

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
«Основи схемотехніки»
для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка» усіх форм навчання
Частина I

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи схемотехніки” для студентів спеціальності 172 “Телекомунікації та радіотехніка” усіх форм навчання. Частина I / Укл. В.С. Кабак, Г.М. Сидоренко. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2021. – 67 с.

Укладачі: В.С. Кабак, доцент, к.т.н. кафедри РТТ
Г.С. Сидоренко, зав. лаб. кафедри РТТ

Рецензент: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: В.С. Кабак, доцент, к.т.н. кафедри РТТ

Затверджено:
на засіданні кафедри
радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 5 від 2.02.2021 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету радіоелектроніки та
телекомунікацій
Протокол № 5 від 21.02.2021 р.

ЗМІСТ

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИСТОРНИХ КАСКАДІВ У ДІАПАЗОНІ СЕРЕДНІХ ЧАСТОТ	5
1.1 Мета роботи.....	5
1.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи	5
1.3 Опис лабораторного стенду.....	5
1.4 Порядок проведення лабораторної роботи.....	6
1.4.1 Каскад зі спільним емітером	6
1.4.2 Каскад зі спільною базою.....	10
1.4.3 Каскад зі спільним колектором.....	13
1.5 Номінальні значення опорів та ємностей елементів схем, що досліджуються.....	15
1.6 Домашнє завдання	16
1.7 Зміст звіту.....	18
1.8 Контрольні запитання	18
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ДОСЛІДЖЕННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК RC-КАСКАДУ	21
2.1 Мета роботи	21
2.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи	21
2.3 Опис лабораторного стенду.....	21
2.4 Порядок проведення лабораторної роботи.....	22
2.4.1 Дослідження впливу параметрів елементів каскаду на АЧХ в області низьких частот	22
2.4.2 Дослідження впливу емітерної ємності C_4 на АЧХ.....	24
2.4.3 Дослідження впливу параметрів елементів каскаду на АЧХ в області високих частот	24
2.4.4 Дослідження спотворень форми прямокутних імпульсів у зоні великого часу.....	26
2.4.5 Дослідження спотворень форми прямокутних імпульсів у зоні малого часу	27
2.5 Номінальні значення опорів та ємностей елементів схеми, що досліджується.....	28
2.6 Домашнє завдання	28
2.7 Зміст звіту.....	28
2.8 Контрольні питання.....	29
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТИПІВ ВІД'ЄМНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ПАРАМЕТРИ ПІДСИЛЮВАЧА	31
3.1 Мета роботи	31

3.2	Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи	31
3.3	Опис лабораторного стенду	31
3.4	Порядок проведення лабораторної роботи.....	32
3.4.1	Дослідження каскаду з послідовно-послідовним зворотнім зв'язком або послідовним зв'язком за струмом (Z-типу).....	32
3.4.2	Дослідження схеми з паралельно-паралельним зворотнім зв'язком або паралельним від'ємним зв'язком за напругою (Y-типу)	36
3.4.3	Дослідження двокаскадного підсилювача з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком або послідовним зворотним зв'язком за напругою.....	40
3.5	Номінальні значення опорів та ємностей елементів схем, що досліджуються.....	44
3.6	Зміст звіту.....	45
3.7	Контрольні запитання	46
4	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ АНАЛОГОВОЇ МІКРОСХЕМОТЕХНІКИ: ДЖЕРЕЛ СТАБІЛЬНОГО СТРУМУ І ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО КАСКАДУ.....	49
4.1	Мета роботи	49
4.2	Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи	49
4.3	Опис лабораторного стенду.....	49
4.4	Порядок проведення лабораторної роботи.....	50
4.4.1	Дослідження джерел стабільного струму	50
4.4.2	Дослідження схеми “струмового дзеркала”.....	52
4.4.3	Дослідження схеми “струмового дзеркала Уілсона”	54
4.4.4	Дослідження диференціального каскаду	56
4.5	Зміст звіту.....	60
4.6	Контрольні запитання	60
5	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК КАСКАДНОГО ПІДСИЛЮВАЧА.....	63
5.1	Мета роботи	63
5.2	Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи	63
5.3	Опис лабораторного стенду.....	63
5.4	Порядок проведення лабораторної роботи.....	64
5.5	Зміст звіту.....	67
5.6	Контрольні запитання	67

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИСТОРНИХ КАСКАДІВ У ДІАПАЗОНІ СЕРЕДНІХ ЧАСТОТ

1.1 Мета роботи

- 1) Експериментально відпрацювати методику вимірювання режимів транзисторів з постійного струму;
- 2) дослідити основні параметри та характеристики резистивних підсилювальних каскадів.
- 3) провести порівняння основних схем включення біполярних транзисторів.

1.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

Вивчити теоретичний матеріал: статичні характеристики біполярних транзисторів; побудування прямої навантаження; визначення вхідного та вихідного опорів; коефіцієнтів підсилення з напруги, струму, потужності. Порівняльні характеристики каскадів із спільним емітером, спільною базою та спільним колектором. Вибір робочої точки, забезпечення режиму каскадів з постійного струму. Амплітудна характеристика, нелінійні спотворення, їх залежність від амплітуди. Підготувати на міліметровій графіці статичних вхідних та вихідних характеристик транзисторів, що використовуються у лабораторному стенді.

1.3 Опис лабораторного стенду

Лабораторний практикум базується на базовому стенді, за основу якого використовується аналоговий комплекс АВК-6. Комплекс забезпечує напругу живлення $+15\text{ В}$, -15 В та має власний вольтметр постійної напруги, генератор стандартних сигналів, комутатор каналів. Лабораторні роботи виконуються на змінюваних блоках, принципів схеми яких надані в описі експерименту до кожної роботи.

Додатково використані такі прилади:

- генератор гармонічних коливань ГЗ-112;
- осцилограф С1-72 (С1-65) ;
- вольтметр змінної напруги ВЗ-55;
- вимірювач нелінійних спотворень СК6-16.

1.4 Порядок проведення лабораторної роботи

1.4.1 Каскад зі спільним емітером

Схема каскаду, що досліджується, наведена на рисунку 1.1.

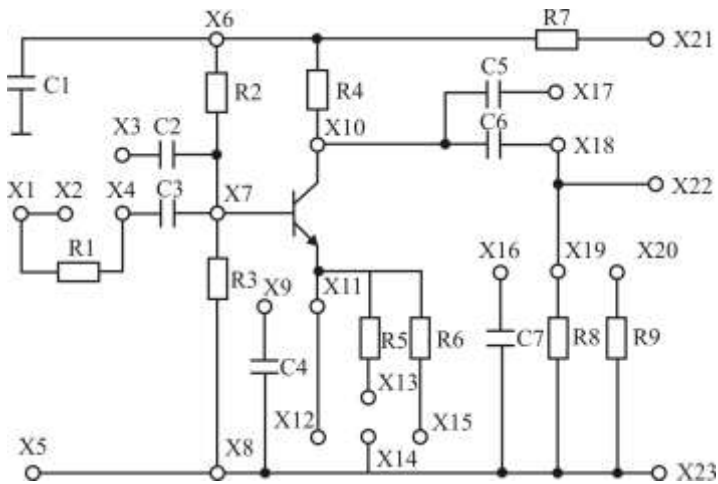


Рисунок 1.1 – Схема стенду для дослідження каскаду зі спільним емітером

1.4.1.1 Для дослідження каскаду необхідно встановити перемички X12-X14 (для створення замкненого кола протікання постійної складової колекторного та емітерного струмів) і X17-X18 (з метою збільшення вихідної розділювальної ємності $C_p = C_6 + C_5$, це практично усуне на частоті експерименту вплив опору розділювальної ємності на отримані результати).

1.4.1.2 Вольтметром постійної напруги, який вмонтовано у комплекс АВК-6, заміряти потенціали на виводах транзистора та

розрахувати напругу на елементах схеми та струм спокою колектора транзистора VT1 (потенціали вимірюються відносно земляної шини). Відповідні значення внести у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Режим роботи каскаду з постійного струму

Потенціал колектора $V_K=U_{X10}$, В	Потенціал бази $V_B=U_{X7}$, В	Потенціал емітера $V_E=U_{X11}$, В	$U_{BE}=U_{X7}-U_{X11}$, В	$U_{KE}=U_{X10}-U_{X11}$, В	U_{X6} , В	$U_{R4}=U_{X6}-U_{X10}$, В	I_{ko} , mA

Струм спокою визначається із співвідношення:

$$I_{\hat{e}1} = \frac{U_{R\hat{e}}}{R_{\hat{e}}} = \frac{U_{R4}}{R_4},$$

де $U_{Rk}=U_{R4}=U_{X6}-U_{X10}$ – напруга на опорі колекторного навантаження R_4 . Значення номіналів резисторів та ємностей схеми наведені у пункті 1.5

1.4.1.3 За результатами експерименту визначити параметри робочої точки та нанести їх на ВАХ транзистора, на вихідних ВАХ побудувати пряму навантаження з постійного струму.

1.4.1.4 Встановити на виході вимірювального генератору ГЗ-112 гармонічний сигнал з параметрами: $U_{e\phi}=10$ мВ, $f=1$ кГц. Подати сигнал на вхід каскаду – гніздо X1 (контроль вольтметром ВЗ-55 у гнізді X2).

1.4.1.5 Вольтметром змінної наруги ВЗ-55 заміряти напругу у контрольних точках. Записати результати вимірювань в таблицю 1.2. (величини з позначкою “'” відносяться до рунку 1.4.1.7)

Таблиця 1.2. – Результати експерименту для змінної складової

U_{X1} , В	U_{X4} , В	$U_{BK}=U_{X7}$, В	$U_{BHX}=U_{X22}$, В	U'_{X4} , В	$U'_{BK}=U_{X7}$, В	$U'_{BHX}=U_{X22}$, В

1.4.1.6 За результатами вимірювань розрахувати:

– коефіцієнт підсилення з напруги безпосередньо каскаду за схемою СЕ:

$$K_u = \frac{U_{\text{âõ}}}{U_{\text{âõ}}} = \frac{U_{X22}}{U_{X7}};$$

– наскрізний коефіцієнт підсилення з напруги:

$$K^*_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{X1}} = \frac{U_{X22}}{U_{X1}};$$

– коефіцієнт підсилення з струму:

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R8}{(U_{X1} - U_{X4}) / R1};$$

– коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю:

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

– вхідний опір каскаду:

$$R_{\text{âõ}} = \frac{U_{X7}}{(U_{X1} - U_{X4}) / R1}.$$

1.4.1.7 Дослідити характеристики каскаду для меншого значення опору навантаження. Замкнути перемичку X19-X20. Опір навантаження за цього суттєво зменшиться, оскільки для паралельного з'єднання резисторів R8||R9 результуючий опір практично буде визначатися набагато меншим значенням R9 (R9=100 Ом). Повторно заміряти напруги у контрольних точках $U_{X7}=U'_{\text{вх}}$, $U_{X22}=U'_{\text{вих}}$. Результати експерименту також внести до таблиці 1.2. За результатами вимірювань розрахувати нові значення K_u, K^*_u, K_i, K_p , а також вихідний опір схеми:

$$K_i = \frac{U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} / (R8 \parallel R9)}{(U_{x1} - U_{x4} / R1)};$$

$$R_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} = \frac{(U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} - U'_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}) \cdot R_9}{U'_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}},$$

де $U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга у гнізді X22 за результатами пункту 1.4.6.

