

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання лабораторних робіт  
із дисципліни  
«Схемотехніка телекомунікаційних систем»  
Частина 1.  
для студентів спеціальності  
172 Телекомунікації та радіотехніка  
денної форми навчання

Суми  
Сумський державний університет  
2022

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Схемотехніка телекомунікаційних систем». Частина 1 / укладач: В. В. Гриненко, О.В. Д'яченко. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 50 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

## ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1.ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ І ДІОДНИХ ОБМЕЖУВАЧІВ .....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2.ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ТОЧКИ В ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ КАСКАДАХ НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ. ....	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3.ПІДСИЛЮВАЛЬНІ КАСКАДИ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ .....	32
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4.ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОКАСКАДНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ЗМІННОГО СТРУМУ .....	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	50

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1.

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДІОДІВ І ДІОДНИХ ОБМЕЖУВАЧІВ

Мета роботи – визначення характеристик напівпровідникових діодів та дослідження роботи діодних обмежувачів із використанням автоматизованих засобів моделювання на ПК – Multisim.

### 1.1. Порядок проведення експериментів

#### 1.1.1. Вимірювання параметрів діодів і стабілітронів.

1). Вимірювання напруги та обчислення струму через діод.

Відкрийте файл Lab1\_1 (рис. 1.1). Оберіть тип діода відповідно до табл. 1.1. Увімкніть схему. Мультиметр покаже напругу на діоді  $U_{np}$  при прямому зміщенні. Переверніть діод і знову запустіть схему.

Таблиця 1.1 – Типи діодів

Номер варіанта	Тип діода	Тип стабілітрона
1	1N4152	1N4731A
2	1N3595	1N4737A
3	1N3881	1N4741A
4	1N4305	1N4735A
5	1N3660	1N4738A
6	1N4001	1N4732A
7	1N3064	1N4733A
8	1N3208	1N4730A

Мультиметр покаже напругу на діоді  $U_{зв}$  при зворотному зміщенні. Обчисліть струм діода при прямому  $U_{np}$  і зворотному  $I_{зв}$  зміщеннях відповідно до формул

$$I_{np} = \frac{E - U_{np}}{R} \quad I_{зв} = \frac{E - U_{зв}}{R}$$

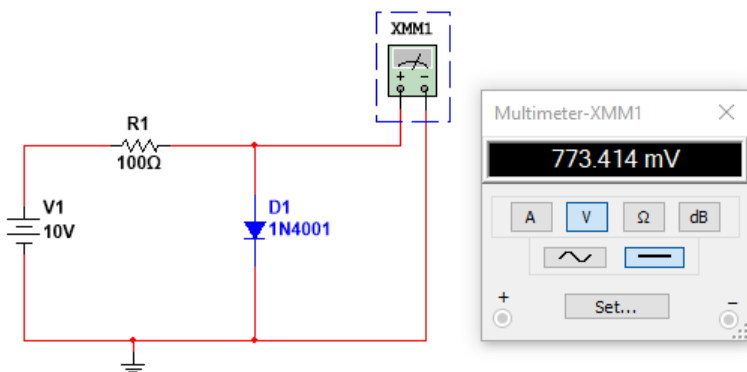


Рисунок 1.1 – Схема для вимірювання напруги на діоді

2). Вимірювання прямого та зворотного струмів.

Відкрийте файл Lab1\_2 (рис. 1.2), встановіть тип приладу відповідно до варіанту, увімкніть схему. Мультиметр покаже струм діода  $I_{np}$  при прямому зміщенні. Переверніть діод і знову запустіть схему. Тепер мультиметр покаже струм  $I_{зв}$  діода при зворотному зміщенні.

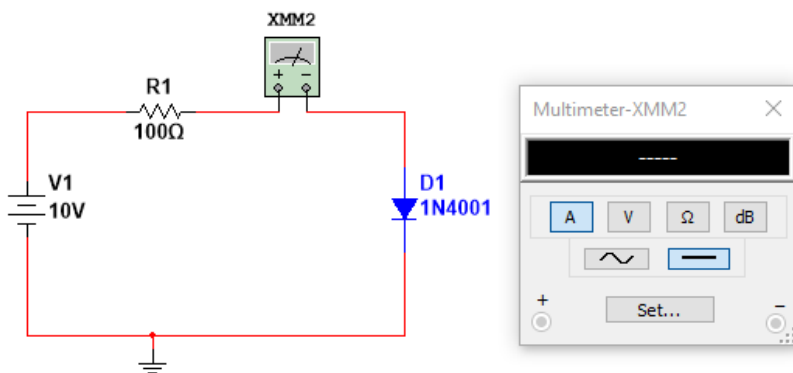


Рисунок 1.2 – Схема для вимірювання струму через діод

3). Вимірювання статичного опору діода.

Виміряйте опір діода в прямому і зворотному підключенні, використовуючи мультиметр в режимі омметра.

Малі значення опору відповідають прямому підключенню. Показання прямого опору різні для різних шкал омметра. Чому?

4). Зняття вольтамперної характеристики (ВАХ) діода.

а). Пряма гілка ВАХ. Відкрийте файл Lab1\_3 (рис. 1.3). Увімкніть схему. Послідовно встановлюючи значення ЕРС джерела (V1) рівними 5 В, 4 В, 3 В, 2 В, 1 В, 0,5 В, 0 В запишіть значення напруги  $U_{np}$  і струму  $I_{np}$  діода в таблицю.

б). Зворотна гілка ВАХ. Переверніть діод. Послідовно встановлюючи значення ЕРС джерела (V1) рівними 0 В, 5 В, 10 В, 15 В запишіть значення струму  $I_{зв}$  і напруги  $U_{зв}$  в таблицю.

в). За отриманими даними побудуйте графіки  $I_{np}(U_{np})$  і  $I_{зв}(U_{зв})$ .

г). Побудуйте дотичну до графіка прямої гілки ВАХ при  $I_{np} = 4 \text{ mA}$  і оцініть диференціальний опір діода по нахилу дотичної. Виконайте ту ж процедуру для  $I_{np} = 0,4 \text{ mA}$  і  $I_{np} = 0,2 \text{ mA}$ .

е). Обчисліть опір діода на постійному струмі  $I_{np} = 4 \text{ mA}$  за формулою  $R_{СТ} = U_{np} / I_{np}$ .

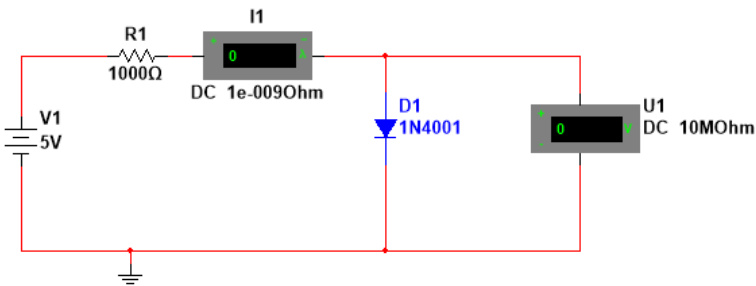


Рисунок 1.3 – Схема для зняття вольтамперної характеристики діода

5). Вимірювання напруги і обчислення струму через стабілітрон.

а). Відкрийте файл Lab1\_4 (рис. 1.4). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Виміряйте значення напруги  $U_{CT}$  на стабілітроні при значеннях ЕРС джерела 0В, 4В, 6В, 10В, 15В, 20В 25В, 30В, 35В.

б). Обчисліть струм  $I_{CT}$  стабілітрона для кожного значення напруги  $U_{CT}$ . Результати обчислень занесіть в таблицю.

в). За даними таблиці побудуйте вольтамперну характеристику стабілітрона.

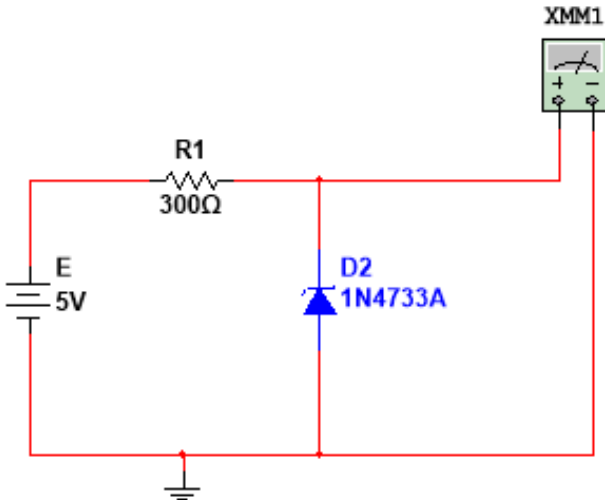


Рисунок 1.4 – Схема для вимірювання напруги і обчислення струму через стабілітрон

г). Оцініть за вольтамперною характеристикою стабілітрона напругу стабілізації.

д). Обчисліть потужність  $P_{ст}$  розсіювання на стабілітроні при нарузі  $E = 20$  В.

### 1.1.2. Дослідження діодних обмежувачів

1). Вимірювання рівня обмеження послідовного обмежувача.

Відкрийте файл Lab1\_5 (рис. 1.5). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть максимум вхідної напруги, рівень обмеження напруги.

