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  – є так звані h-параметри чотирьохполосника.

Зв'язок між h-параметрами триода як чотирьохполосника та його фізичними параметрами при вмиканні триода по схемі з загальним емітером /ЗЕ/ можливо уявити наступним чином:

$$h_{11} = \frac{\Delta I_б}{\Delta I_к} \quad \text{при } I_к = \text{const} (\Delta I_к = 0)$$

$$h_{12} = \frac{\Delta I_б}{\Delta I_к} \quad \text{при } I_б = \text{const} (\Delta I_б = 0)$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \quad \text{при } I_к = \text{const} (\Delta I_к = 0)$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_к} \quad \text{при } I_б = \text{const} (\Delta I_б = 0)$$

де  $h_{11}$  - вхідний опір триода,  $h_{11} = 100 \dots 1000 \text{ Ом}$ ;

$h_{12}$  – безрозмірний параметр внутрішнього зворотного зв'язку,  $h_{12}=002. . .0,0002$ ;

$h_{21}$  - безрозмірний параметр, який характеризує підсилювальні (по струму) властивості триода,  $h_{21}=\beta$

$h_{22}$  - характеризує вихідну провідність транзистора,  $h_{22} =10^4 \dots 10^{-6} 1/\Omega$ .

Знаходити  $h$  - параметри необхідно на лінійних ділянках вольт-амперних характеристик триода поблизу робочої точки, використовуючи метод характеристичного трикутника.

## 1.2 Одиничний каскад підсилювання на транзисторі

Підсилювачем називають пристрої, за допомогою яких підсилюють потужність електричних сигналів при встановленому рівні викривлень.

Потужність підсилюються за рахунок енергії джерела живлення підсилювача за допомогою управляючих елементів транзистора, який має підсилюючі властивості. По використанню відрізняють підсилювачі напруги, струму та потужності.

На рис. 1.2 показано схему підсилюючого каскаду з ЗЕ

$$K_u = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} ; \quad K_i = \frac{I_{вих}}{I_{вх}} ; \quad K_p = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} = K_u \times K_i$$

ККД є відношенням вихідної потужності, яка віддається на навантаження  $P_{вих}$ , до загальної потужності, яка вживається підсилювачем від всіх джерел живлення  $P_{заг}$ :

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{заг}} \times 100\%$$

де  $P_{вих} = U^2 m_{вих} / R_n$  ;  $Im_{вих}$  – амплітуда напруги на навантаженні

Амплітудна характеристика виражає залежність амплітуди вихідної напруги підсилювача від амплітуди його вхідної напруги на деякій постійній частоті.

Таблиця 1.1 - Порівняння різних схем підсилювання

Параметри	Схема напівпровідникового підсилювача		
	ЗЕ	ЗБ	ЗК
Вхідний опір	100-1000 Ом	10-100 Ом	0,5-1 МОм
Вихідний опір	10-100 Ом	0,1-1 Ом	10-100 Ом
Коефіцієнт підсилення по И	10-200	10-200	1
Коефіцієнт підсилення по I	30-100	1	30-100
Коефіцієнт підсилення по P	1000-10000	10-20	10-100

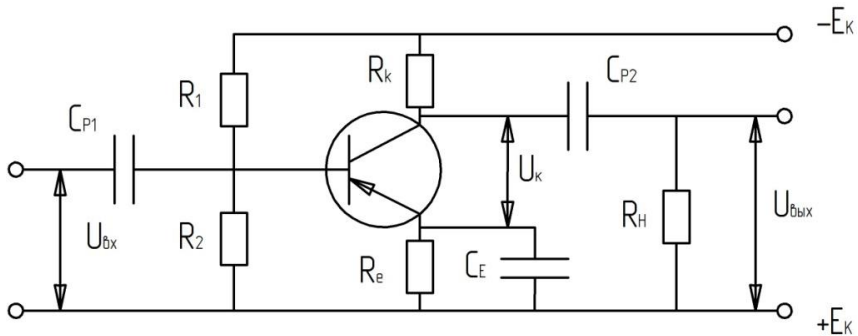


Рис. 1.2 Схема підсилюючого каскаду з ЗЕ

### 1.2.1 Призначення елементів схеми

Резистори  $R_1$  та  $R_2$  у ланцюгу бази служать для створення первинної напруги зміщення  $И_{Б0}$ , яка визначає положення робочої точки на вхідних та вихідних характеристиках транзистора, а також режим роботи підсилювача (клас А, В та С).

Колекторний резистор  $R_k$  служить для обмеження струму колектора, а також на ньому може виділятись вихідна змінна напруга  $И_{вих} = I \times R_k$ .

Конденсатори  $C_{p1}$  та  $C_{p2}$  забезпечують відділення змінної складової напруги від постійної складової колекторної напруги.

Введення резистора  $R_e$  утворює у схемі негативний зворотний зв'язок, який забезпечує температурну стабілізацію режиму роботи транзистора. Для того, щоб зворотний негативний зв'язок не знижував коефіцієнт підсилювання підсилювача, резистор  $R_e$  шунтується конденсатором  $C_e$  достатньо великої ємності.