1.4.1.8 Зняти перемичку X19-X20. Експериментально дослідити амплітудну характеристику каскаду (AX). Для цього потрібно до одного з виходів каскаду (X18) підключити осцилограф і збільшувати напругу вимірювального генератора до з'явлення помітних спотворень вихідної напруги (“обмеження” сигналу). Рівень показань вольтметра ВЗ-55 у гнізді X22 при цьому складає приблизно 1.5В. Потім, поступово зменшуючи рівень вхідного сигналу до нуля, заміряти напругу на виході (X22) та вході (X7) каскаду, що досліджується. Рекомендується експеримент провести якнайменше у 9-10 точках. Особливу увагу приділити ділянкам де AX суттєво нелінійна (при малих та великих $U_{\text{вх}}$). Побудувати амплітудну характеристику $U_{\text{вих}}=f(U_{\text{вх}})$.

1.4.1.9 Виставити на вимірювачі нелінійних спотворень СК6-16 такі параметри гармонічного сигналу: ефективне значення напруги тестового сигналу генератора $U_{\text{ef}}=10$ мВ, частота $f=1$ кГц. Подати сигнал з виходу СК6-16 на вхід стенду (X1) та заміряти напругу на базі транзистора VT1 - U_{X7} (повинна складати $\approx 2..6$ мВ). Сигнал з виходу каскаду (X22) подати на вхід вимірювача нелінійних спотворень. Записати значення k_e .

1.4.1.10 Збільшити рівень вхідного сигналу до 40...50 мВ. Записати значення k_e . Проаналізувати осцилограму. Спотворення сигналу можна спостерігати наочно.

1.4.1.11. Збільшити рівень вхідної напруги до значення, при якому за п. **1.4.1.8** спостерігалися помітні спотворення сигналу ($U_{\text{вх}} \approx 100..150$ мВ). Записати значення k_e , замалювати осцилограму.

1.4.2 Каскад зі спільною базою

Каскад зі спільною базою розташований на одному змінному модулі з каскадом зі спільним колектором. Схеми каскадів, що досліджуються, зображені на рисунку 1.2.

1.4.2.1 Встановити перемички X6-X7, X17-X19.

1.4.2.2 Вольтметром постійної напруги заміряти потенціали на виводах транзистора VT1 і розрахувати напруги на елементах схеми та струм спокою колектора VT1. Результати занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Режим роботи каскаду СБ з постійного струму

Потенціал колектора $V_K = U_{X10}$ В	Потенціал бази $V_B = U_{X13}$ В	Потенціал емітера $V_E = U_{X11}$ В	$U_{BE} = V_B - V_E$ В	$U_{KE} = V_K - V_E$ В	U_{X9} В	$U_{R2} = U_{X9} - U_{X10}$ В	I_{K0} mA

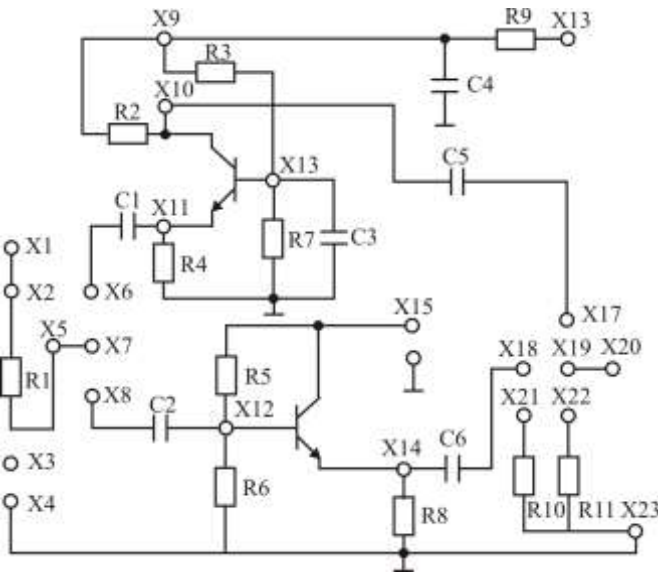


Рисунок 1.2 – Схема стенду для дослідження каскадів зі спільною базою та спільним колектором

Струм колектору (струм спокою) транзистора визначається із співвідношення:

$$I_{ко} = \frac{U_{Rк}}{R_к} = \frac{U_{R2}}{R_2}.$$

1.4.2.3 За результатами експерименту визначити параметри робочої точки та нанести їх на ВАХ транзистора, на вихідних ВАХ побудувати пряму навантаження з постійного струму.

Встановити на виході вимірювального генератору ГЗ-112 гармонічний сигнал з параметрами: $U_m=300$ мВ, $f=1$ кГц. Подати сигнал на вхід каскаду – гніздо X1 (контроль вольтметром ВЗ-55 у гнізді X2).

1.4.2.4 Вольтметром змінної напруги заміряти напруги у контрольних точках. Записати результати замірювань у таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати експерименту для змінної складової

U_{X1} В	U_{X5} В	$U_{ВХ} = U_{X11}$ В	$U_{ВІХ} = U_{X20}$ В	U_{X5} В	$U_{ВХ} = U_{X11}$ В	$U_{ВІХ} = U_{X20}$ В

1.4.2.5 За результатами вимірювань розрахувати:

– коефіцієнт підсилення з напруги:

$$K_u = \frac{U_{ВІХ}}{U_{ВХ}} = \frac{U_{X20}}{U_{X11}};$$

– наскрізний коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K^*_u = \frac{U_{ВІХ}}{U_{X1}} = \frac{U_{X20}}{U_{X1}};$$

– коефіцієнт підсилення за струмом

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R_{11}}{(U_{x1} - U_{x5}) / R_1};$$

– коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю:

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

– вхідний опір каскаду:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{x11}}{(U_{x1} - U_{x11}) / R_1}.$$

1.4.2.6 Провести експеримент для вимірювання вихідного опору. Замкнути перемичку X21-X22. Повторно заміряти напруги у контрольних точках $U_{x11}=U'_{\text{вх}}$, $U_{x20}=U'_{\text{вих}}$. За результатами вимірювань розрахувати вихідний опір:

$$R_{\text{вих}} = \frac{(U_{\text{вих}} - U'_{\text{вих}}) \cdot R_{11}}{U'_{\text{вих}}}.$$

1.4.2.7 Зняти перемичку X21-X22 (положення перемичок відповідають початковому стану за пунктом **1.4.2.1**). Виставити на вимірювачі нелінійних спотворень СК6-16 такі параметри гармонічного сигналу: ефективне значення напруги тестового сигналу генератора $U_m=10$ мВ, частота $f=1$ кГц. Підключити вихід СК6-16 до гнізда X1. Збільшуючи дискретно вихідну напругу генератора СК6-16 та контролюючи вольтметром В3-55 напругу у гнізді X11, зафіксувати значення напруги тестового сигналу СК6-16 для якого напруга у контрольному гнізді U_{x11} стане рівною напрузі у гнізді X7, що була отримана у п. **1.4.1.9** для схеми з СЕ. Саме для цього значення необхідно провести вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень. Тобто, з метою порівняння основних схем включення за нелінійними властивостями, вимірювання k_2 для схем СЕ та СБ проводимо за однаковою амплітудою сигналу на вхідних електродах транзисторів.

Провести вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень k_2 . Порівняти результат з відповідним значенням за п.п **1.4.1.9**

1.4.2.8 Збільшити рівень вхідного сигналу до 3 В. Зафіксувати значення k_2 .

1.4.3 Каскад зі спільним колектором

Перемички у стенді переставити у положення: X7-X8, X18-X19.

1.4.3.1 Вольтметром постійної напруги заміряти потенціали на виводах транзистора та розрахувати струм спокою через резистор R8. Результати занести до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Режим роботи каскаду з постійного струму

Потенціал колектора $V_K=U_{X15}$, В	Потенціал Бази $V_B=U_{X12}$, В	Потенціал емітера $V_E=U_{X14}$, В	$U_{BE}=V_B-V_E$ В	$U_{KE}=V_K-V_E$, В	U_{X15} В	U_{X14} В	$I_{ко}$ МА

Струм колектору (струм спокою) транзистора визначається із співвідношення:

$$I_{ко} \approx I_{eo} = \frac{U_{R8}}{R8} = \frac{U_{X14}}{R8}.$$

1.4.3.2 Встановити на виході вимірювального генератору ГЗ-2 гармонічний сигнал з параметрами: амплітуда 50 мВ, $f=1$ кГц. Подати сигнал на вхід каскаду – гніздо X1. Заміряти напруги у контрольних точках вольтметром змінного струму згідно таблиці 1.6, також проконтролювати форму сигналів осцилографом (гніздо X20). Записати значення $U_{вих}$, U_{ex} .

Таблиця 1.6 – Результати експерименту для змінної складової

U_{X1} В	U_{X5} В	$U_{vx}=U_{X12}$ В	$U_{вих}=U_{X20}$ В	U_{X5} В	$U_{vx}^1=U_{X12}^1$ В	$U_{вих}^1=U_{X20}^1$ В

1.4.3.3 За результатами вимірювань розрахувати :

– коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{X20}}{U_{X12}};$$

– наскрізний коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K^*_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{X1}} = \frac{U_{X20}}{U_{X1}};$$

– коефіцієнт підсилення за струмом:

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R11}{(U_{X1} - U_{X5}) / R1};$$

– коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю:

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

– вхідний опір каскаду:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{X12}}{(U_{X1} - U_{X5}) / R1}.$$

1.4.4.4 Експериментально визначити вихідний опір схеми. Встановити перемичку X21-X22. Повторити результати вимірювань $U'_{\text{вх}}$ $U'_{\text{вих}}$ згідно таблиці 1.6:

$$R_{\text{вих}} \approx \frac{(U_{\text{вих}} - U'_{\text{вих}}) \cdot R10}{U'_{\text{вих}}}.$$

1.4.4.5 За допомогою СК6-16 виміряти k_2 для параметрів сигналу $U_m = 50 \text{ мВ}$, $f=1 \text{ кГц}$.

1.5 Номінальні значення опорів та ємностей елементів схем, що досліджуються

Номінали елементів, що використовують в схемах включення зі спільним емітером, спільною базою та спільним колектором надані відповідно у таблицях 1.7, 1.8.

Таблиця 1.7 – Номінальні значення елементів підсилювача у схемі зі спільним емітером

Резистори	Конденсатори	Транзистор VT1
R1=1кОм	C1=1000мкФ	КТ315В
R2=47 кОм	C2=10 мкФ	–
R3=3.3 кОм	C3=1 мкФ	–
R4=1.2 кОм	C4=1000 мкФ	–
R5=300 Ом	C5=4.7 мкФ	–
R6=100 Ом	C6=330нФ	–
R7=620 Ом	C7=470пФ	–
R8=10 кОм	–	–
R9=100 Ом	–	–

Таблиця 1.8 – Номінальні значення елементів підсилювальних каскадів за схемами зі спільною базою та спільним колектором

Резистори	Конденсатори	Транзистор VT1	Транзистор VT2
R1=1кОм	C1=47мкФ	КТ315В	КТ315В
R2=1.2 кОм	C2=680 пФ	–	–
R3=10 кОм	C3=1000 мкФ	–	–
R4=300 Ом	C4=1000 мкФ	–	–
R5=6.8 кОм	C5=680 пФ	–	–
R6=8.2 кОм	C6=4.7 нФ	–	–
R7=2 кОм	–	–	–
R8=1.5 кОм	–	–	–
R9=510 Ом	–	–	–
R10=100 Ом	–	–	–
R11=10 кОм	–	–	–

1.6 Домашнє завдання

1.6.1 За результатами експериментів визначити значення крутизни, вхідного диференційного та вихідного диференційного опорів транзистора:

$$S = I_{KO} / \varphi_T,$$

$$r_{\delta e} = h_{21e} / S,$$

$$r_{ke} = \frac{\varphi_Y + U_{keo}}{I_{KO}},$$

де $\varphi_T = 26$ мВ-температурний потенціал ($T=300^0$ К);

φ_Y – потенціал Ерлі.