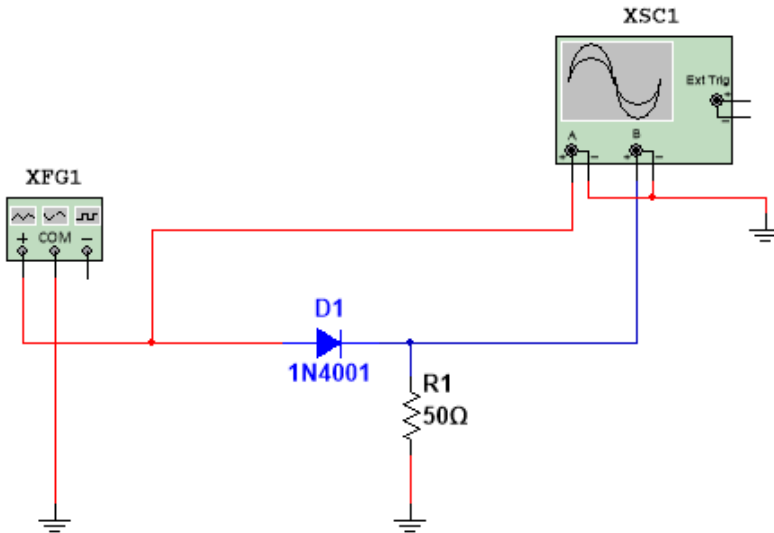


Рисунок 1.5 – Схема для вимірювання рівня обмеження послідовного обмежувача

2). Вимірювання рівня обмеження напруги в послідовному обмежувачі зі зміщенням.

а). Вимірювання рівня напруги при позитивному зміщенні. Відкрийте файл Lab1\_6 (рис. 1.6). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної та вихідної напруги і рівень обмеження напруги.

б). Вимірювання рівня напруги при негативному зміщенні. Змініть полярність увімкнення джерела живлення. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної та вихідної напруги і рівень обмеження напруги.



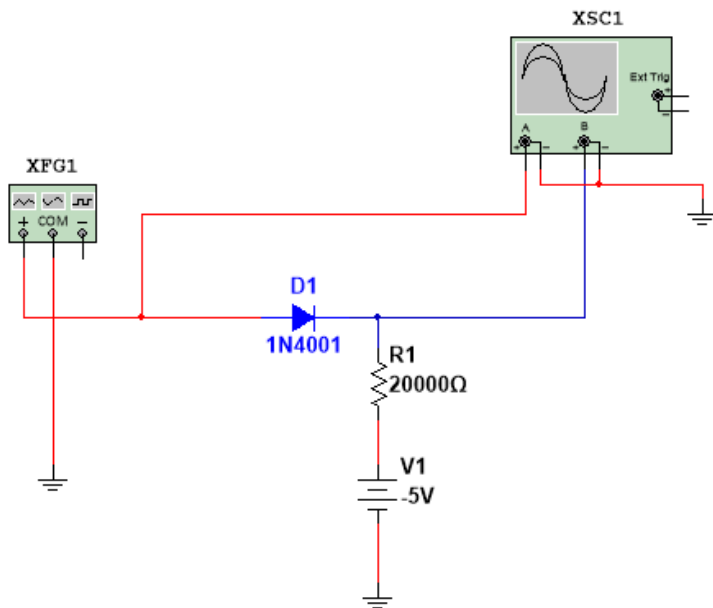


Рисунок 1.6 – Схема для вимірювання рівня обмеження напруги в послідовному обмежувачі зі зміщенням

3). Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі.

Відкрийте файл Lab1\_7 (рис. 1.7). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть максимум вхідної напруги, мінімум вихідної і рівень обмеження напруги.

4). Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі зі зміщенням.

а). Вимірювання рівня напруги при позитивному зміщенні. Відкрийте файл Lab1\_8 (рис. 1.8). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної та вихідної напруги і рівень обмеження напруги.

б). Вимірювання рівня напруги при негативному зміщенні. Змініть полярність ввімкнення джерела живлення. Увімкніть

схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть мінімуми вхідної та вихідної напруги і рівень обмеження напруги.

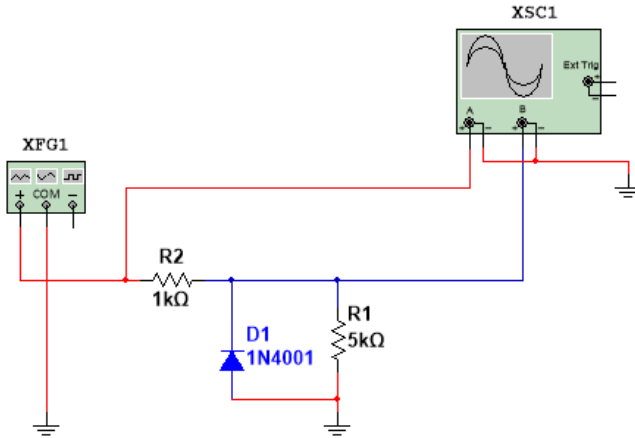


Рисунок 1.7 – Схема для вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі

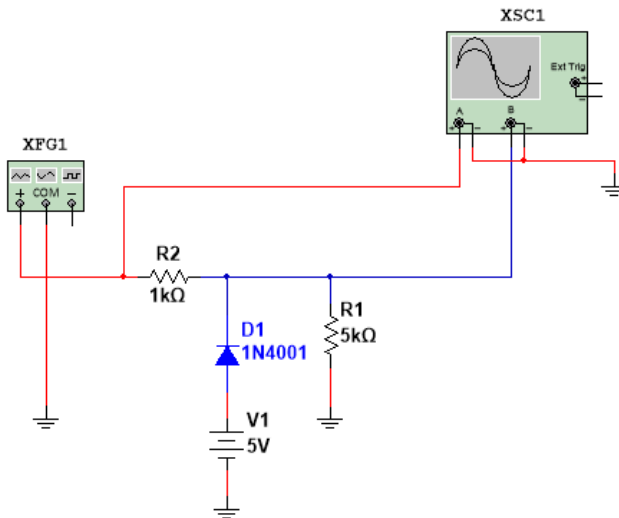


Рисунок 1.8 – Схема для вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі зі зміщенням

5). Вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі на стабілітроні.

Відкрийте файл Lab1\_9 (рис. 1.9). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги. Запишіть максимум вхідної напруги, позитивний і негативний рівні обмеження напруги.

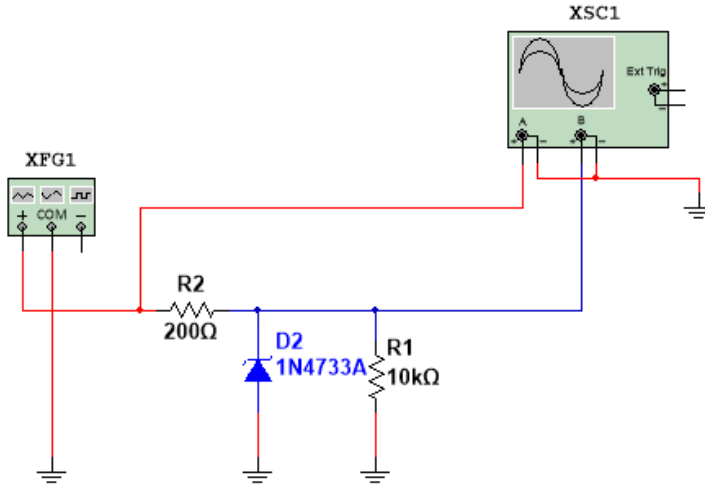


Рисунок 1.9 – Схема для вимірювання рівня обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі на стабілітроні

6). Вимірювання рівня обмеження напруги в симетричному шунтуючому обмежувачі на стабілітронах.

Відкрийте файл Lab1\_10 (рис. 1.10). Встановіть тип приладу відповідно до варіанту. Увімкніть схему. Замалюйте осцилограми вхідної і вихідної напруги.

Запишіть максимум вхідної напруги, позитивний і негативний рівні обмеження напруги.

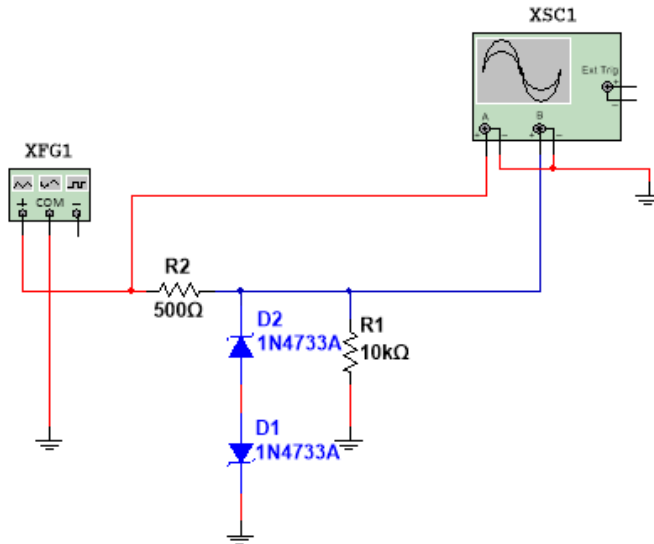


Рисунок 1.10 – Схема для вимірювання рівня обмеження напруги в симетричному шунтуючому обмежувачі на стабілітронах

## 1.2. Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Досліджувані схеми.
4. Результати вимірювань.
5. Результати розрахунків.
6. Висновки по роботі.

## 1.3. Контрольні запитання

7. Порівняйте напруги на діоді при прямому і зворотному зміщенні за порядком величин. Чому вони різні?
8. Чи можна порівняти виміряні значення струму при прямому та зворотному зміщенні з обчисленими значеннями?
9. Порівняйте струми через діод при прямому і зворотному зміщенні за порядком величин. Чому вони різні?

10. Чи набагато відрізняються прямий і зворотний опір діода при вимірюванні їх мультиметром в режимі омметра? Чи можна за цими вимірами судити про справність діода?

11. Чи існує відмінність між величинами опору діода на змінному і постійному струмі?

12. У чому відмінність між рівнями обмеження напруги в послідовних обмежувачах без зміщення і зі зміщенням?

13. Чому в послідовному обмежувачі розрізняються мінімуми вхідної та вихідної напруги?

14. У чому відмінність між вихідними напругами в послідовному і шунтуючому обмежувачах?

15. Чим визначається рівень обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі зі зміщенням?

16. Чим визначаються позитивний і негативний рівні обмеження напруги в шунтуючому обмежувачі на стабілітроні?