Схема з загальним емітером найбільш поширена. Вона забезпечує підсилення напруги, струму та потужності та внаслідок малої різниці між значеннями, вхідного та вихідного опорів дозволяє легко узгодити каскади підсилювачів.

Великий вхідний та малий вихідний опір схеми (емітерного повторювача) дозволяють використовувати її для узгодження високо- та низькоомних ланок електричної мережі.

Схема з ЗБ відрізняється добрими частотними властивостями, характеризується високою температурною стабілізацією. Але через малий вхідний та великий вихідний опір, та відсутність підсилення по струму, схема з ЗБ використовується мало.

Коефіцієнт підсилювання та ККД є головними показниками всіх схем підсилювання.

В залежності від підсилюючого параметра відрізняють коефіцієнти підсилювання по напрузі  $K_u$ , струму  $K_i$  та потужності  $K_p$ .

### 1.3 Опис лабораторного стенду

Принципова схема лабораторного стенду зображена на рис. 1.3. Прилад PA1 призначений для вимірювання струму бази. У випадку вивчення одиничного каскаду підсилювання у ланцюгу бази тече змінний струм. Випрямляч Д призначений для випрямлення струму, який протікає крізь вимірювальний прилад PA1, а резистор R2 - для обмеження струму ланцюга

бази. Резистори  $R_{\beta 1}$  та  $R_{\beta 2}$  призначені для вибору робочої точки транзистора. Резистори  $R_{k1}$  та  $R_{k2}$  за допомогою вимикачів  $A_3$  та  $A_4$  дозволяють змінювати опір у ланцюгу колектора від 0 до 3 кОм. Опір  $R$  ввімкнено до емітерного ланцюга та разом з конденсатором  $C$  призначений для автоматичного зміщення транзистора при дослідженні схеми з ЗЕ. Резистори  $R_{n1}$  та  $R_{n2}$  є опорами навантаження для одиничного каскаду.

Напруга вхідного сигналу регулюється потенціометром  $R_{рег}$ . Пристрій  $РА2$  вимірює струм колектора, а  $PV1$ - напругу джерела живлення, яку можливо регулювати потенціометром  $R_{живл}$ .

## 2 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

2.1 Підключити шнур живлення до мережі змінного струму. Тумблером "Мережа" ввімкнути стенд, при цьому загорасться сигнальна лампа.

2.2 Зняти та побудувати характеристики напівпровідникового триода у статичному режимі (схема з ЗЕ):

$$I_b = f(E_b) \text{ при } E_k = 0, -5V$$

Для зняття характеристик потрібно перемикач  $A_9$  встановити в положення вх. " - ". Вмикачі  $A_1, A_3, A_4, A_6$  – в положення "Ввімк.", вимикачі  $A_2$  та  $A_5$  - в положення " Вимк."

Регулювання вхідної напруги здійснюється за допомогою потенціометра  $R_{рег}$  та контролюється ламповим вольтметром, ввімкнутим до  $\Gamma 1 - \Gamma 3$ .

Результати занести до табл. 2.1.

Таблиця 2.1

$E_k = 0$		$E_k = 5V$	
$E_b, V$	$I_b, \mu A$	$E_b, V$	$I_b, \mu A$



$E_b$  задається в межах 0...0,3 В.

2.3 Зняти та побудувати вхідні характеристики транзистора

$I_k = f(E_k)$  при  $I_b = 40, 80, 120, 160$  мкА

Результати занести до табл. 2. 2.

Таблиця 2.2

$I_b = 40$ мкА		$I_b = 80$ мкА		$I_b = 120$ мкА		$I_b = 160$ мкА	
$E_k,$ В	$I_k,$ мА	$E_k,$ В	$I_k,$ мА	$E_k,$ В	$I_k,$ мА	$E_k,$ В	$I_k,$ мА

$E_k$  задається в межах 0... 12 В регулятором  $P_{жив}$ .