1.6.2 Розрахувати значення коефіцієнта підсилення каскаду СЕ за напругою та струмом для значення опору навантаження $R_H=R_9=10$ кОм:

$$K_U = -S(R_K \parallel R_H \parallel r_{ke}) = -\frac{S}{g_K + g_H + g_{ke}}.$$

$$K_i = \beta \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_K}}.$$

1.6.3 Розрахувати вхідний та вихідний опір каскаду зі спільним емітером:

$$R_{BX} = R_{\delta 1} \parallel R_{\delta 2} \parallel r_{\delta e};$$

$$R_{BHX} = R_K \parallel r_{ke}.$$

1.6.4 Розрахувати значення коефіцієнтів підсилення за напругою та струмом схеми зі спільною базою для значення опору навантаження $R_H=R_9=10\text{кОм}$:

$$K_U = S(R_K \parallel R_H \parallel r_{\bar{o}e});$$

$$K_i = \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_K}}.$$

1.6.5 Розрахувати вхідний та вихідний опір каскаду зі спільною базою:

$$R_{BX} = r_{\bar{o}e}/\beta = 1/S;$$

$$R_{BIX} = (R_K \parallel r_{ke}).$$

1.6.6. Розрахувати вхідний та вихідний опори каскаду зі спільним колектором:

$$R_{BX} \approx (R_{\bar{o}1} \parallel R_{\bar{o}2} \parallel) \left[(R_e \parallel R_H) \cdot h_{21e} \right];$$

$$R_{BIX} \approx 1/S.$$

1.6.7 Розрахувати значення коефіцієнтів підсилення за напругою та струмом схеми зі спільним колектором для значення опору навантаження $R_H=R_9=10\text{кОм}$:

$$K_U = \frac{S}{g_e + g_H + g_{ke} + S} = \frac{S(R_e \parallel R_H \parallel r_{ke})}{1 + S(R_e \parallel R_H \parallel r_{ke})}.$$

$$K_i = (\beta + 1) \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_n}{R_k}}$$

1.7 Зміст звіту

1.7.1 Схеми каскадів, що досліджуються. Схеми виконувати у відповідності з СТП 15-96.

1.7.2 Статичні вхідні та вихідні характеристики з параметрами точки спокою та побудована пряма навантаження.

1.7.3 Результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць.

1.7.4 Значення коефіцієнтів підсилення, вхідного та вихідного опорів.

1.7.5 Графік амплітудної характеристики.

1.7.6 Результати виконання домашнього завдання.

1.7.7 Висновки за результатами роботи.

1.8 Контрольні запитання

1. Статичні ВАХ транзистора за включенням його по схемі СЕ. При-вести вхідну, вихідну та прохідну характеристики. Проставити розмірність по вісям.

2. Статичні ВАХ транзистора за включенням його по схемі СБ. При-вести вхідну, вихідну та прохідну характеристики. Проставити розмірність по вісям.

3. Показати напрямок та коло протікання постійного струму бази у схемі зі СЕ. Від чого залежить його значення?

4. Показати напрямок та коло протікання постійного струму бази у схемі зі СБ. Від чого залежить його значення?

5. Показати напрямок та коло протікання постійної складової струму колектора у схемі зі СЕ. Від чого залежить його значення?

6. Показати напрямок та коло протікання постійної складової струму колектора у схемі зі СБ. Від чого залежить його значення?

7. Дати визначення h -параметрів транзистора. Привести співвідношення між параметрами транзистора та h -параметрами.

8. Дати визначення u -параметрів транзистора. Привести співвідношення між параметрами транзистора та u -параметрами.

9. Як будується пряма навантаження з постійного струму?

10. Чому при зміні опору резистора R_4 у колекторному колі струм колектора практично не змінюється? Який параметр режиму при цьому змінюється?

11. Призначення резисторів каскаду зі СЕ, СБ, СК.

12. Показати коло протікання вхідного струму (сигнальної складової) у схемах СЕ, СБ, СК. Від чого залежить його значення?

13. Показати коло протікання змінної складової колекторного струму у схемі СЕ.

14. Показати коло протікання змінної складової колекторного струму у схемі СБ.

15. Показати коло протікання змінної складової емітерного струму у схемі СК.

16. Дати визначення вхідного опору каскада. Привести методику експеримента для експериментального знаходження $R_{вх}$ у схемі СЕ. Привести теоретичні розрахункові формули $R_{вх}$ через параметри транзистора.

17. Дати визначення вхідного опору каскада. Привести методику експеримента для експериментального знаходження $R_{вх}$ у схемі СБ. Привести теоретичні розрахункові формули $R_{вх}$ через параметри транзистора.

18. Дати визначення вхідного опору каскада. Привести методику експеримента для експериментального знаходження $R_{вх}$ у схемі СК. Привести теоретичні розрахункові формули $R_{вх}$ через параметри транзистора.

19. Вихідний опір каскадів. Привести методику експеримента для експериментального знаходження $R_{вих}$ у схемі СЕ. Привести теоретичні розрахункові формули $R_{вих}$ для схеми СЕ.

20. Вихідний опір каскадів. Привести методику експеримента для експериментального знаходження $R_{вих}$ у схемі СБ. Привести теоретичні розрахункові формули $R_{вих}$ для схеми СБ.

21. Вихідний опір каскадів. Привести методику експеримента для експериментального знаходження $R_{вих}$ у схемі СК. Привести теоретичні розрахункові формули $R_{вих}$ для схеми СК.

22. Дати визначення коефіцієнта підсилення каскаду та наскрізного коефіцієнта підсилення. Методика експерименту щодо визначення K_u . Привести розрахункові формули для K_u у схемі із СЕ.

23. Дати визначення коефіцієнта підсилення каскаду та наскрізного коефіцієнта підсилення. Методика експерименту щодо визначення K_u . Привести розрахункові формули для K_u у схемі із СБ.

24. Дати визначення коефіцієнта підсилення каскаду та наскрізного коефіцієнта підсилення. Методика експерименту щодо визначення K_u . Привести розрахункові формули для K_u у схемі зі СК.

25. Що називається амплітудною характеристикою каскада. Привести АХ, пояснити її поведінку.

26. Що таке динамічний діапазон підсилювача. Як визначити динамічний діапазон з АХ?

27. Які міри застосовані у каскаді зі СЕ для стабілізації режиму з постійного струму?

28. Які міри застосовані у каскаді зі СБ для стабілізації режиму з постійного струму?

29. Які міри застосовані у каскаді зі СК для стабілізації режиму з постійного струму?

30. Порівняти схеми СЕ, СК за вхідними та вихідними опорами.

31. Порівняти схеми СБ, СК за вхідними та вихідними опорами.

32. Порівняти схеми СЕ, СБ за вхідними та вихідними опорами.

33. Порівняти схеми СЕ, СБ, СК за коефіцієнтами підсилення за напругою.

34. Порівняти схеми СЕ, СБ, СК за коефіцієнтами підсилення за струмом.

35. Порівняти схеми СЕ, СБ, СК за коефіцієнтами підсилення за потужністю.

36. Від чого залежить коефіцієнт нелінійних спотворень у схемі зі СЕ. Привести вираз.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ДОСЛІДЖЕННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК RC-КАСКАДУ

2.1 Мета роботи

- 1) Експериментально відпрацювати методику вимірювання амплітудно-частотних характеристик;
- 2) дослідити вплив пасивних елементів на частотні характеристики резистивних підсилювальних каскадів;
- 3) експериментально визначити спотворення імпульсного сигналу у зоні великого та малого часу.

2.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

Вивчити теоретичний матеріал: амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики резисторного каскаду, фізичні еквівалентні еквівалентні схеми біполярного та польового транзисторів, інерційні властивості активних приладів, вплив параметрів транзистора та елементів каскада на частотні властивості резисторних каскадів, еквівалентні схеми каскаду у діапазоні низьких, середніх та високих частот, зв'язок між частотними характеристиками та перехідною функцією каскаду. Лінійні спотворення у багатокаскадних підсилювачах.

2.3 Опис лабораторного стенду

Лабораторна робота виконується на тому ж самому змінюваному блоці, що використовувався у першій лабораторній роботі для дослідження схеми зі спільним емітером. Для проведення роботи необхідні такі прилади:

- вольтметр постійної напруги, що вмонтовано у комплекс АВК-6;
- генератор гармонічних та прямокутних коливань ГЗ-112;
- осцилограф С1-72 (С1-65);

– вольтметр змінної напруги В3-55.

2.4 Порядок проведення лабораторної роботи

2.4.1 Дослідження впливу параметрів елементів каскаду на АЧХ в області низьких частот

Схема каскаду, що досліджується наведена на рисунку 2.1. Дослідимо частотні характеристики каскаду в діапазоні низьких частот в залежності від сталої часу вхідного кола.

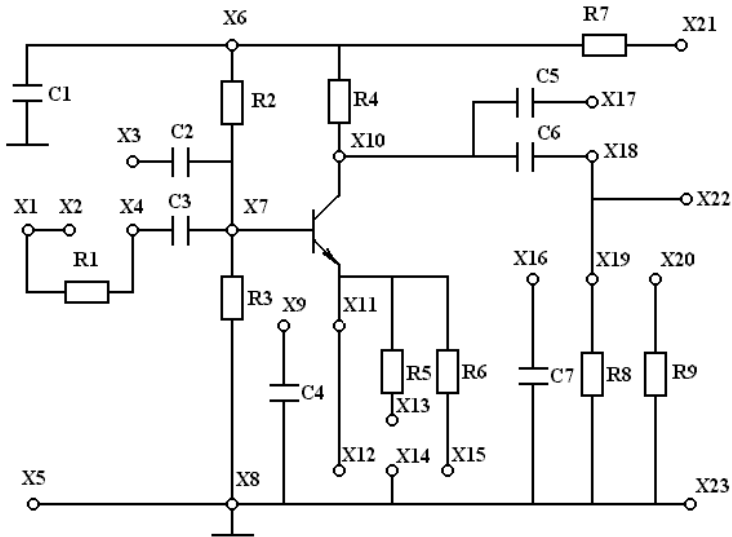


Рисунок 2.1 – Схема резистивного каскаду для дослідження АЧХ

2.4.1.1 Встановити перемичку X12-X14. Сигнал від вимірювального генератору Г3-112 з параметрами $U_{вх}=U_{эф}=10$ мВ, $f=1$ кГц подати до контрольного гнізда X4. Контролюючи сигнал на виході підсилювача осцилографом (гніздо X22) переконалися у підсилювальних властивостях каскаду.

2.4.1.4 Додатково встановити перемичку X17-X18. Повторити вимірювання за пунктом **2.4.1.1**.