17. У чому відмінність між шунтувальним обмежувачем на стабілітроні і симетричним шунтувальним обмежувачем на стабілітронах?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ТОЧКИ В ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ КАСКАДАХ НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ.

Мета роботи – навчитися будувати навантажувальну пряму транзисторного каскаду та встановлювати робочу точку транзисторного каскаду. Дослідження параметрів робочої точки транзисторного каскаду. Визначення статичного коефіцієнта передачі транзистора за експериментальними даними.

### 2.1. Короткі теоретичні відомості

2.1.1. Встановлення струму бази за допомогою одного резистора.

Схема транзисторного каскаду зі спільним емітером (СЕ) з завданням струму бази за допомогою одного резистора зображена на рис. 2.1. Режим, в якому працює каскад, можна визначити, побудувавши його навантажувальну пряму на вихідній характеристиці транзистора.

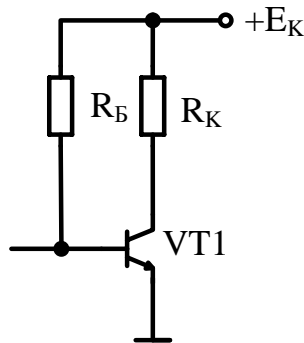


Рисунок 2.1 – Схема транзисторного каскаду СЕ з завданням струму бази за допомогою одного резистора

У режимі підсилення струм колектору описується рівнянням навантажувальної прямої:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE}}{R_K}. \quad (2.1)$$

Робоча точка в статичному режимі завдається струмом бази і напругою на колекторі. Вона визначається точкою перетину навантажувальної прямої і вихідної характеристики транзистора. Базовий струм транзистора визначається як струм через опір в ланцюзі бази  $R_B$  (див. рис.2.1):

$$I_B = \frac{E_K - U_{BE0}}{R_B}. \quad (2.2)$$

Струм колектору визначається за формулою:

$$I_K = \beta I_B. \quad (2.3)$$

Напруга колектор-емітер визначається з рівняння навантажувальної прямої:

$$U_{KE} = E_K - I_K \cdot R_K.$$

В режимі відсічки струм колектору дорівнює нулю і не здійснює на резисторі  $R_K$  падіння напруги. Відповідно, напруга  $U_{KE}$  максимальна і рівна напрузі джерела живлення  $E_K$ . Струм колектору з урахуванням теплових струмів визначається із наступного виразу:

$$I_K = I_{KE0} + \beta I_B = (\beta + 1)I_{KB0} + \beta I_B \approx \beta(I_B + I_{KB0}),$$

де  $I_{KE0}, I_{KB0}$  – зворотні струми переходу колектор-емітер і колектор-база відповідно.

Коефіцієнт нестабільності струму колектору ( $S$ ) через вплив теплових струмів в схемі визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \beta + 1 \approx \beta.$$

Відповідно для розглянутого способу завдання струму бази коефіцієнт нестабільності залежить від статичного коефіцієнта передачі, який для транзисторів одного і того ж типу може сильно відрізнятись.

2.1.2. Встановлення струму бази за допомогою подільника напруги (рис. 2.2).

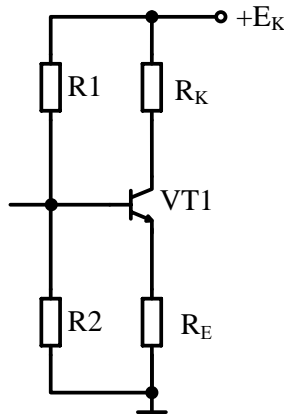


Рисунок 2.2 – Схема транзисторного каскаду зі спільним емітером з становленням струму бази за допомогою подільника напруги

Розрахунок каскаду в підсилювальному режимі.

Струм колектору в підсилювальному режимі визначається рівнянням навантажувальної прямої:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE} - U_E}{R_K},$$

(2.4)

де  $U_E = I_E R_E$ ,  $I_E$  – струм емітеру.

Струм бази визначається із визначення:

$$I_B = \frac{I_K}{\beta}. \quad (2.5)$$

Струм колектору пов'язаний зі струмом емітеру наступним виразом:

$$I_K = I_E - I_B. \quad (2.6)$$



Напруга на базі транзистора дорівнює:

$$U_B = I_E R_E + U_{BE0} \quad (2.7)$$

Далі розраховуються опори  $R_1$  і  $R_2$  подільника напруги.

Робоча точка визначається перетином навантажувальної прямої і вихідної характеристики транзистора. При відомих значеннях опорів і струму бази транзистора струм бази дорівнює:

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE0}}{R_B} \quad (2.8)$$

де  $U_B$  - напруга на базі транзистора. Якщо  $\beta R_E \gg R_2$ , то:

$$U_B = E_K \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} \quad (2.9)$$

Струм емітера визначається падінням напруги на опорі  $R_E$  в ланцюзі емітера и визначається як різниця потенціалів  $U_B$  і  $U_{BE0}$ :

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE0}}{R_E}$$

Значення напруги колектор-емітер  $U_{KE}$  визначається законом Кірхгофа:

$$U_{KE} = E_K - I_K \cdot R_K - I_E \cdot R_E$$

Коефіцієнт нестабільності струму колектору ( $S$ ) через вплив теплових струмів в схемі, за умови, що  $U_E > U_{BE0}$  визначається, як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \cdot R_E / (R_E + R_B)} \approx 1 + \frac{R_B}{R_E},$$

$$\text{де } R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1}$$

Відповідно для розглянутого способу встановлення струму бази коефіцієнт нестабільності визначається елементами схеми і практично не залежить від характеристик транзистора, що покращує стабільність робочої точки.

2.1.3. Встановлення струму бази за допомогою додаткового джерела в ланцюзі емітера.

Схема встановлення струму бази за допомогою додаткового джерела в ланцюзі емітера в каскаді зі спільним емітером (рис 2.3).

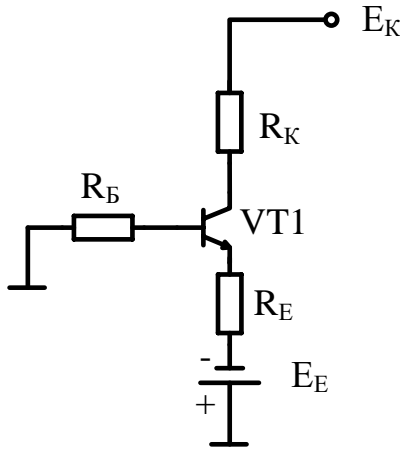


Рисунок 2.3 – Схема транзисторного каскаду зі спільним емітером з встановленням струму бази за допомогою додаткового джерела в ланцюзі емітера

Струм колектору в підсилюючому режимі описується рівнянням навантажувальної прямої:

$$I_K = \frac{E_K + E_E - U_{KE} - I_E \cdot R_E}{R_K} \quad (2.10)$$

Напруга на базі транзистора \$U\_B\$ визначається наступним виразом:

$$U_B = I_E \cdot R_E - E_E + U_{BE0} \quad (2.11)$$

Ця ж напруга рівна падінню напруги на резисторі  $R_B$ :

$$U_B = -I_B \cdot R_B.$$

(2.12)

Струм емітера визначається виходячи з падіння напруги на опорі  $R_E$ :

$$I_E = \frac{U_E + E_E}{R_E} = \frac{U_B - U_{BE0} + E_E}{R_E}.$$

Напруга  $U_B$  має від'ємне значення.

Струм колектору пов'язаний зі струмом емітера наступним виразом:

$$I_K = I_E - I_B \approx I_E.$$

Значення напруги колектор-емітер обчислюється з закону Кірхгофа для напруг:

$$U_{KE} = E_K + E_E - I_K \cdot R_K - I_E \cdot R_E.$$

Коефіцієнт нестабільності струму колектору (S) визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \cdot R_E / (R_E + R_B)}.$$

Схема характеризується таким же коефіцієнтом нестабільності, як і попередня.

2.1.4. Встановлення струму бази за допомогою резистора в ланцюзі база-колектор.

Схема завдання струму бази за допомогою резистора в ланцюзі база-колектор в каскаді з спільним емітером (рис 2.4).

Струм колектору в підсилюючому режимі описується рівнянням:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE}}{R_K} - I_B. \quad (2.13)$$

Робоча точка визначається точкою перетину навантажувальної прямої і вихідної характеристики транзистора. Струм бази визначається з виразу:

$$I_B = \frac{U_{KE} - U_{BE0}}{R_B} \quad (2.14)$$

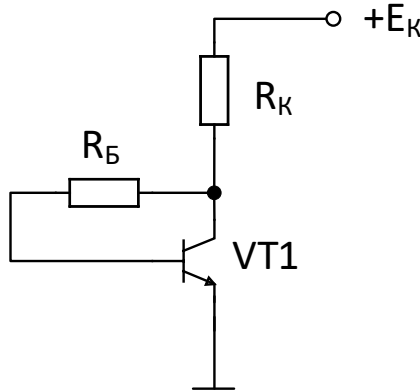


Рисунок 2.4 – Схема транзисторного каскаду із спільним емітером з встановленням струму бази за допомогою резистора в ланцюзі база-колектор

Як видно з виразу, струм бази залежить від напруги колектор-емітер, що робить схему менш чутливою до розкиду значень статичного коефіцієнта передачі транзистора. Струм колектору в схемі визначається за формулою:

$$I_K = \frac{E_K - U_{BE0}}{R_K + R_B / \beta}$$

Значення напруги колектор-емітер обчислюється за законом Кірхгофа:  $U_{KE} = E_K - I_K \cdot R_K$ .

Статичний коефіцієнт передачі струму  $\beta$  визначається відношенням струму колектору до струму бази:

$$\beta = \frac{I_K}{I_B}$$

Коефіцієнт нестабільності струму колектору (S) через вплив теплових струмів в схемі з резистором в ланцюзі база-колектор визначається як:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \cdot R_K / R_B} \approx \frac{R_B}{R_K}$$

Як випливає з виразу, коефіцієнт нестабільності цієї схеми трохи вище, ніж у схемі з опором  $R_E$  в ланцюзі емітера.