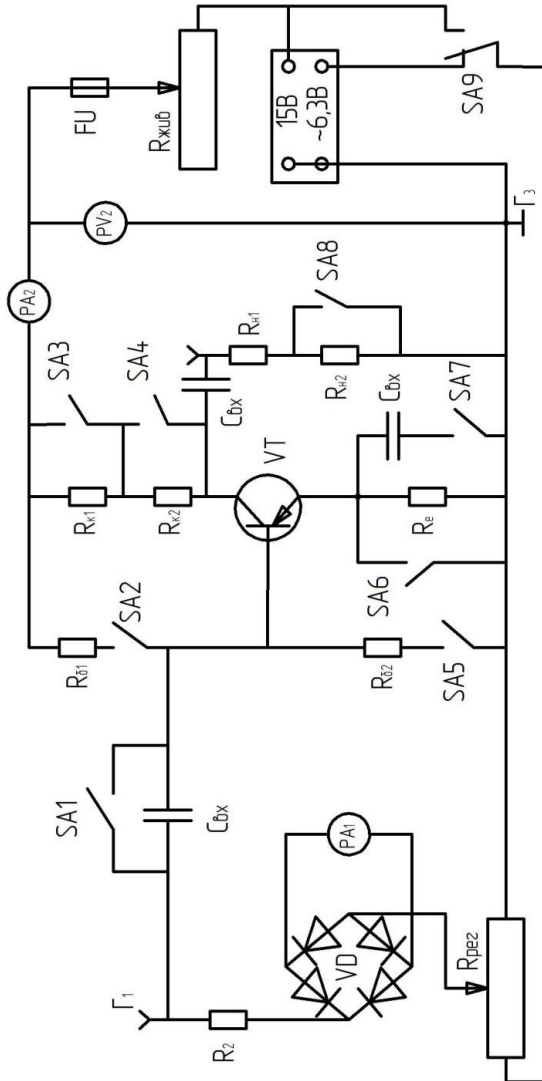


Рис. 1.3 - Принципова схема лабораторного стану для дослідження напівпровідникових триодів та одиничних каскадів підсилювання

2.4 Визначити параметри по статичним характеристикам транзистора.

2.5 Зняти та побудувати амплітудні характеристики  $I_{вих}=f(I_{вх})$  одиничного каскаду підсилювача при його роботі по схемі з ЗЕ. Результати занести до табл.2.3.

Таблиця 2.3

		F=50 Гц=const; E=12 В; P=100 Ом
R <sub>к</sub> =2 кОм R <sub>н</sub> =4,3 кОм	I <sub>вх</sub> , В I <sub>вих</sub> , В	
R <sub>к</sub> =1 кОм R <sub>н</sub> =1 кОм	I <sub>вх</sub> , В I <sub>вих</sub> , В	

У цьому режимі роботи необхідно: вимикач А9 встановити у положення вх " "; вимикачі А2 та А5 замкнути, таким чином вибирається потрібна напруга зміщення підсилюючого каскаду.

Вимикачами А3, А4, А7, А8 вибирається потрібне значення елементів навантаження підсилювача.

2.6 Визначити коефіцієнт підсилення по напрузі Ки.

2.7 Проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

**Примітка: КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ ОДНОЧАСНО ВМИКАТИ ВМИКАЧІ А3, А4, А6 ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ КОРОТКОГО ЗАМКНЕННЯ ТРАНЗИСТОРА ТА ВИХІДУ ЙОГО З ЛАДУ.**

### 3 ЗМІСТ ЗВІТУ

У звіті по лабораторній роботі вказується назва, мета, методика проведення, результати дослідів, оформленні у вигляді графіків, схема лабораторного стенду та загальні висновки.

#### Контрольні запитання

1. Що таке транзистор та для чого він використовується?
2. Чим відрізняється транзистор типа р-р-р та п-р-п?
3. Які схеми вмикання транзисторів використовуються ?

4. Що таке  $h$  - параметри транзистора?
5. Як визначити коефіцієнт підсилювання транзистора, по струму ( $h_{21}$ ) в схемі з загальним емітером?
6. Назвіть переваги й недоліки напівпровідникових та електронних підсилювачів.
7. Чому найбільше поширення в схемах дістав каскад з ЗЕ?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Промислова електроніка [Текст] : робоча програма, метод. вказ. та контр. завдання для заоч. форми навчання спец. 6.010100(31) – Проф. навчання. Автоматизація технологічних процесів хім. виробництв / Укр. інж.-пед. акад. ; уклад. О. О. Шевченко, В. І. Борзенко. – Х. : [б. в.], 2003. – 200 с.
- 2 Сосков А.Г. Промислова електроніка: Теорія і практикум : підручник для студентів вузів / А.Г.Соколов, Ю.П. Колонтаєвський; за ред.докт.техн.наук, проф. А.Г. Соскова – К.: Каравела, 2013. – 496с.
- 3 Петренко І.А. Основи електроніки та електротехніки: Навч. посібник для дистанційного навчання: у 2 ч. – Ч.2: Основи електроніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 307 с.
- 4 Щерба А.А., Поворознюк Н.І. Електротехніка. Частина II. Електроніка.: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. - К., ТОВ «Наш формат», 2013. – 458 с.
- 5 Електротехніка. Основи електроніки та схемотехніки : дистанційний курс / А.А. Щерба, І.А. Петренко, М.Є. Кучеренко – Київ: УПТО НТУУ «КПІ», 2012. – Режим доступу до курсу : <http://udc.ntu-kpi.kiev.ua/moodle/course/view.php?id=129>.
- 6 Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти у 4-х т. Під ред. В.І. Сенька. – Т.1: Елементна база електронних пристроїв. – К.: ТОВ «Видавництво Обереги», 2000. – 300 с.
- 7 Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти у 4-х т. Під ред. В.І. Сенька. – Т.2: Аналогові та імпульсні пристрої. – К.: ТОВ «Видавництво Обереги», 2000. – 510 с.
- 8 Васильєва Л.Д., Медведенко Б.І., Якименко Ю.І. Напівпровідникові прилади: Підручник. – К.: ІВЦ, «Видавництво «Політехніка», 2003. – 388 с.