Результати експерименту надати у вигляді залежностей

$M_i(f) = \frac{K_u(f)}{K_u|_{f=1000\text{Å}\delta}}$ та побудувати усі частотні характеристики на

одному графіку. Проаналізувати зміну АЧХ в діапазоні низьких частот.

2.4.2 Дослідження впливу емітерної ємності С4 на АЧХ

2.4.2.1 Зняти перемичку X12-X14 і переставити її в положення X14-X15. Повторити вимірювання АЧХ. Рекомендовані значення частот також відповідають таблиці 2.1.

2.4.2.2 Додатково встановити перемичку X9-X11. Повторити вимірювання АЧХ.

Результати експерименту за пунктами **2.4.2.1** і **2.4.2.2** надати у

вигляді залежностей $M_i(f) = \frac{K_u(f)}{K_u|_{f=1000\text{Å}\delta}}$ та побудувати дві частотні

характеристики на одному графіку. Проаналізувати зміну АЧХ в діапазоні низьких частот.

2.4.3 Дослідження впливу параметрів елементів каскаду на АЧХ в області високих частот

2.4.3.1 Зняти усі попередні перемички. Встановити перемички X12-X14, X16-X18 (довга перемичка). Сигнал від вимірювального генератору Г3-112 з параметрами $U_{\text{вх}}=U_{\text{эф}}=10$ мВ, $f=1\text{кГц}$ подати до контрольного гнізда X1. Виміряти АЧХ каскаду у діапазоні високих частот. Рекомендовані значення частот наведені у таблиці 2.2.

2.4.3.2 Зняти перемичку X16-X18 (тобто зменшити ємність навантаження). Виміряти АЧХ каскаду.

2.4.3.3 Підключити перемичку X19-X20 (тобто зменшити опір навантаження). Виміряти АЧХ каскаду.

Результати експерименту за пунктами 2.4.3.1, 2.4.3.2, 2.4.3.3

надати у вигляді залежностей $M(f) = \frac{K_u(f)}{K_u|_{f=1000\text{Å}\delta}}$ і побудувати усі АЧХ

2.4.4 Дослідження спотворень форми прямокутних імпульсів у зоні великого часу

Переключити вимірювальний генератор ГЗ-112 у режим генерації прямокутних імпульсів та підключити його до гнізда X1. Встановити частоту проходження імпульсів $f=100$ Гц, амплітуду $U_m=10$ мВ (контроль осцилографом у гнізді X2).

Підключити осцилограф до гнізда X22. У ході експерименту за усіма пунктами необхідно визначити такі параметри імпульса (рисунок 2.3): амплітуду $U_{\text{вихм}}$, величину спаду вершини Δ . (Δ визначити у відсотках – як $(U_{\text{вихм}} - U_{\text{мін}}) / U_{\text{вихм}} \cdot 100\%$).

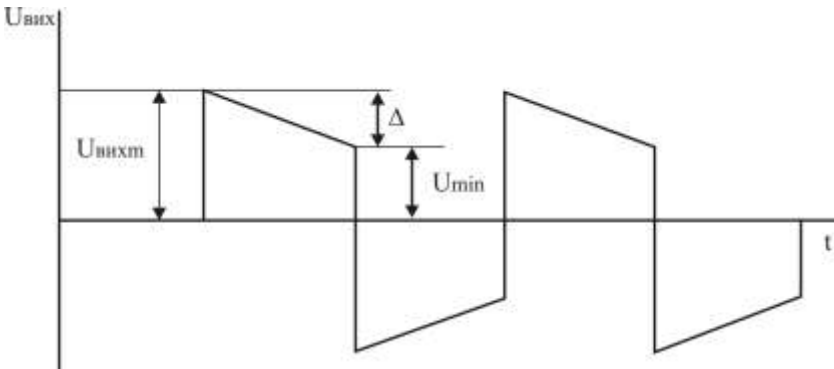


Рисунок 2.2 – Спотворення імпульсів у RC – каскаді для зони великого часу

2.4.4.1 Встановити перемичку у положення X12-X14. Замалювати осцилограму у контрольній точці X10. Підключити перемичку X3-X4. Замалювати осцилограму у контрольній точці X10. Визначити вплив розділювальних ємностей C_2 , C_3 на параметри імпульса.

2.4.4.2 Підключити осцилограф до гнізда X22. Замалювати форму імпульса і порівняти її з імпульсом, отриманим у попередньому пункті (по параметру Δ).

2.4.4.3 Підключити перемичку X17-X18. Визначити зміну форми імпульсу, а саме величину Δ . Визначити вплив ємностей C5, C6 на параметри імпульса.

2.4.4.4 Зменшити опір навантаження. Замкнути перемичку X19-X20. Замалювати осцилограму, у гнізді X22, визначити $U_{\text{вихт}}$ та Δ .

2.4.4.5 Визначити вплив емітерної ємності на параметри імпульса. Зняти усі попередні перемички. Встановити перемичку у положення X12-X14. Замалювати форму імпульса у гнізді X22. Замість перемички X12-X14 встановити X9-X11, X13-X14 і також замалювати форму імпульса. Порівняти отримані результати по параметру Δ .

2.4.5 Дослідження спотворень форми прямокутних імпульсів у зоні малого часу

2.4.5.1 Зняти усі попередні перемички. Встановити перемичку X12-X14, збільшити частоту вимірювального генератора приблизно до 200 кГц. Визначити спотворення фронту імпульса згідно рисунку 2.3. Повний розмах вхідного сигналу $2U_{\text{max}}$ за допомогою осцилографу встановити 50 мВ. За осцилограмою розрахувати значення τ_{ϕ} .

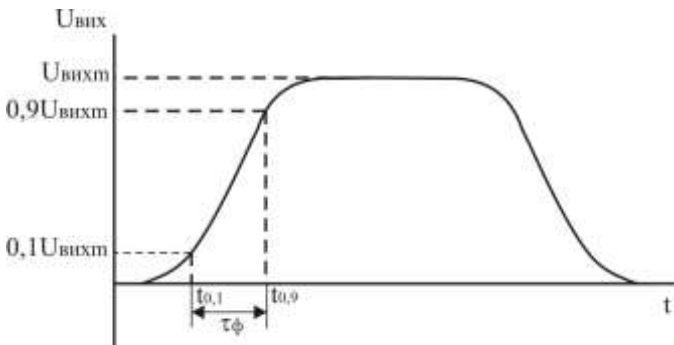


Рисунок 2.3 – Спотворення прямокутного імпульсу у діапазоні високих частот

2.4.5.2 Підключити перемичку X16-X18 (тобто збільшити ємність навантаження). Визначити нове значення τ_{ϕ} .

2.4.5.3 Підключити перемичку X19-X20. Повторити вимірювання τ_{ϕ} .

2.5 Номінальні значення опорів та ємностей елементів схеми, що досліджується

Номінали елементів, що використовуються у схемі для дослідження частотних властивостей резистивного каскада наведені у таблиці 1.7 першого розділу (п.1.5).

2.6 Домашнє завдання

2.6.1 За відомими значеннями елементів схеми та параметрами транзистору розрахувати сталі часу у діапазоні нижніх частот для вхідного кола транзистора за умов, передбачених таблицею 2.1.

2.6.2 Розрахувати сталі часу вихідного кола для двох значень розділювальної ємності: $C_p=C_6$ (перемичка X17-X18 відсутня) та $C_p=C_6+C_5$ (перемичка X17-X18 присутня).

2.6.3 Розрахувати значення нижньої робочої частоти f_n підсилювального каскаду для варіантів, розглянутих у п.п. **2.6.1, 2.6.2.**

2.6.4 Розрахувати значення спаду плоскої вершини імпульсу Δ за умовами п.**2.6.3.**

2.6.5 За умовами п.2.4.5 розрахувати сталі часу вихідного кола каскаду та сталі часу вхідного кола.

2.6.6 Розрахувати значення верхньої робочої частоти каскаду за умовами п.**2.6.5.**

2.7 Зміст звіту

2.7.1 Схема каскада, що досліджується. Схему виконувати у відповідності з СТП 15-96.

2.7.2 Результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць.

2.7.3 Графіки амплітудно-частотних характеристик згідно плану експерименту.

2.7.4 Графіки спотворень імпульсного сигналу.

2.7.5 Результати виконання домашнього завдання.

2.7.6 Висновки за результатами роботи.

2.8 Контрольні питання

1. Привести еквівалентну схему резистивного каскада для діапазону середніх частот. Відповідь обґрунтувати.

2. Привести еквівалентну схему резистивного каскада для діапазону нижніх частот. Відповідь обґрунтувати

3. Привести еквівалентну схему резистивного каскада для діапазону високих частот. Відповідь обґрунтувати

4. Вплив ємітерної блокувальної ємності на частотні властивості каскаду. Обґрунтувати відповідь

5. На які параметри імпульсу впливають розділювальні ємності? Обґрунтувати відповідь.

6. На які параметри імпульсу впливає ємність навантаження наступного каскаду? Обґрунтувати відповідь.

7. Пояснити принцип дії ефекту Міллера. Його вплив на частотну характеристику.

8. Зв'язок між часовими характеристиками (тривалість фронту, спад вершини імпульса) та частотними характеристиками каскада

9. Як зміниться амплітудно-частотна характеристика каскаду у діапазоні нижніх частот зі збільшенням опору навантаження ?

10. Як зміниться амплітудно-частотна характеристика окремого каскада у діапазоні високих частот при зменшенні опору навантаження?

11. Як зміниться амплітудно-частотна характеристика попереднього каскада при зменшенні режимного струму (струму спокою) наступного каскаду?

12. Як розрахувати час зростання вихідного сигналу, якщо відомі нижня та верхня робочі частоти полоси пропускання?

13. Як розрахувати рівень лінійних спотворен у діапазоні нижніх частот багатокаскадного підсилювача, якщо відомі рівні $M_{ни}$ окремих каскадов?

14. Як розрахувати спад вершини Δ вихідного імпульсу, якщо відомі нижня та верхня робочі частоти полоси пропускання?

15. Інерційні властивості біполярних транзисторів. Еквівалентна схема Джіаколетто. Характерні частоти транзисторів та співвідношення між ними.

16. Як розрахувати час зростання багатокаскадного підсилювача, якщо відомі значення τ_i окремих каскадів?

17. Як розрахувати вихідну ємність резистивного каскада на біполярних та польових транзисторах?

18. Як розрахувати сталу часу проміжного каскаду у діапазоні низьких частот?

19. Як розрахувати сталу часу проміжного каскаду у діапазоні високих частот?

20. Як розрахувати сталу часу вхідного кола першого каскаду багатокаскадного підсилювача у діапазоні низьких частот?

21. Як розрахувати сталу часу вхідного кола першого каскаду багатокаскадного підсилювача у діапазоні високих частот?

22. Привести частотну характеристику каскада за умови впливу тільки блокувальної ємності в колі емітера (тобто не брати до уваги вплив розділювальних ємностей на амплітудно-частотну характеристику).

23. Поняття амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик. Ідеальні та реальні характеристики. Поясніть принципову різницю між лінійними та нелінійними спотвореннями сигналу.

24. До якого виду спотворень (лінійні чи нелінійні) відносяться фазові спотворення. Як визначаються фазові спотворення сигналу.