## 2.2. Порядок проведення експериментів

2.2.1. Визначення параметрів режиму спокою та і отримання вихідних характеристик.

Для транзистору згідно варіанту (таблиця 2.1) знайти експлуатаційні параметри та записати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.1– Варіанти завдань

Номер варіанту	Тип транзистору
1	2N3904
2	2N3859
3	PN3641
4	2N2923
5	2N4410
6	MPS3392
7	2N3390
8	2N3860

Будуємо вихідну характеристику заданого транзистора. З'єднуємо транзистор з характеріографом відповідно схеми на рисунку 2.5. Обираємо у властивостях характеріографа **Components** режим **BJT NPN** та налаштуємо прилад на

побудову вихідних характеристик. За потреби змінюємо налаштування характеріографа для отримання характеристик в діапазоні  $U_{KE} \leq 20\text{ В}$  та  $I_K \leq I_{K\text{дон}}$  через властивості **Simulate**

**Parameters**. Запускаємо моделювання та знімаємо вихідні характеристики транзистора.

Таблиця 2.2– Експлуатаційні параметри транзистора

Параметр	Значення
Максимальна напруга колектор-емітер транзистора $U_{кедон}$ , В.	
Максимально допустимий постійний струм колектору $I_{K\text{дон}}$ , А.	
Коефіцієнт передачі струму бази, $h_{21E}$	
Джерело	

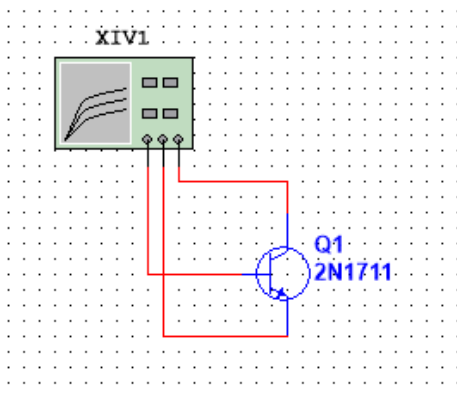


Рисунок 2.5 – Схема з'єднання транзистора з характеріографом

За максимально допустимим постійним струмом колектору визначаємо координату точки перетину навантажувальної прямої з віссю струму  $I_K$  вихідної

характеристики  $I_{Kmax} = 0,66I_{K\text{доп}}$ . Для напруги  $E_K = 20V$  по двом точкам  $(0; I_{Kmax})$  та  $(E_K; 0)$  будемо навантажувальну пряму. Для струму  $0,33I_{K\text{доп}}$  знаходимо найближчу гілку вихідної характеристики за якою визначаємо параметри режиму спокою  $I_{B0}$ ,  $I_{K0}$  та  $U_{KE0}$  (рисунок 2.6).

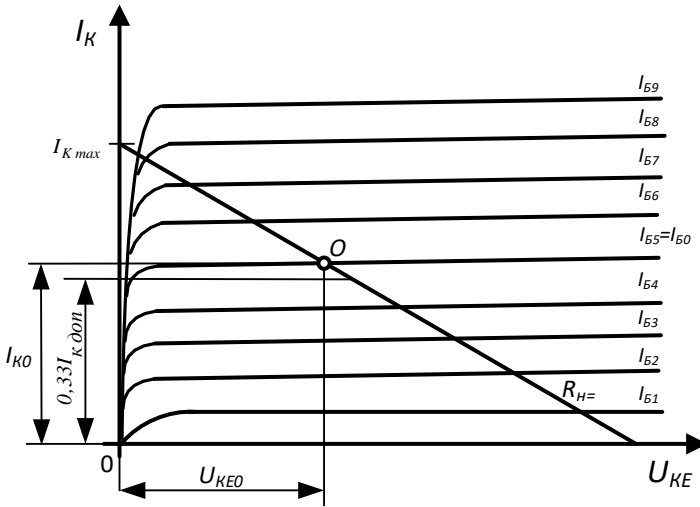


Рисунок 2.6 – Визначення параметрів режиму спокою

### 2.2.2. Дослідження параметрів робочої точки при встановленні струму бази за допомогою одного резистора.

1). Зібрати підсилювальний каскад по схемі рисунку 2.7. Для визначених в пункті 2.1.1 параметрів режиму спокою  $I_{B0}$ ,  $I_{K0}$ ,  $U_{KE0}$  та  $U_{BE0} = 0,6V$ ,  $E_K = 20V$  по формулах 2.1-2.3 розраховуємо параметри резисторів  $R_B$  та  $R_K$ . Значення опорів обираємо згідно ряду стандартизованих номінальних значень (таблиця 2.3).

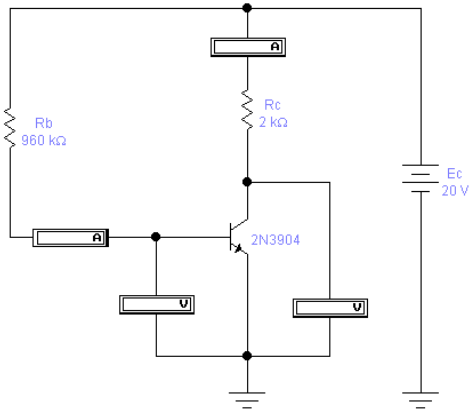


Рисунок 2.7 – Схема для дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою одного резистора

Таблиця 2.3 – Стандартизовані ряди номінальних значень.

Індекс ряду	Допустиме відхилення опору від номінального значення, %	Числові коефіцієнти, помножені на $10^n$ ( $n$ – ціле число от 0 до 7)
E6	$\pm 20$	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8
E12	$\pm 10$	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 6,2
E24	$\pm 5$	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,1 1,6 2,4 3,6 5,1 7,5 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2 1,3 2,0 3,0 4,3 6,2 9,1

2). Включити схему. Записати результати вимірювань для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.4. Побудуйте навантажувальну пряму по постійному



струму на вихідній характеристиці транзистора та позначте на ній координату точки спокою отриману в результаті експерименту.

Таблиця 2.4– Результати вимірювань по схемі 2.7

Параметр	Результати		
	Теорет.	Експериментальні	
		t=27°C	t=47°C
Струм бази спокою $I_{B0}$			
Струм колектору спокою $I_{K0}$			
Напруга колектор-емітер $U_{KE0}$			
Напруга база-емітер $U_{BE0}$			

3). Виконайте дослідження роботи схеми при температурі t=47°C. В меню **Simulate>>Analyses and Simulation** проведіть налаштування режиму **Temperature Sweep** згідно рисунку 2.8. На вкладинці **Output** оберіть для спостереження параметри режиму спокою. Включіть схему та запишіть результати вимірювань при температурі t=47°C для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.4.

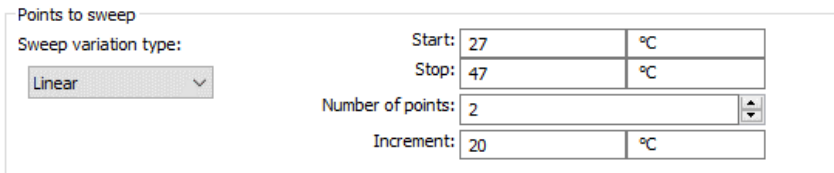


Рисунок 2.8 – Налаштування вимірювань при температурі t=47°C.

2.2.3. Дослідження параметрів робочої точки при завданні струму бази за допомогою дільника напруги.

1). Зібрати підсилювальний каскад по схемі рисунку 2.9. Для визначених в пункті 2.1.2 параметрів режиму спокою  $I_{B0}$ ,  $I_{K0}$ ,  $U_{KE0}$  та  $U_{BE0} = 0,6 \text{ B}$ ,  $E_K = 20 \text{ B}$  по формулах 2.4-2.9 розраховуємо параметри резисторів  $R_K$ ,  $R_E$  та  $R_1$ ,  $R_2$ . В розрахунках прийняти  $R_K = 3R_E$ . Значення опорів обираємо згідно ряду стандартизованих номінальних значень (таблиця 2.3).

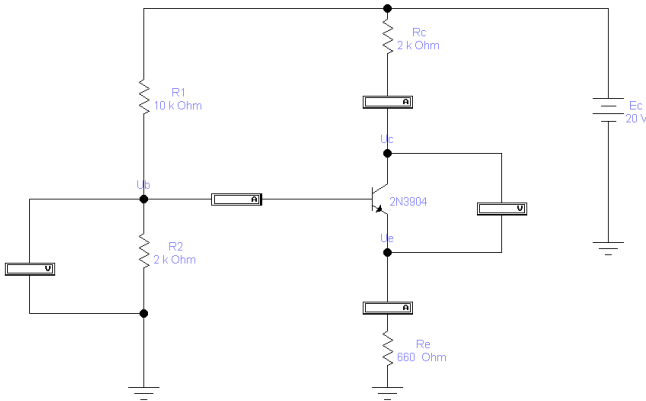


Рисунок 2.9 – Схема для дослідження параметрів робочої точки при заданні струму бази за допомогою діляника напруги

2). Включити схему. Записати результати вимірювань для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.5. Побудуйте навантажувальну пряму по постійному струму на вихідній характеристиці транзистора та позначте на ній координату точки спокою отриману в результаті експерименту.

3). Виконайте дослідження роботи схеми при температурі  $t=47^\circ\text{C}$ . В меню **Simulate>>Analyses and Simulation** проведіть налаштування режиму **Temperature Sweep** згідно рисунку 2.8. На вкладинці **Output** оберіть для спостереження параметри режиму

спокою. Включіть схему та запишіть результати вимірювань при температурі  $t=47^{\circ}\text{C}$  для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5– Результати вимірювань по схемі 1.8

Параметр	Результати		
	Теорет.	Експериментальні	
		$t=27^{\circ}\text{C}$	$t=47^{\circ}\text{C}$
Струм бази спокою $I_{B0}$			
Струм колектору спокою $I_{K0}$			
Напруга колектор-емітер $U_{KE0}$			
Напруга база-емітер $U_{BE0}$			

2.2.4. Дослідження параметрів робочої точки при завданні струму бази за допомогою додаткового джерела в ланцюзі емітера.