25. Що таке перехідні спотворення сигналу? До якого виду спотворень (лінійні чи нелінійні) відносяться перехідні спотворення?

26. Як розрахувати сталу часу вихідного каскаду у діапазоні низьких частот та високих частот?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТИПІВ ВІД'ЄМНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ПАРАМЕТРИ ПІДСИЛЮВАЧА

3.1 Мета роботи

Експериментально дослідити вплив від'ємного зворотнього зв'язку на каскади підсилювачів, навчитися визначати тип зворотнього зв'язку та особливості застосування зворотнього зв'язку у підсилювачах.

3.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

Вивчити теоретичний матеріал стосовно від'ємного зворотнього зв'язку. Послідовно-послідовний (Z-тип), послідовно-паралельний (H-тип), паралельно-паралельний (Y-тип), паралельно-послідовний (K-тип) від'ємний зворотній зв'язок, особливості впливу різного типу зв'язку на параметри схеми: вхідні та вихідні опори, коефіцієнти пісилення за напругою та струмом, коефіцієнт нелінійних спотворень, полосу пропускання.

3.3 Опис лабораторного стенду

Лабораторна робота проводиться на трьох змінюваних блоках, перший з яких той же самий, що використовувався у першій та другій лабораторних роботах для дослідження схеми зі спільним емітером, схеми інших двох блоків наведені на рис.3.2, 3.3. Для проведення роботи необхідні такі прилади:

– вольтметр постійної напруги, що вмонтовано у комплекс АВК-6;

– генератор гармонічних та прямокутних коливань ГЗ-112;

– осцилограф С1-72 (С1-65) ;

– вольтметр змінної напруги ВЗ-55;

– вимірювач нелінійних спотворень СК6-16.

3.4 Порядок проведення лабораторної роботи

3.4.1 Дослідження каскаду з послідовно-послідовним зворотнім зв'язком або послідовним зв'язком за струмом (Z-типу)

Схема каскада, що досліджується, наведена на рисунці 3.1. і робота виконується на тому ж замінному блоку, що і в першій та другій лабораторних роботах (тобто базова схема – схема зі спільним емітером).

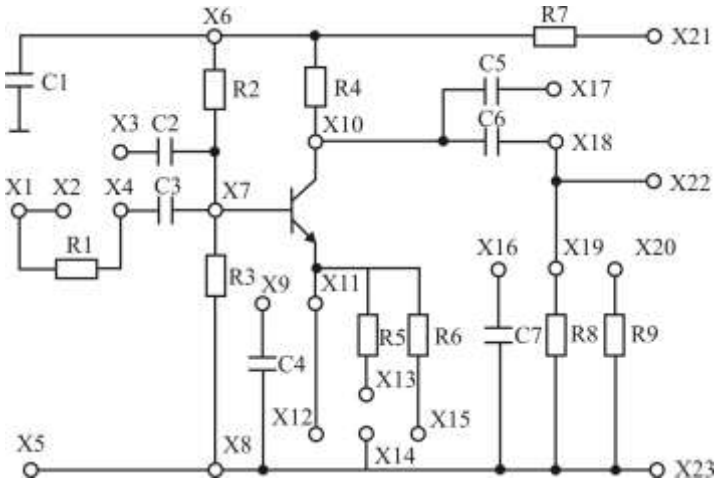


Рисунок 3.1 – Схема каскаду з послідовно-послідовним зворотнім зв'язком (z-типу)

3.4.1.1 Встановити перемичку $X13-X14$ (забезпечуємо роботу з послідовним зв'язком зі струму за допомогою резистора $R5$). Заміряти потенціали на виходах транзистора та розрахувати напругу на елементах схеми та струм спокою колектора транзистора $VT1$. Відповідні значення внести у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Режим роботи каскаду за постійним струмом

Потенціал колектора $V_K=U_{X10}$, В	Потенціал Бази $V_B=U_{X7}$, В	Потенціал Емітера $V_E=U_{X11}$, В	$U_{BE}=U_{X7}-U_{X11}$ В	U_{KE} В	U_{X6} В	$U_{R4}=U_{X6}-U_{X10}$ В	I_{K0} , mA

3.4.1.2 Встановити на виході вимірювального генератора гармонійний сигнал з параметрами: $U_{ef}=10\text{ мВ}$, $f=1\text{кГц}$. Подати сигнал на вхід каскаду-гніздо X1 (напругу контролювати вольтметром з гнізда X2).

3.4.1.3 Підключити осцилограф до виходу каскада-X22. Вольтметром заміряти напруги у контрольних точках U_{X4} , $U_{вх}=U_{X7}$, $U_{вих}=U_{X22}$ (контрольні гнізда X7, X22). Записати результати вимірювання U_{X1} , U_{X4} , $U_{вх}=U_{X7}$, $U_{вих}=U_{X22}$ до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту для змінної складової

U_{X1} , В	U_{X4} , В	$U_{вх}=U_{X7}$ В	$U_{вих}=U_{X22}$ В	U_{X4} В	$U_{вх}=U_{X7}$ В	$U_{вих}=U_{X22}$ В

3.4.1.4 За результатами вимірювань розрахувати:

– коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{X22}}{U_{X7}};$$

– наскрізний коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K^*_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{X1}} = \frac{U_{X22}}{U_{X1}};$$

– коефіцієнт підсилення за струмом:

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R_8}{(U_{X1} - U_{X4}) / R1};$$

– коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю:

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

– вхідний опір каскаду:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{X7}}{(U_{X1} - U_{X4}) / R1}.$$

3.4.1.5 Експериментально визначити вихідний опір каскаду із зворотнім зв'язком. Замкнути перемичку X19-X20. Знову заміряти вхідну та вихідну напруги $U'_{\text{вх}} = U_{X7}$, $U'_{\text{вих}} = U_{X22}$. За результатами вимірювань розрахувати:

$$R_{\text{вих}} \approx \frac{(U_{\text{вих}} - U'_{\text{вих}}) \cdot R_9}{U'_{\text{вих}}}.$$

3.4.1.6 Зняти перемичку X19-X20. Перемичку X13-X14 переключити в положення X12-X14 – тобто отримали звичайну схему зі спільним емітером без зворотнього зв'язку. Заміряти вольтметром вхідну та вихідну напруги $U_{\text{вх}} = U_{X7}$, $U_{\text{вих}} = U_{X22}$. Розрахувати коефіцієнт підсилення з напруги. Порівняти отриманий результат з пунктом 3.4.1.4.

3.4.1.7 Повернути перемичку в положення X13-X14. Додатково підключити перемичку X9-X11 (вимикаємо зворотній зв'язок за змінним струмом за допомогою ємності C4). Заміряти вихідну напругу $U_{\text{вих}} = U_{X22}$. Розрахувати коефіцієнт підсилення за напругою. Порівняти результат з відповідними результатами за пунктами **3.4.1.4.**, **3.4.1.6.**

3.4.1.8 Підключити до входу (U_{X1}) та виходу (U_{X22}) каскаду вимірювач нелінійних спотворень СК6-16. Встановити параметри

тестового сигналу $U_{\text{эф}}=10$ мВ, $f=1$ кГц. Заміряти коефіцієнт нелінійних спотворень k_2 . Зняти перемичку X9-X11. Повторити вимірювання k_2 . Переставити перемичку X13-X14 у положення X14-X15 (зменшили глибину зворотнього зв'язку за рахунок меншого значення опору резистора зворотнього зв'язку – $R_6=100$ Ом < $R_5=300$ Ом). Повторити вимірювання k_2 . Визначити варіант для якого k_2 найменший.

3.4.1.9 Зняти АЧХ каскаду без зворотнього зв'язку (перемичка у стані X12-X14). Для цього сигнал від генератора ГЗ-112 із значеннями $U_{\text{эф}}=10$ мВ подати безпосередньо на вхід каскаду-гніздо X4. Вихідну напругу контролювати у гнізді X18. Змінюючи частоту генератора від 20 Гц до 10 МГц, заміряти у рекомендованих точках значення $U_{\text{вих}}$ (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Рекомендовані частоти для вимірювання АЧХ

F, Гц	20	40	80	100	160	320	10^3	10^4	$2 \cdot 10^4$	10^5	...	10^6	10^7
$U_{\text{вих}}$													
$K_u = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{эф}}}$													
M(f)													

Визначити смугу пропускання за рівнем – 3 дБ.

3.4.1.10 Переключити перемичку X12-X14 в положення X13-X14. Повторити вимірювання АЧХ згідно таблиці 3.3. Результати експерименту за пунктами **3.4.1.10** і **3.4.1.11** надати у вигляді

залежностей $M(f) = \frac{K_u(f)}{K_u|_{f=1000\text{Гц}}}$ та побудувати дві частотні

характеристики на одному графіку. Проаналізувати зміну полоси пропускання як в діапазоні низьких, так і в діапазоні високих частот.

3.4.1.11 Порівняти результати розрахунків для параметрів $R_{\text{вих}}$, $R_{\text{вх}}$, K_u , K_i , k_2 для аналогічної схеми зі СЕ, але без зворотнього зв'язку, які були отримані у першій лабораторній роботі.

3.4.2 Дослідження схеми з паралельно-паралельним зворотнім зв'язком або паралельним від'ємним зв'язком за напругою (Y-типу)

Схема каскаду, що досліджується наведена на рисунку 3.2.

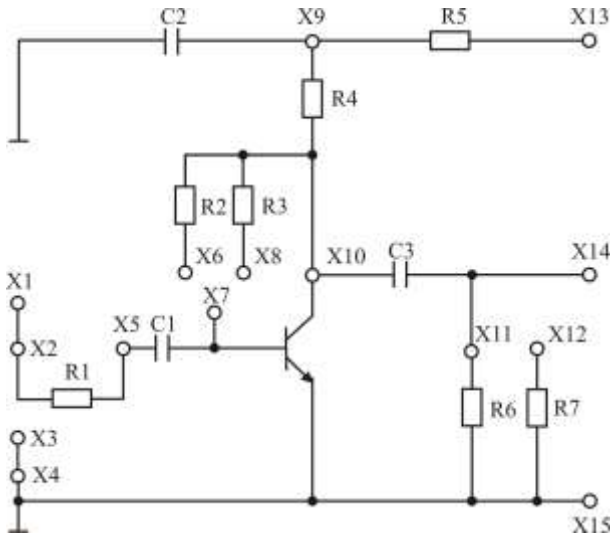


Рисунок 3.2 – Схема каскаду з паралельно-паралельним зворотнім зв'язком

3.4.2.1 Замкнути зворотній зв'язок. Для цього необхідно встановити перемичку X6-X7 (між колектором та базою вмикаємо резистора R2). Заміряти потенціали на виходах транзистора та розрахувати струм колектору та напруги на елементах схеми (Таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Режим роботи каскаду з постійного струму

Потенціал колектора $V_K = U_{X10}$, В	Потенціал бази $V_B = U_{X7}$, В	Потенціал емітера $V_E = U_{X15}$, В	U_{BE} , В	U_{KE} , В	U_{X9} , В	$U_{R4} =$ $U_{X9} - U_{X10}$, В	I_{R4} , mA

3.4.2.2 Встановити на виході вимірювального генератора гармонійний сигнал з параметрами: $U_{\text{еф}}=10$ мВ, $f=1$ кГц. Подати сигнал на вхід каскаду-гніздо $X1$ (напругу контролювати вольтметром ВЗ-55 з гнізда $X2$).

3.4.2.3 Підключити осцилограф до виходу каскада- $X14$. Переконалися у підсилювальних властивостях каскаду. Вольтметром змінної напруги заміряти напругу у контрольних точках $X2$, $X5$, $X14$.

3.4.2.4 За результатами вимірювань розрахувати:

а) коефіцієнт підсилення каскаду з напруги K_u :

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{X5}} = \frac{U_{X14}}{U_{X5}};$$

б) наскрізний коефіцієнт каскаду:

$$K_u^* = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{X14}}{U_{X1}};$$

в) коефіцієнт підсилення з струму:

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R6}{(U_{\text{вх}} - U_{X5}) / R1};$$

г) вхідний опір відносно бази транзистора VT1:

$$R_{\text{вх } 6} = \frac{U_{X5}}{(U_{\text{вх}} - U_{X5}) / R1};$$

д) вхідний опір відносно входу каскада:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{X1}}{(U_{\text{вх}} - U_{X5}) / R1}.$$

3.4.2.5 Експериментально визначити вихідний опір каскаду. Замкнути перемичку $X11-X12$. Заміряти вольтметром вихідну напругу $U'_{\text{вих}}$ у гнізді $X14$. За результатами вимірювань розрахувати:

$$R_{\text{вих}} = \frac{(U_{\text{вих}} - U'_{\text{вих}}) \cdot (R_6 \parallel R_7)}{U'_{\text{вих}}}.$$

3.4.2.6 Зняти перемичку $X11-X12$. Перемичку $X6-X7$ переставити у положення $X7-X8$. Заміряти потенціали на виходах транзистора та розрахувати напругу та струм на елементах схеми (Таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Режим роботи каскаду з сталого струму

Потенціал колектора $V_K = U_{X10}$, В	Потенціал бази $V_B = U_{X7}$, В	Потенціал емітера $V_E = U_{X15}$, В	$U_{\text{БЕ}}$, В	$U_{\text{КЕ}}$, В	U_{X9} , В	U_{R4} , В	I_{R4} , mA

3.4.2.7 Вольтметром змінної напруги заміряти напругу у контрольних гніздах $X2$, $X5$, $X14$ для нового значення опору зворотнього зв'язку $R3$ і, відповідно, іншого значення наскрызного фактору зворотнього зв'язку.

3.4.2.8 За результатами вимірювань розрахувати:

а) коефіцієнт підсилення каскаду з напруги K_u :

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{X5}} = \frac{U_{X14}}{U_{X5}};$$

б) наскрізний коефіцієнт підсилення:

$$K_u^* = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{X14}}{U_{X1}};$$

в) коефіцієнт підсилення з струму:

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R6}{(U_{\text{вх}} - U_{X5}) / R1};$$

г) вхідний опір відносно бази транзистора VT1:

$$R_{\text{вх } \bar{6}} = \frac{U_{X5}}{(U_{\text{вх}} - U_{X5}) / R1};$$

д) вхідний опір відносно входу каскада:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{X1}}{(U_{\text{вх}} - U_{X5}) / R1}.$$

3.4.2.9 Замкнути перемичку $X11-X12$. Заміряти вольтметром вихідну напругу $U'_{\text{вих}}$ у гнізді $X14$. За результатами вимірювань розрахувати:

$$R_{\text{вих}} = \frac{(U_{\text{вих}} - U'_{\text{вих}}) \cdot (R_6 \parallel R_7)}{U'_{\text{вих}}}.$$

3.4.2.10 Підключити до входу $X1$ і виходу $X14$ каскада вимірювач нелінійних спотворень СК6-13. Встановити параметри

сигнала $U_{ef}=10\text{мВ}$, $f=1\text{кГц}$. Заміряти значення k_c . Підвищити рівень сигналу до $U_{ef}=50\text{мВ}$. Записати рівень нелінійних спотворень.

3.4.2.11 Підключити сигнал від вимірювача нелінійних спотворень до гнізда X5. Повторити вимірювання k_c для $U_{ef}=10\text{мВ}$, $U_{ef}=50\text{мВ}$.

3.4.2.12 Переставити перемичку X7-X8 у положення X6-X7. Повторити вимірювання нелінійних спотворень аналогічно п. **3.4.2.10** (вхідний сигнал подавати до гнізда X1). Порівняти значення k_c по п. **3.4.2.10**, **3.4.2.11**, **3.4.2.12**. Зробити висновки.

3.4.3 Дослідження двокаскадного підсилювача з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком або послідовним зворотним зв'язком за напругою

Схема двокаскадного підсилювача з від'ємним зворотнім зв'язком Н-типу представлена на рисунку 3.3.

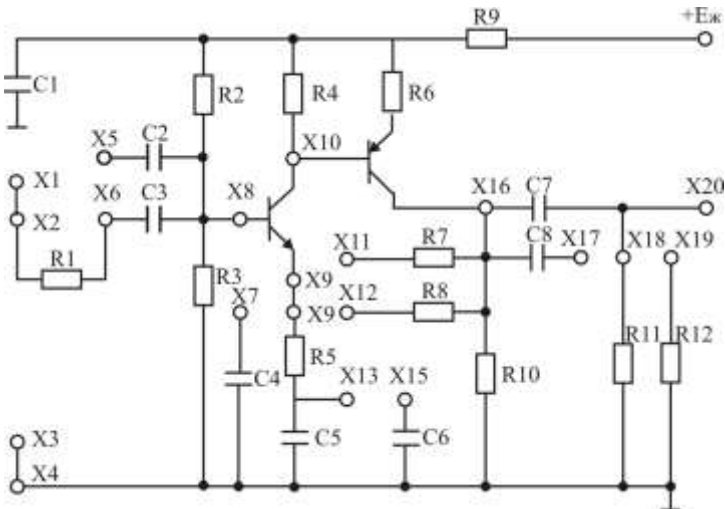


Рисунок 3.3 – Каскад з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком (Н-типу)

3.4.3.1 Встановити перемичку у положення *X9-X11*. Заміряти потенціали на виходах транзисторів VT1, VT2 та розрахувати напруги і струм на елементах схеми. Внести відповідні значення у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Режим роботи підсилювача з постійного струму

$V_{BVT1} = U_{X8}, B$	$V_{KVT1} = U_{X10}, B$	$V_{EVT1} = X9, B$	$V_{KVT2} = X16, B$	$V_{BVT2} = X10, B$	$I_{EVT1} = \frac{V_{X16} - V_{X9}}{R7} mA$	$I_{KVT2} = \frac{V_{X16}}{R10} - I_{EVT1} mA$

3.4.3.2 Встановити на виході вимірювального генератора гармонійний сигнал з параметрами: $U_{ef} = 50 mB$, $f = 1 kHz$. Подати сигнал на вхід каскаду – гніздо X1 (напругу контролювати вольтметром В3-55 у гнізді X2).

3.4.3.3 Підключити осцилограф до виходу каскада-X20. Переконалися у підсилювальних властивостях каскаду. Вольтметром змінного струму заміряти напругу у контрольних точках X6, X8, X10, X20. За результатами вимірювань розрахувати:

$$K_u = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{U_{X20}}{U_{X8}};$$

$$K_i = \frac{U_{вих} / R11}{(U_{вх} - U_{X6}) / R1};$$

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

$$R_{вх} = \frac{U_{X8}}{(U_{вх} - U_{X6}) / R1}.$$

3.4.3.4 Визначити вихідний опір підсилювача. Встановити перемичку X18-X19. Заміряти вихідну напругу $U'_{вих} = U_{X20}$. Розрахувати $R_{вих}$:

$$R_{вих} = \frac{(U_{вих} - U'_{вих}) \cdot (R_{I1} \parallel R_{I2})}{U'_{вих}}.$$

3.4.3.5 Зняти перемичку *X18-X19*. Переключити перемичку *X9-X11* у положення *X9-X12*. Повторити вимірювання за пунктом **3.4.3.3**. За результатами розрахунків розрахувати нові значення K_u , K_i , K_p , $R_{вих}$.

3.4.3.6 Замкнути перемичку *X18-X19*. Виміряти нове значення $U'_{вих} = U_{X20}$. Розрахувати $R_{вих}$ (аналогічно до пункта **3.4.3.4**).

3.4.3.7 Зняти перемичку *X18-X19*. Розімкнути зворотній зв'язок для змінної складової струму. Для цього встановити додаткову перемичку *X7-X9'* (поряд з гніздом *X9*). Через те, що опір блокувальної ємності практично дорівнює нулю на частоті експерименту, то зворотний зв'язок практично зникає. Підключити осцилограф до виходу схеми. Переконатися, що вихідна напруга має великі спотворення (обмеження сигналу). Зменшити рівень вхідного сигналу до тих пір, поки спотворення не зникнуть (отримати синусоїду без помітних спотворень). Після цього заміряти вольтметром змінної напруги напруги в контрольних гніздах *X2*, *X6*, *X8*, *X10*, *X20*. Розрахувати значення параметрів підсилювача без зворотного зв'язку.

$$K_u = \frac{U_{вих}}{U_{ВХ}} = \frac{U_{X20}}{U_{X8}};$$

$$K_i = \frac{U_{вих} / R_{I1}}{(U_{ВХ} - U_{X6}) / R_{I1}};$$

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

$$R_{ВХ} = \frac{U_{X8}}{(U_{ВХ} - U_{X6}) / R_{I1}}.$$

3.4.3.8 Встановити перемичку *X18-X19*. Заміряти нове значення $U'_{вих} = U_{X20}$ та розрахувати $R_{вих}$ підсилювача без зворотного зв'язку.

$$R_{\text{вих}} \approx \frac{(U_{\text{вих}} - U'_{\text{вих}}) \cdot R_{12}}{U'_{\text{вих}}},$$

де $U_{\text{вих}}$ – напруга у контрольному гнізді X20, отримана у пункті 3.4.3.7.

3.4.3.9 Зняти перемичку X18-X19. Виміряти амплітудно – частотну характеристику підсилювача. Вихідну напругу від генератора ГЗ-112 залишити таку ж саму, яку визначили у пункті 3.4.3.7. Вихідну напругу підсилювача контролювати у гнізді X20. Змінюючи частоту генератора від 20 Гц до 10 МГц заміряти у рекомендованих точках значення $U_{\text{вих}}$ (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 – Рекомендовані частоти для вимірювання АЧХ

F, Гц	20	40	80	100	160	320	10 ³	10 ⁴	2·10 ⁴	10 ⁵	...	10 ⁶	10 ⁷
$U_{\text{вих}}$													
$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}$;													
M(f)													

3.4.3.10 Зняти перемичку X7- X9' (тобто знову вводимо від'ємний зворотній зв'язок Н-типу через резистори R5, R8 і перемичку X9-X12). Вихідну напругу ГЗ-112 залишити без зміни. Повторити вимірювання АЧХ для схеми зі зворотним зв'язком.

3.4.3.11 Перемичку X9-X12 переставити у положення X9-X11. Повторити вимірювання АЧХ.

За результатами експерименту за пунктами **3.4.3.9**, **3.4.3.10**, **3.4.3.11** розрахувати нормовані частотні характеристики і визначити нижню f_n та верхню f_v робочі частоти за рівнем –3дБ. Нормовані АЧХ представити на одному графіку.