1). Зібрати підсилювальний каскад по схемі рисунку 2.10. Для визначених в пункті 2.1.3 параметрів режиму спокою  $I_{B0}$ ,  $I_{K0}$ ,  $U_{KE0}$  та  $U_{BE0} = 0,6\text{ В}$ ,  $E_K = 20\text{ В}$  по формулах 2.10-2.12 розраховуємо параметри резисторів  $R_K$ ,  $R_E$  та  $R_B$ . В розрахунках прийняти  $R_K = 3R_E$ . Значення опорів обираємо згідно ряду стандартизованих номінальних значень (таблиця 1.3).

2). Включити схему. Записати результати вимірювань для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.6. Побудуйте навантажувальну пряму по постійному струму на вихідній характеристиці транзистора та позначте на ній координату точки спокою отриману в результаті експерименту.

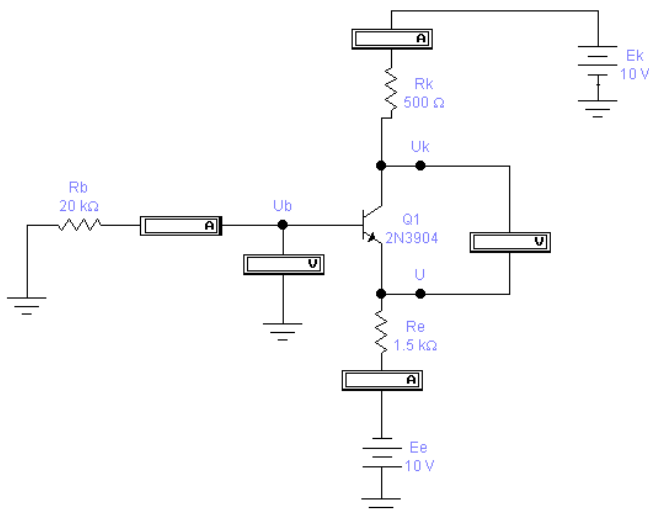


Рисунок 2.10 – Схема для дослідження параметрів робочої точки при завданні струму бази з додатковим джерелом в ланцюзі емітера

Таблиця 2.6 – Результати вимірювань по схемі 2.10

Параметр	Результати		
	Теорет.	Експериментальні	
		t=27°C	t=47°C
Струм бази спокою $I_{B0}$			
Струм колектору спокою $I_{K0}$			
Напруга колектор-емітер $U_{KE0}$			
Напруга база-емітер $U_{BE0}$			

3). Виконайте дослідження роботи схеми при температурі  $t=47^{\circ}\text{C}$ . В меню **Simulate>>Analyses and Simulation** проведіть налаштування режиму **Temperature Sweep** згідно рисунку 2.8. На вкладинці **Output** оберіть для спостереження параметри режиму спокою. Включіть схему та запишіть результати вимірювань при температурі  $t=47^{\circ}\text{C}$  для струму бази, струму колектору, струму

емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.6.

2.2.5. Дослідження параметрів робочої точки при завданні струму бази за допомогою додаткового джерела в ланцюзі емітера.

1). Зібрати підсилювальний каскад по схемі рисунку 2.11.

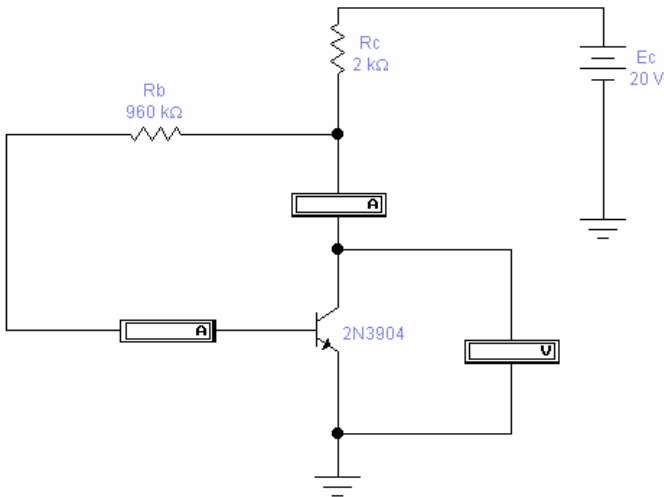


Рисунок 2.11 – Схема для дослідження параметрів робочої точки при завданні струму бази за допомогою резистора в ланцюзі база-колектор

Для визначених в пункті 2.1.4 параметрів режиму спокою  $I_{B0}$ ,  $I_{K0}$ ,  $U_{KE0}$  та  $U_{BE0} = 0,6 \text{ B}$ ,  $E_K = 20 \text{ B}$  по формулах 2.13-2.14 розраховуємо параметри резисторів  $R_K$  та  $R_B$ . Значення опорів обираємо згідно ряду стандартизованих номінальних значень (таблиця 2.3).

2). Включити схему. Записати результати вимірювань для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 1.7. Побудуйте навантажувальну пряму по постійному

струму на вихідній характеристиці транзистора та позначте на ній координату точки спокою отриману в результаті експерименту.

Таблиця 2.7– Результати вимірювань по схемі 2.11

Параметр	Результати		
	Теорет.	Експериментальні	
		t=27°C	t=47°C
Струм бази спокою $I_{B0}$			
Струм колектору спокою $I_{K0}$			
Напруга колектор-емітер $U_{KE0}$			
Напруга база-емітер $U_{BE0}$			

3). Виконайте дослідження роботи схеми при температурі t=47°C. В меню **Simulate>>Analyses and Simulation** проведіть налаштування режиму **Temperature Sweep** згідно рисунку 2.8. На вкладинці **Output** оберіть для спостереження параметри режиму спокою. Включіть схему та запишіть результати вимірювань при температурі t=47°C для струму бази, струму колектору, струму емітера, напруги колектор-емітер і напруги на базо-емітерному переході в таблицю 2.7.

### 2.3. Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Досліджувані схеми.
4. Результати вимірювань.
5. Результати вимірювань, побудовані навантажувальні прямі.
6. Висновки до роботи.

### 2.4. Контрольні запитання

1. Чи змінюється положення робочої точки при зміні статичного коефіцієнта передачі струму?
2. Який зв'язок між струмами колектору і емітера?

3. У чому перевага схеми зі зміщенням в ланцюзі бази над схемою зі зміщенням в ланцюзі емітера?
4. У чому перевага схеми з подільником напруги в ланцюзі бази над схемою зі зміщенням в ланцюзі емітера?
5. Яку роль виконує опір  $R_E$  в ланцюзі емітера для стабільності роботи схеми? В чому вона полягає?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ПІДСИЛЮВАЛЬНІ КАСКАДИ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ

Мета роботи - дослідження підсилювальних каскадів на біполярних транзисторах.

#### 3.1. Короткі теоретичні відомості

Підсилювач електричних сигналів – це пристрій, призначений для підсилення потужності вхідного сигналу за рахунок споживання енергії джерела живлення.

Основні технічні показники підсилювача: коефіцієнт підсилення, вхідний і вихідний опори, вихідна потужність, коефіцієнт корисної дії, амплітудна, амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики.

*Коефіцієнти підсилення.* Розрізняють коефіцієнти підсилення за напругою, за струмом та за потужністю. Коефіцієнт підсилення за напругою в загальному випадку є комплексним через наявність у схемі підсилювача реактивних елементів:

$$\dot{K}_U = \frac{U_{вих} e^{j\varphi_{вих}}}{U_{вх} e^{j\varphi_{вх}}} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} e^{j(\varphi_{вих} - \varphi_{вх})} = K_U \cdot e^{j\varphi}$$

де  $K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$  – модуль коефіцієнта підсилення за напругою;  $\varphi = \varphi_{вих} - \varphi_{вх}$  – фазовий зсув між вхідною і вихідною напругами.

При описанні підсилювального пристрою використовують лише модуль коефіцієнта підсилення  $K_U$ .

Коефіцієнт підсилення за струмом:

$$K_I = \frac{I_{вих}}{I_{вх}}$$



Коефіцієнт підсилення за потужністю:

$$K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}},$$

де  $P_{вих}$  – вихідна потужність, тобто потужність, що віддається підсилювачем у навантаження;  $P_{вх}$  – вхідна потужність, тобто потужність, що віддається джерелом вхідного сигналу.

*Вхідний опір* – опір між вхідними клемми підсилювача для змінного струму  $R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}}$ .

*Вихідний опір* підсилювача визначається співвідношенням:

$$R_{вих} = \frac{U_{вих}}{I_{к.з}} = \frac{U_{хх}}{I_{к.з}},$$

де  $I_{к.з}$  – струм короткого замикання ( $R_n = 0$ );

$U_{хх}$  – напруга холостого ходу ( $R_n = \infty$ ).

Амплітудно-частотна (АЧХ) і фазово-частотна (ФЧХ) характеристики.

Залежність модуля коефіцієнта підсилення підсилювача від частоти є амплітудно-частотною характеристикою (рис. 3.1).

Фазово-частотна характеристика – це залежність кута зсуву фаз між вхідним та вихідним сигналами від частоти.

Для осі абсцис зазвичай використовують логарифмічний масштаб (логарифмічна амплітудно-частотна (ЛАЧХ) і фазово-частотна (ЛФЧХ) характеристики). Це викликано тим, що частотний діапазон сучасних підсилювачів може бути дуже великим, і якщо частоту відкласти в лінійному масштабі, то така характеристика буде незручною для використання, оскільки всі нижні частоти стиснуться біля початку координат, а область верхніх частот виявиться дуже розтягнутою. Для осі ординат зазвичай використовують лінійний масштаб, при цьому

коефіцієнт підсилення може бути відкладений як у відносних одиницях, так і в децибелах.