3.4.3.12 Підключити до входу (контрольне гніздо X1) та виходу (X20) підсилювача вимірювач нелінійних спотворень. Вихідний сигнал від генератора СК6-16 виставити таким: $U_{\text{эф}}=50 \text{ мВ}$, $f=1\text{кГц}$. Заміряти значення вихідної напруги і коефіцієнта гармонік k_c .

3.4.3.13 Переставити перемичку X9-X11 у положення X9-X12 (зміна фактору зворотнього зв'язку). Заміряти значення вихідної напруги і коефіцієнта гармонік k_g .

3.4.3.14 Розімкнути коло зворотнього зв'язку для змінної складової (додатково встановити перемичку X7-X9'). Зменшити рівень сигналу від генератора СК6-13 до рівня, за якого вихідна напруга підсилювача буде приблизно такою ж, як у пункті 3.4.3.13. Заміряти значення k_g . Зробити висновки за результатами пунктів **3.4.3.12...3.4.3.14**.

3.5 Номінальні значення опорів та ємностей елементів схем, що досліджуються

Номінали елементів, що використовуються у схемах підсилювачів з послідовним зворотнім зв'язком, що керується струмом (рис. 3.1), паралельним зворотнім зв'язком, що керується напругою (рис. 3.2), послідовним зворотнім зв'язком що керується напругою (рис. 3.3) надані відповідно у таблицях 3.8, 3.9, 3.10.

Таблиця 3.8 – Номінальні значення елементів підсилювача з послідовно-послідовним зворотнім зв'язком (Z-типу)

Резистори	Конденсатори	Транзистор VT1
R1=1кОм	C1=1000мкФ	КТ315В
R2=47 кОм	C2=10 мкФ	–
R3=3.3 кОм	C3=1 мкФ	–
R4=1.2 кОм	C4=1000 мкФ	–
R5=300 Ом	C5=4.7 мкФ	–
R6=100 Ом	C6=330нФ	–
R7=620 Ом	C7=470пФ	–
R8=10 кОм	–	–
R9=100 Ом	–	–

Таблиця 3.9 – Номінальні значення елементів підсилувача з паралельно-паралельним зворотнім зв'язком (Y-типу)

Резистори	Конденсатори	Транзистор VT1
R1=1кОм	C1=10мкФ	КТ315В
R2=12 кОм	C2=0.68 мкФ	–
R3=47 кОм	C3=1000 мкФ	–
R4=1 кОм	–	–
R5=510 Ом	–	–
R6=5.6 кОм	–	–
R7=100 Ом	–	–

Таблиця 3.10 – Номінальні значення елементів підсилувача з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком (H-типу)

Резистори	Конденсатори	Транзистори VT1,VT2
R1=1кОм	C1=1000мкФ	КТ315В
R2=15кОм	C2=5 мкФ	–
R3=10 кОм	C3=6.8 мкФ	–
R4=3 кОм	C4=100 мкФ	–
R5=560 Ом	C5=100 мкФ	–
R6=100 Ом	C6=10мкФ	–
R7=5.1 кОм	C7=3.3мкФ	–
R8=10 кОм	C8=0.33мкф	–
R9=560 Ом	–	–
R10=1.1кОм	–	–
R11=10кОм	–	–
R12=1.2кОм	–	–

3.6 Зміст звіту

3.6.1 Схеми каскадів, що досліджуються. Схеми виконувати у відповідності з СТП 15-96.

3.6.2 Результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць.

3.6.3 Значення коефіцієнтів підсилення, вхідного та вихідного опорів, коефіцієнтів нелінійних спотворень.

3.6.4 Графіки амплітудно-частотних характеристик.

3.6.5 Висновки за результатами роботи.

3.7 Контрольні запитання

1. Типи зворотнього зв'язку?
2. Вплив послідовно-послідовного від'ємного зв'язку на параметри підсилювача?
3. Вплив послідовно-паралільного від'ємного зв'язку на параметри підсилювача?
4. Вплив паралельно-паралельного від'ємного зв'язку на параметри підсилювача?
5. Вплив паралельно-послідовного від'ємного зв'язку на параметри підсилювача?
6. Вплив від'ємного зв'язку на амплітудно-частотну та фазо-частотну характеристики?
7. Вплив від'ємного зв'язку на нелінійні спотворення?
8. Привести схему з від'ємним зворотнім зв'язком Н-типу на двох транзисторах?
9. Привести схему з від'ємним зворотнім зв'язком Н-типу на одному транзисторі?
10. Привести схему з від'ємним зворотнім зв'язком У-типу. Порівняти вхідний опір каскаду із зворотнім зв'язком та без нього.
11. Привести схему з від'ємним зворотнім зв'язком Z-типу.
12. Визначити тип зворотнього зв'язку для схеми зі спільним колектором.
13. Визначити тип зворотнього зв'язку для схеми зі спільною базою.
14. Вплив зворотнього зв'язку на амплітудну характеристику?
15. Порівняти АЧХ каскаду без зворотнього зв'язку з АЧХ каскаду з від'ємним зворотнім зв'язком, та каскаду з додатнім зворотнім зв'язком.
16. Вплив зворотнього зв'язку на стабільність коефіцієнта підсилення?

17.Визначити елементи зворотнього зв'язку для схеми з послідовно-послідовним зворотнім зв'язком лабораторного стенду. Розрахувати фактор зворотнього зв'язку для схеми стенду.

18.Визначити елементи зворотнього зв'язку для схеми з паралельно-паралельним зворотнім зв'язком лабораторного стенду. Розрахувати фактор зворотнього зв'язку для схеми стенду.

19.Визначити елементи зворотнього зв'язку для схеми з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком лабораторного стенду. Розрахувати фактор зворотнього зв'язку для схеми стенду.

20.Як теоретично та практично (тобто за результатами експерименту) визначити фактор зворотнього зв'язку для зв'язку Z-типу?

21.Як теоретично та практично (тобто за результатами експерименту) визначити фактор зворотнього зв'язку для зв'язку У-типу?

22.Як теоретично та практично (тобто за результатами експерименту) визначити фактор зворотнього зв'язку для зв'язку Н-типу?

23.Розрахувати фактор зворотнього зв'язку для схеми лабораторного стенду з послідовно-послідовним зворотнім зв'язком для обох значень резисторів зворотнього зв'язку.

24.Розрахувати фактор зворотнього зв'язку для схеми зі зв'язком Н-типу за результатами експерименту для обох значень резисторів зворотнього зв'язку.

25.Розрахувати наскрізний фактор зворотнього зв'язку для схеми зі зв'язком У-типу. Як зміняться наскрізний коефіцієнт підсилення та коефіцієнт підсилення каскаду при зміні опору зворотнього зв'язку.

26.Розрахувати фактор зворотнього зв'язку для схеми У-типу лабораторного стенду для обох значень резисторів зворотнього зв'язку

27.Розглянути схему каскаду зі спільною базою, як схему з 100% зворотнім зв'язком. Визначити тип зворотнього зв'язку.

28.Розглянути схему каскаду з спільним колектором, як схему з 100% зворотнім зв'язком. Визначити тип зворотнього зв'язку.

29.Як визначити тип зворотнього зв'язку по виходу за допомогою режимів: короткого замикання та ненавантаженого стана?

30.Поясніть, як внутрішній опір джерела сигналу може впливати на ефективність від'ємного зворотнього зв'язка.

31. Поясніть різницю між поняттями: фактор зворотнього зв'язку та наскрізний фактор зворотнього зв'язку. Для яких типів зворотнього зв'язку ця різниця особлива суттєва?

32. Приведіть приклад багатокаскадного підсилювача з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком.

33. Приведіть приклад багатокаскадного підсилювача з паралельно-паралельним зворотнім зв'язком.

34. Приведіть приклад каскаду із застосуванням комбінованого від'ємного зворотнього зв'язку (послідовно-паралельного і послідовно-послідовного).

35. Приведіть приклад трьохкаскадного підсилювача з послідовно-паралельним зворотнім зв'язком.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ АНАЛОГОВОЇ МІКРОСХЕМОТЕХНІКИ: ДЖЕРЕЛ СТАБІЛЬНОГО СТРУМУ І ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО КАСКАДУ

4.1 Мета роботи

- 1) Дослідити основні параметри і характеристики джерел стабільного струму на біполярних транзисторах;
- 2) експериментально дослідити можливість застосування “струмового дзеркала” у інтегральних мікросхемах, як задавача режимного струму підсилювальних каскадів;
- 3) дослідити основні параметри і характеристики диференціального каскаду;
- 4) експериментально дослідити застосування активного навантаження у підсилювальних каскадах.

4.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

Вивчити теоретичний матеріал: джерела стабільного струму (ДСС), вимоги до ДСС та основні характеристики; диференціальний каскад, властивості диференційного каскаду відносно диференційного та синфазного сигналу, застосування джерел стабільного струму у диференційних каскадах.

4.3 Опис лабораторного стенду

Лабораторна робота виконується на двох змінюваних блоках з використанням комплексу АВК-6. Схеми блоків наведені на рис.4.1 та рис. 4.5. Для проведення роботи необхідні такі прилади:

- вольтметр постійної напруги, що вбудовано у комплекс АВК-6;
- генератор гармонічних та прямокутних коливань ГЗ-112;
- осцилограф С1-72 (С1-65);

– вольтметр змінної напруги ВЗ-55.

4.4 Порядок проведення лабораторної роботи

Схему змінного модулю наведено на рисунку 4.1.

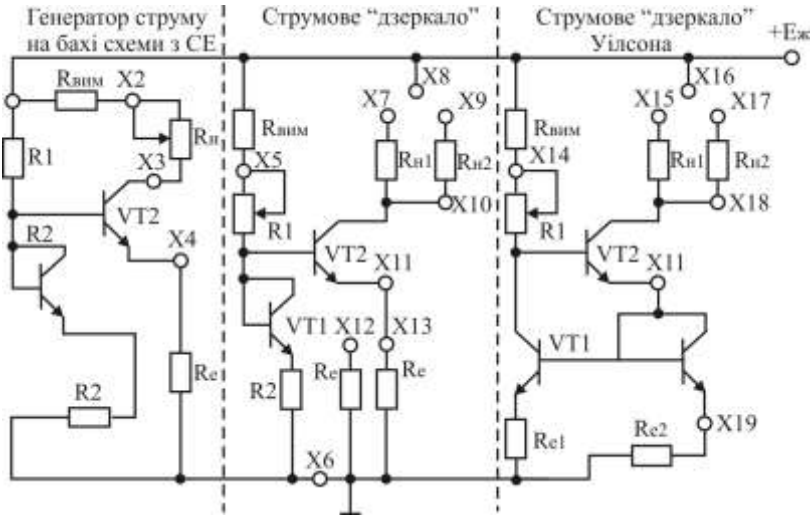


Рисунок 4.1 – Схема стенду для дослідження джерел стабільного струму

4.4.1 Дослідження джерел стабільного струму

Схему каскада зі спільним емітером у першому наближенні можливо розглядати як джерело стабільного струму (генератор струму), оскільки струм колектора практично не залежить від опору резистора, що стоїть безпосередньо у колі колектору. Варіант побудови генератора струму на підставі схеми СЕ з введенням елемента термостабілізації наведено на рис. 4.2. Елементом температурної стабілізації виступає транзистор VT1 у діодному включенні. Транзисторі VT1, VT2 повинні бути однакового типу, що

дозволяє компенсувати однакові температурні дрейфи емітерних переходів VT1, VT2.