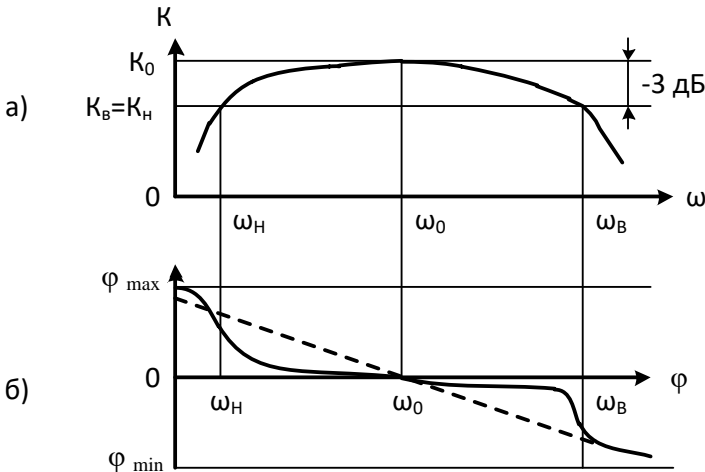


Рисунок 3.1 – Амплітудно-частотна (а) і фазо-частотна (б) характеристики підсилювача

Як бачимо з рис. 3.1 а, при зміні частоти вхідного сигналу від нуля до нескінченності модуль коефіцієнта підсилення спочатку зростає, досягаючи поступово на деякій частоті максимальної величини  $K_0$ , а потім знову зменшується; основна причина цього – наявність у схемі реактивних елементів. Частоти  $\omega_n$  і  $\omega_e$  називаються нижньою і верхньою граничними частотами. Це частоти, на яких модуль коефіцієнта підсилення підсилювача зменшується до допустимої (заданою) величини відносно  $K_0$ . Смуга частот у межах від  $\omega_n$  до  $\omega_e$  називається робочою смугою частот, або смугою пропускання підсилювача.

*Смуга пропускання підсилювача* – діапазон робочих частот  $\Delta\omega$ , у межах якого коефіцієнт підсилення не знижується нижче значення  $1/\sqrt{2} \approx 0,707$  від свого максимального значення  $K_0$ . Якщо відновити перпендикуляр із точки на вісь абсцис, що відповідає значенню  $K_0/\sqrt{2}$ , до перетину з АЧХ, то проекція на

вісь абсцис першої точки перетину відповідає нижній ( $\omega_n$ ), а другий – верхній ( $\omega_g$ ) частотам пропускання підсилювача, й, отже, смуга пропускання  $\Delta\omega = \omega_g - \omega_n$ . Якщо коефіцієнт підсилення вимірюється в децибелах, то значенням граничних частот підсилення  $\omega_n$  і  $\omega_g$  відповідає зменшення коефіцієнта підсилення на 3 дБ.

*Амплітудна характеристика (АХ)* відображає залежність сталого значення вихідного сигналу від вхідного синусоїдального сигналу  $U_{вих} = f(U_{вх})$  на деякій частоті (рис. 3.2).

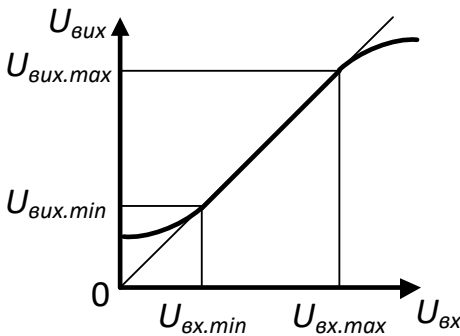


Рисунок 3.2 – Амплітудна характеристика підсилювача

У робочому діапазоні амплітуд вхідного сигналу амплітудна характеристика має бути лінійною (у межах між  $U_{вх.min}$  і  $U_{вх.max}$ ), а кут її нахилу визначається величиною коефіцієнта підсилення на цій частоті. Мінімальний вхідний сигнал  $U_{вх.min}$  визначається рівнем власних шумів підсилювача  $U_{ш}$ , максимальний вхідний сигнал  $U_{вх.max}$  – переходом на нелінійну область характеристики, що зумовлює нелінійні спотворення, за рахунок зменшення коефіцієнта підсилення підсилювача.

## 3.2. Порядок проведення експериментів

3.2.1. Дослідження підсилювача за схемою із спільним емітером (СЕ).

1). Відкрийте файл Lab2\_1 зі схемою (рис. 3.3).

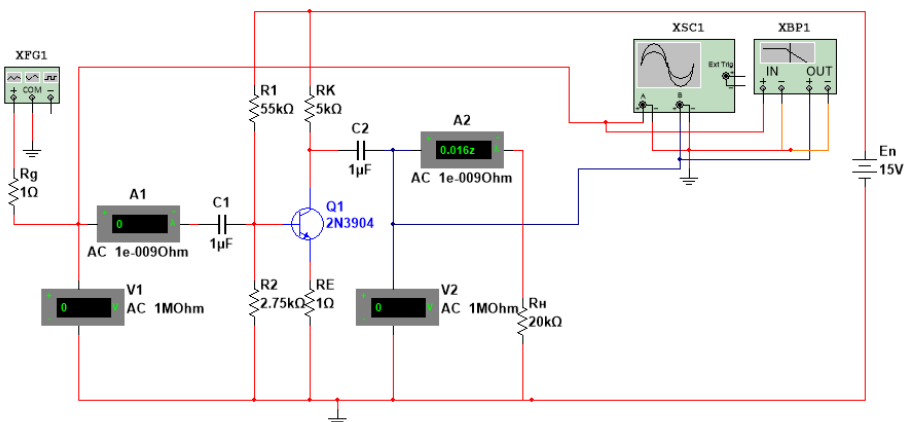


Рисунок 3.3 – Підсилювач за схемою із СЕ

2). Встановіть на генераторі частоту 1000 Гц і амплітудне значення напруги генератора  $U_g = 10 \text{ мВ}$ .

3). Увімкніть схему та проконтролюйте за допомогою осцилографа наявність напруги на вході та на виході схеми (якщо сигнал спотворений, варто зменшити напругу вхідного сигналу).

4). Розрахуйте вхідний опір каскаду  $R_{вх}$ .

5). Встановіть опір генератора  $R_g = 0$ . Виміряйте напругу на вході схеми за допомогою вольтметра V1. Збільшуйте опір  $R_g$  до зменшення вхідної напруги вдвічі. Порівняйте значення  $R_g$  з вхідним опором, визначеним в пункті 4.

6). Розрахуйте вихідний опір каскаду  $R_{вих}$ .

7). Відключіть опір навантаження ( $R_n = \infty$ ). Виміряйте напругу на виході схеми за допомогою вольтметра V2.

Підключіть навантаження та шляхом підбору опору  $R_n$  зменшить значення вихідної напруги вдвічі. Порівняйте значення  $R_n$  з вихідним опором, визначеним в пункті 6.

8). За допомогою показів вольтметрів V1 та V2 визначить коефіцієнт підсилення за напругою, а амперметрів A1 та A2 коефіцієнт підсилення за струмом. Результати вимірювань та розрахунків занести в табл. 2.1.

Таблиця 3.1– Результати за експериментом 2.3.1

$U_g$	V1	V2	A1	A2	$K_U$	$K_I$	$R_{вх}$	$R_{вих}$

9). Зніміть та побудуйте АХ підсилювача при частоті вхідного сигналу 1000 Гц. Результати занести в табл. 2.2.

10). За допомогою Vode Plotter дослідить АЧХ підсилювача ( $K_U = \psi(f)$ ) визначить частоти  $f_n$  і  $f_g$ .

Таблиця 3.2– Результати досліджень для побудови АХ підсилювального каскаду СЕ

$U_g$	V1	V2	$K_U$
1 mV			
2 mV			
5 mV			
10 mV			
20 mV			
40 mV			

3.2.2. Дослідження підсилювача за схемою із спільним емітером зі зворотнім зв'язком (СЕ із 33).

1). Відкрийте файл Lab3\_1 зі схемою (рис. 3.3). Встановіть значення  $RE = 100 \text{ Ом}$ . Виконайте пп. 2-10 як в експерименті 3.2.1.

3.2.3. Дослідження підсилювача за схемою із спільним колектором (СК).

1). Відкрийте файл Lab3\_2 зі схемою (рис. 3.4). Виконайте пп. 2-9 як експерименті 3.2.1.

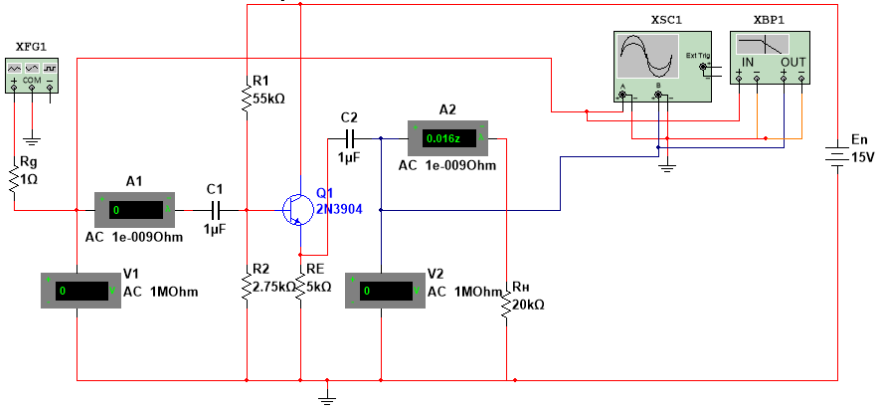


Рисунок 3.4 – Підсилювач за схемою із СК

3.2.4. Дослідження підсилювача за схемою із спільною базою (СБ).

1). Відкрийте файл Lab2\_3 зі схемою (рис. 3.5). Виконайте пп. 2-10 як експерименті 3.2.1.

За результатами проведених експериментів розрахуйте коефіцієнти  $K_I$  та  $K_P$  для кожної схеми та занесіть результати обчислень в табл. 3.3.

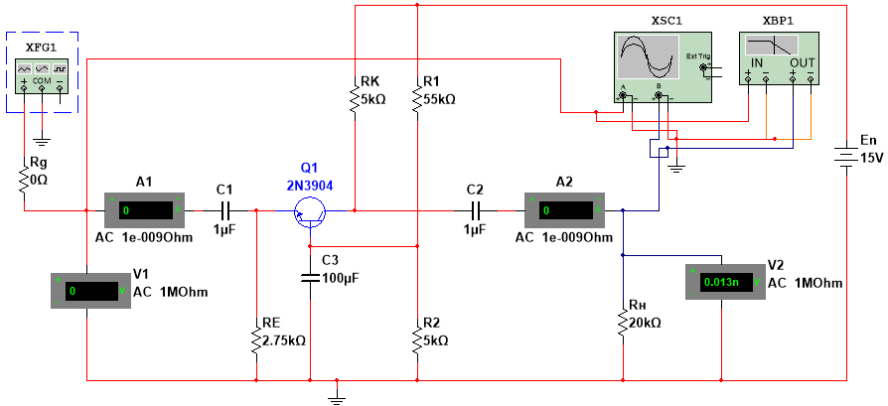


Рисунок 3.5 – Підсилювач за схемою із СБ

Таблиця 3.3– Параметри підсилювальних каскадів

	Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі			
	СЕ	СЕ із 33	СК	СБ
$R_{ex}$				
$R_{вих}$				
$K_U$				
$K_I$				
$K_P$				

### 3.3. Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Досліджувані схеми.
4. Результати вимірювань.
5. Висновки до роботи.

### **3.4. Контрольні запитання**

1. Накресліть електричну принципіальну схему підсилювальних каскадів СЕ, СК. Поясніть призначення елементів.

2. Порівняйте каскади за їх основними параметрами і характеристиками.

3. Назвіть і накресліть реалізації основних способів задання режиму біполярних транзисторів за постійним струмом.

4. Поясніть вплив температури на роботу підсилювального каскаду.

5. Поясніть принципи роботи схем емітерної та колекторної температурної стабілізації.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОКАСКАДНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи – вивчити пристрій двокаскадного напівпровідникового підсилювача низької частоти. Отримати практичні навички віртуальних досліджень підсилювачів змінного струму в оболонці програми Multisim. Експериментально підтвердити теоретичні знання, отримані на лекціях по напівпровідникових підсилювачів низької частоти.

### 4.1. Короткі теоретичні відомості

Схема транзисторного двокаскадного підсилювача наведена на рис. 4.1.

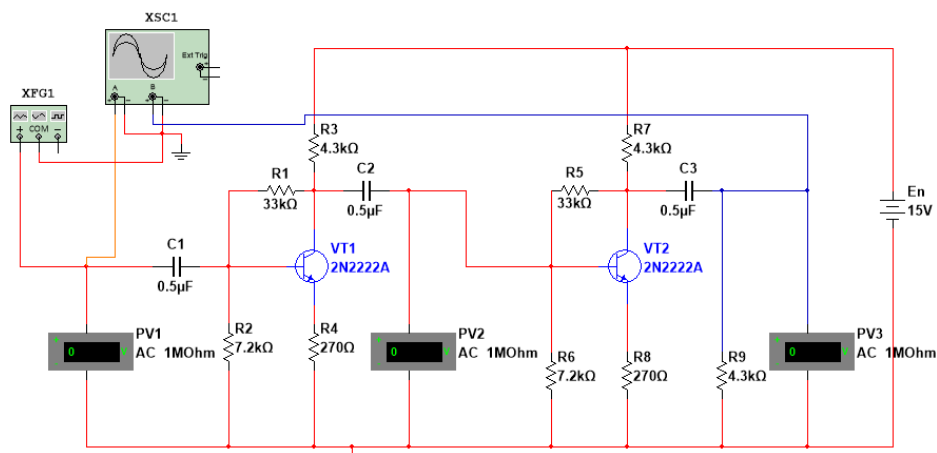


Рисунок 4.1 – Схема двокаскадного транзисторного підсилювача

Обидва каскади підсилювача виконані по ідентичним схемами з загальним емітером і працюють в режимі класу А, тобто без відсічки колекторного струму.

Режими роботи транзисторів VT1 і VT 2 по постійному струму задаються за допомогою базових подільників R1, R2 і R5, R6, емітерних резисторів R4 і R8 і колекторних резисторів R3 і

R7. Завдяки дії негативного зворотного зв'язку по напрузі (через резистор R1 в першому каскаді і резистор R5 у другому) і негативного зворотного зв'язку по струму (за рахунок включення в ланцюзі емітерів резисторів R4 і R8) досягається висока стабільність струмів і напруги спокою колекторів транзисторів в каскадах.

Для виключення впливу джерела вхідного сигналу на струм і напругу спокою транзистора VT1 застосований розділовий конденсатор C1. Розділовий конденсатор C2 забезпечує розв'язку першого і другого каскадів підсилювача по постійному струму. Для виключення впливу навантаження на струм і напруга спокою транзистора VT2 застосований розділовий конденсатор C3.

Робота підсилювача полягає в наступному. Слабкий синусоїдальний сигнал подається на вхід підсилювача і через розділовий конденсатор C1 надходить на базу транзистора VT1. Виникає синусоїдальний струм бази, який у першому наближенні пропорційний вхідній напрузі. Пропорційне змінам струму бази відбуваються зміни струму колектора, причому ці зміни в десятки разів більше змін струму бази (транзистор здійснює посилення струму бази). Між емітером і колектором транзистора VT1 виникає змінна складова напруги, яка через розділовий конденсатор C2 надходить на базу транзистора VT2 другого каскаду.

Сигнал на виході першого каскаду суттєво більше вхідного і зрушений щодо нього по фазі на  $180^\circ$ . Каскад з СЕ підсилює і інвертує вхідний сигнал.

Другий каскад підсилювача працює аналогічно першому. З його виходу (колектор VT2) сигнал в навантаження (опір R9) надходить через розділовий конденсатор C3. Цей каскад так само, як і перший, підсилює і інвертує свій вхідний сигнал. У підсумку виходить, що даний двокаскадний підсилювач є неінвертувальним.

## 4.2. Порядок проведення експериментів

### 4.2.1. Віртуальна установка.


Віртуальна установка (рис. 4.1) для досліджуваного двокаскадного підсилювача змінного струму містить:

- джерело підсилюваного сигналу у вигляді генератора сигналів низької частоти *XFG1 (Function Generaor)*;
- три мілівольметра *PV1, PV2, PV3*, налаштовані на режим вимірювання змінного струму (режим *AC*);
- двоканальний осцилограф *PG2*;
- транзистори *VT1, VT2* типу *2N2222A* з бібліотеки *2n*;
- резистори *R1 ... R9* і конденсатори *C1, C2* і *C3*, номінали яких вказані на схемі.

4.2.2. Провести дослідження амплітудної характеристики двокаскадного підсилювача змінного струму.

Відкрийте файл *LabW\_3\_1* з віртуальною установкою (див. рис. 3.1) для дослідження двокаскадного підсилювача змінного струму.

Перевірте параметри вольтметрів. Відкривши діалогове вікно *Voltmeter Properties*, відкрити вкладку *Value* і в віконці *Mode* задати тип вольтметра - *AC* (вольтметр змінного струму). У віконці *Resistance (R)* встановіть внутрішній опір вольтметра *1 МОм*.

Налаштуйте функціональний генератор *Function Generator (PG1)* на режим синусоїдальних коливань для чого натиснути кнопку . Встановіть початкову частоту (*Frequency*)  $f = 5$  кГц, тривалість робочого циклу (*Duty cycle*) 50%, амплітудне значення вихідного сигналу (*Amplitude*)  $U_{вих.Дж.} = 0$  мВ, постійну складову вихідного сигналу генератора *Offset*  $U_{=} = 0$  В.

Включіть віртуальну установку і зняти амплітудну характеристику підсилювача на частоті  $f = 5$  кГц, змінюючи амплітудне значення синусоїдального сигналу на вході підсилювача відповідно до даних табл. 3.1. Діючі значення

вхідних і вихідних напруги каскадів вимірювати за допомогою мілівольтметрів *PV1, PV2, PV3*.

Обчисліть коефіцієнти підсилення каскадів і підсилювача по напрузі. Результати занесіть в табл. 4.1:

$$K_{U1} = \frac{U_{вих1}}{U_{вх1}}; K_{U2} = \frac{U_{вих2}}{U_{вх2}}; K_U = \frac{U_{вих2}}{U_{вх1}}.$$

Переконатися, що  $K_U = K_{U1} \cdot K_{U2}$ .

Таблиця 4.1– Результати вимірювань за пунктом 3.3.2.3

$U_{вх.Джс.}, мВ$	0	10	20	80	100	150	200	250	300
$U_{вх}, мВ$									
$U_{вих1}, мВ$									
$U_{вих2}, мВ$									
$K_{U1}$									
$K_{U2}$									
$K_U$									

4.2.3. Дослідження форм сигналів вихідних напруги  $U_{вих1}$  і  $U_{вих2}$ .

Дослідження форми вихідної напруги  $U_{вих1}$  і  $U_{вих2}$  осцилографом і відзначення, при якій вхідній напрузі  $U_{вх}$  відбувається спотворення форми синусоїди. Для цього:

- Подвійним клацанням лівої кнопки миші по піктограмі осцилографа відкрити осцилограф.
- Встановіть тривалість розгортки осцилографа (*Timebase*) 0,2 мS/Div.
- Встановіть чутливість відхилення каналу осцилографа А 500 мV/Div, а каналу В - 5 V/Div.
- Встановіть режим *DC* роботи каналів А і В.

- Змістіть промінь каналу А по вертикалі вниз на два ділення вниз ( $Y_{poson} = -2$ ).
- Включіть лабораторну установку і при  $U_{вих.Дж.} = 50 мВ$  замалювати форму вихідної напруги підсилювача.
- Збільшуючи амплітуду вхідного сигналу зафіксувати на екрані осцилографа появу спотворень вихідного сигналу підсилювача. Запишіть значення вхідного сигналу при якому наставають спотворення і замалюйте форму вихідної напруги підсилювача.


#### 4.2.4. Побудова амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) підсилювача.

Зніміть амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача двома способами:

- використовуючи генератор синусоїдальних коливань і вольтметри;
- використовуючи вимірювач амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) - *Bode`Plotter*.

Вимірювання АЧХ двокаскадного підсилювача за допомогою генератора синусоїдальних коливань і вольтметрів.

Відкрийте файл LabW\_4\_1 з віртуальною установкою (див. рис. 4.1).

Налаштуйте функціональний генератор *Function Generator (XFG1)* на режим синусоїдальних коливань, натиснувши кнопку . Встановіть тривалість робочого циклу (*Duty cycle*) 50%, амплітудне значення вихідного сигналу  $U_{вих.Дж.} = 70,7 мВ$  постійну складову вихідного сигналу генератора *Offset*  $U_0 = 0 В$ .

Включіть установку і зніміть АЧХ підсилювача, підтримуючи незмінною величину вхідної напруги  $U_{вх.}$  підсилювача. Частоту сигналу, що подається на вхід підсилювача змінювати відповідно до даних табл. 3.2. Діючі значення вхідних

$U_{вх}$ . і  $U_{вх.2}$  та вихідної  $U_{вих.2}$  напруги каскадів вимірювати за допомогою вольтметрів  $PV1$ ,  $PV2$ ,  $PV3$ , які всі повинні працювати в режимі  $AC$ .

Обчисліть коефіцієнт підсилення для різних частот

$$K_U = \frac{U_{вих.2}}{U_{вх}}$$

і в децибелах

$$K_{U_{дБ}} = 20 \lg \frac{U_{вих.2}}{U_{вх}}$$

і занесіть результати в табл. 3.2.



Таблиця 4.2 – Результати вимірювань за пунктом 3.3.4.1

$f, кГц$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,5	1	10	2000	5000	10000	25000
$U_{вих.2}, мВ$											
$K_U, раз$											
$K_U, дБ$											

Вимірювання АЧХ двокаскадного підсилювача за допомогою *Bode`Plotter*.

*Bode`Plotter* є вимірювальний прилад, призначений для побудови АЧХ або фазочастотної характеристики (ФЧХ) електронних пристроїв. Він об'єднує в собі генератор синусоїдальних коливань і екранний відеореєстратор. За час наростання частоти від початкового значення  $f_{min}$  до кінцевого -  $f_{max}$  промінь на екрані відеореєстратора проходить шлях від лівої межі екрану до правого. Закон зміни частоти в часі може бути заданий лінійним або логарифмічним. Відхилення променю по вертикалі відбувається в залежності від коефіцієнта посилення по напрузі досліджуваного пристрою. Величина відхилення променю може бути пропорційною коефіцієнту підсилення каскаду на даній частоті, а може змінюватися за логарифмічною залежності.

Лицьова панель модельованого в програмі Multisim *Bode`Plotter* показана на рис. 3.2. По горизонталі екрана відображається вісь частот в лінійному або в логарифмічному масштабі. Тип осі задають кнопками *Horizontal Log* або *Lin*. Тип вертикальної осі може бути встановлений лінійним (натиснута кнопка *Vertical Lin*) або логарифмічним (натиснута кнопка *Vertical Log*). В останньому випадку коефіцієнт посилення виходить в децибелах.

На екрані є переміщувані стрілками  і  по осі частот бігунок. Значення поточного значення частоти і коефіцієнта посилення в місці установки бігунка відображаються в віконцях лицьовій панелі.

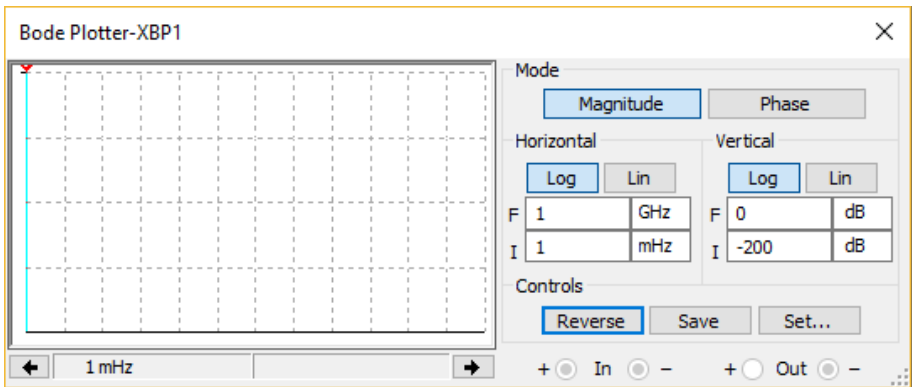


Рисунок 4.2 – Лицьова панель Bode`Plotter

Відкрийте файл LabW\_4\_2 з віртуальною установкою (див. рис. 4.3).

Встановіть логарифмічний масштаб по осі частот (по горизонталі) і по осі коефіцієнта посилення (по вертикалі). Межі вимірювання коефіцієнта підсилення (по вертикалі) задати від  $I = 0$  дБ до  $F = 40$  дБ. Діапазон частот задати від  $I = 100$  мГц до  $F = 100$  МГц.

Включіть віртуальну установку і отримайте на екрані АЧХ двокаскадного підсилювача. Переміщаючи бігунки визначить:

- коефіцієнт підсилення в області середніх частот  $K_{U_0}$  (на частоті 5 кГц);
- нижню  $f_n$  і верхню  $f_в$  частоти підсилувача, коли коефіцієнт підсилення по напрузі стає на 3 дБ менше, ніж  $K_{U_0}$  [дБ].

Результати вимірювань занести в табл. 4.3.

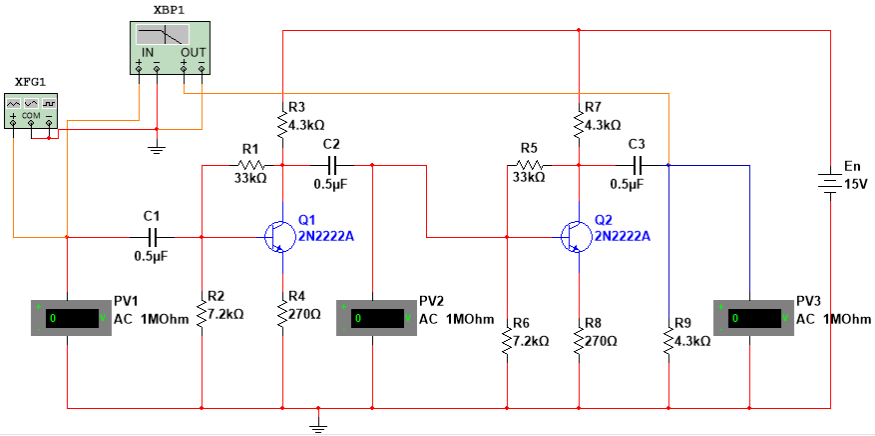


Рисунок 4.3 – Віртуальна установка для дослідження АЧХ двокаскадного підсилувача за допомогою Vode`Plotter

Таблиця 4.3– Результати вимірювань за пунктом 4.2.4

Коефіцієнт підсилення в області середніх частот $K_{U_0}$ , дБ	
Коефіцієнт підсилення в області середніх частот $K_{U_0}$ , раз	
Нижня гранична частота $f_n$ , Гц	
Верхня гранична частота $f_в$ , МГц .	



### **4.3. Зміст звіту**

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми експериментальних установок.
3. Таблиці і графіки амплітудної і амплітудно-частотної характеристик підсилювача.
4. Осцилограми неспотвореного і спотвореного вихідного сигналу підсилювача.
5. Висновки.

### **4.4. Контрольні запитання**

1. У чому полягає робота ланцюга температурної стабілізації в підсилювачі?
2. Як задається в досліджуваному підсилювачі режим спокою транзисторів?
3. Яку функцію виконують конденсатори в підсилювачі?
4. Які нелінійні спотворення спостерігаються на екрані осцилографа?
5. Які причини появи нелінійних спотворень?
6. Як визначається смуга пропускання підсилювача?
7. Як відбувається посилення сигналу в підсилювачі?
8. Чому найбільшого поширення в схемах підсилювачів отримав каскад із загальним емітером?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комп'ютерна електроніка: підручник для студ. спец. 126 "Інформаційні системи та технології", спеціалізації "Інтегровані інформаційні системи" / А.О. Новацький; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 468 с.

2. Пристрої аналогової електроніки : конспект лекцій / укладач В. В. Гриненко. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 272 с.

Основи схемотехніки: Лабораторні роботи 1 — 14 / Уклад.: Є.В. Мельніков, Німченко Т.В., Ю.В. Пепа, В.А. Швець. - К.: НАУ, 2012.- 80 с.

\*\*\*\* МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання лабораторних робіт  
із дисципліни  
«Схемотехніка телекомунікаційних систем»  
Частина 1  
для студентів спеціальності  
172 Телекомунікації та радіотехніка  
денної форми навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк  
Редактор А. С. Опанасюк  
Комп'ютерне верстання В. В. Гриненка

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 3,26 Обл.-вид. арк. 3,14

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від  
17.12.2007.