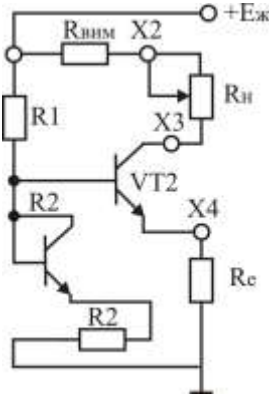


Рисунок 4.2 – Схема ДСС на підставі схеми з спільним емітером

4.4.1.1 Змінюючи опір резистора навантаження R_H від мінімуму (крайне ліве положення ручки на стенді) до максимуму, за допомогою цифрового вольтметра постійної напруги у 7-8 точках заміряти потенціали у контрольних точках X3 і X2 (U_{X3} , U_{X2} відповідно).

4.4.1.2 За результатами експерименту розрахувати значення струму у навантаженні (струм колектору), та відповідне значення опору навантаження в експериментальних точках:

$$I_H = I_K = \frac{E_{жс} - U_{X2}}{R_{вим}},$$

$$R_H = \frac{U_{X2} - U_{X3}}{I_H} = \frac{U_{X2} - U_{X3}}{E_{жс} - U_{X2}} \cdot R_{вим},$$

де $E_{жс}=15B$, значення напруги живлення, $R_{вим}=100\Omega$, значення вимірювального резистору.

За результатами вимірювань побудувати графік залежності $I_{НАВ}=f(R_H)$.

4.4.2 Дослідження схеми “струмового дзеркала”

На рис.4.3 зображена схема джерела стабільного струму, яка у технічній літературі отримала назву “ струмового дзеркала ”, Назва схеми підкреслює той факт, що струму у навантаженні R_H (праве плече схеми) при однакових номіналах резисторів в емітерних колах транзисторів VT1, VT2 повторю струм у задаючому колі (транзистор VT1 і резистор R1).

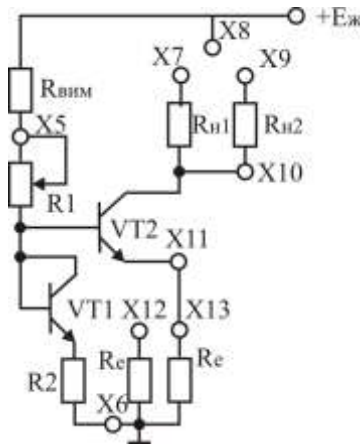


Рисунок 4.3 – Схема “струмового дзеркала”

4.4.2.1 Встановити перемичку X7-X8 у колекторному колі транзистора VT2. При цьому опір навантаження $R_{H1}=100\Omega$. Змінюючи опір резистора R1 у струмозадаючому колі від мінімуму до максимуму, визначити потенціали контрольних точок X5 , X10, X11. Експеримент також провести у 7-8 точках (рекомендується щоб одна з контрольних точок відповідала значенню $U_{X5}=11V$).

При цьому значення струму, що є задаючим, визначається так:

$$I_3 = \frac{E_{жс} - U_{X5}}{R_{вим}},$$

де $E_{жс}=15\text{В}$, $R_{вим}=400\text{ Ом}$.

Струм у навантаженні визначиться як:

$$I_H = I_{RH1} = \frac{E_{жс} - U_{X10}}{R_{H1}}.$$

Напруга колектор-емітер транзистору VT2, що працює у активному режимі:

$$U_{КЕVT2}=U_{X10} - U_{X11}.$$

Результати експерименту представити у вигляді таблиці. Побудувати за результатами вимірювань залежність $I_H = f(I_3)$.

4.4.2.2 Виставити значення опору резистору R1, що відповідає значенню струму $I_3=10\text{мА}$ ($U_{X5}=11\text{В}$) Зафіксувати значення U_{X5} , U_{X10} , U_{X11} . Перемичку X7-X8 у колекторному колі переставити в положення X8-X9. Зафіксувати нові значення U_{X5} , U_{X10} , U_{X11} Розрахувати для обох випадків значення струму у навантаженні та струмозадаючому колі. Опір навантаження $R_{H2}=1\text{кОм}$, відповідно:

$$I'_H = I_{RH2} = \frac{E_{жс} - U_{X10}}{R_{H2}}.$$

Визначити у відсотковому співвідношенні ступінь нерівності I_3 та I_{RH1} і I_{RH2} .

$$\Delta = \left| \frac{I_{RH1} - I_{RH2}}{I_{RH}} \right| \cdot 100\%,$$

$$\Delta_1 = \left| \frac{I_3 - I_{RH1}}{I_3} \right| \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_2 = \left| \frac{I_3 - I_{RH2}}{I_3} \right| \cdot 100\% .$$

де I_{RH1} , I_{RH2} – струми через опори навантаження R_{H1} , R_{H2} відповідно, а I_{RH} – середнє арифметичне значення.

4.4.2.3 Повернути перемичку у колекторному колі у положення X7-X8, а в емітерному колі підключити перемичку X12-X13. До підключення перемички X12-X13 в емітерних колах транзисторів VT1 і VT2 були ввімкнені резистори з відносно невеликим, але однаковим опором: $R_2=R_e$.

Це дозволяє додатково симетрувати схему “струмового дзеркала”, оскільки для транзисторів у дискретному виконанні досягнути ідеальної симетрії транзисторів VT1, VT2 практично неможливо (набагато простіше ця задача вирішується для інтегрального виконання, тому схема “струмового дзеркала” є базовою при побудованні аналогових мікросхем).

При підключенні перемички X12-X13 результуючий опір в емітерному колі транзистора VT2 стає у два рази меншим за опір резистора R_2 , що дозволяє отримати струм у навантаженні пропорційний задаючому струмові.

Провести вимірювання струму у навантаженні аналогічно пункту **4.4.2.1**. Результати експерименту представити у вигляді таблиці. Побудувати за результатами вимірювань залежність $I_n = f(I_3)$, визначити коефіцієнт пропорційності.

4.4.3 Дослідження схеми “струмового дзеркала Уїлсона”

Дослідити схему “струмового дзеркала Уїлсона” (рис. 4.4.). Цей пункт виконується за вказівкою викладача.

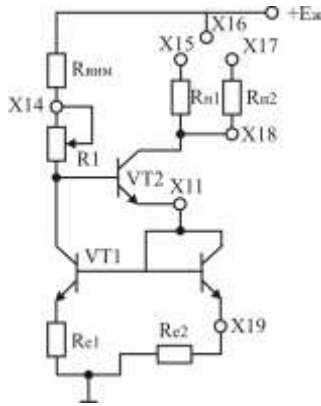


Рисунок 4.4 – “Струмове дзеркало Уїлсона”

4.4.3.1 Встановити перемичку у колекторному колі транзистора VT2 у положення X15-X16. Змінюючи опір R1 у струмозадаючому колі, виміряти потенціали контрольних точок X14, X18, X19.

Розрахувати задаючий струм I_3 , струм у навантаженні I_H та струм через резистор R_{e2} за наступними формулами:

$$I_C = \frac{E_{ae} - U_{X14}}{R_{\hat{a}\hat{i}}},$$

$$I_H = I_{Rf1} = \frac{E_{ae} - U_{X18}}{R_{f1}},$$

$$I_{Re2} = \frac{U_{X19}}{R_{e2}} \approx I_H.$$

Побудувати залежність $I_H=f(I_3)$, $I_{Re2}=f(I_3)$.

4.4.3.2 Виставити значення опору R_1 , що відповідає значенню струму $I_3=10\text{mA}$ ($U_{X14}=11\text{В}$) Зафіксувати значення U_{X14} , U_{X18} , U_{X19} . Перемичку у колекторному колі переставити в положення $X16$ - $X17$, також зафіксувати нові значення U_{X14} , U_{X18} , U_{X19} .

Розрахувати для обох випадків струм у навантаженні I_{RH1} , I_{RH2} . Визначити у відсотковому співвідношенні ступінь нерівності I_3 та I_{RH1} , I_{RH2} аналогічно пункту **4.4.3.1**.

4.4.4 Дослідження диференціального каскаду

Схема модуля для дослідження диференціального каскаду зображена на рис. 4.5.

4.4.4.1. Скласти схему класичного диференціального каскаду (рис.4.5) з пасивним колекторним навантаженням у вигляді резисторів $R_{к1}$, $R_{к2}$ і спільним резистором в емітерних колах транзисторів VT_2 , VT_3 .

Для цього необхідно в стенді встановити перемички X_7 - X_8 , X_{21} - X_{23} , X_{10} - X_{11} , X_{19} - X_{20} , X_{13} - X_{15} .

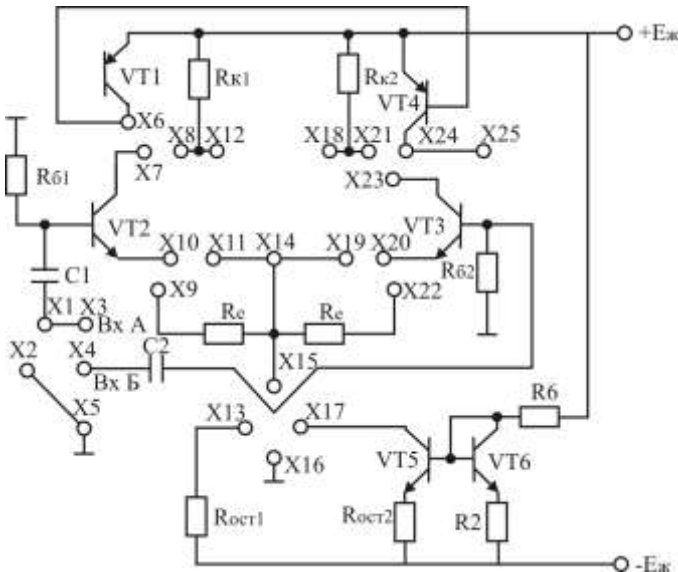


Рисунок 4.5 – Схема стенду для дослідження диференційного каскаду

4.4.4.2 За допомогою вмонтованого у стенд цифрового вольтметра постійної напруги (або зовнішнім вольтметром постійного струму) виміряти постійну напругу на електродах транзисторів VT2, VT3 та розрахувати значення режимних струмів у відповідності з таблицею 4.1 (значення опорів колекторного навантаження $R_{K1}, R_{K2} = 7.5 \text{ кОм}$). Впевнитись, що значення $U_{KVT2}(I_{K2})$, $U_{KVT3}(I_{K3})$ відрізняються не більш як на 10%.

Таблиця 4.1 – Режим роботи диференційного каскаду з постійного струму

V_{KVT2} , В	V_{eVT2} , В	V_{KVT3} , В	V_{eVT3} , В	I_{KVT2} , mA	I_{KVT3} , mA	+ $E_{ж}$, В	- $E_{ж}$, В

4.4.4.3 Встановити частоту вхідного сигналу 1 кГц і рівень вхідного сигналу 5 мВ . Подати сигнал від генератора ГЗ-112 до гнізда Х4(Вх.Б). За допомогою мілівольметра виміряти змінну напругу у контрольних точках U_{X12} (U_{KVT2}) і U_{X18} (U_{KVT3}) відносно загального провада. Потім підключити мілівольметр між колекторами і виміряти вихідну диференційну напругу.

Розрахувати значення коефіцієнтів підсилення при несиметричному і симетричному виході диференційного каскаду. Результати вимірів занести до таблиці 4.2.

У таблиці крім експериментальних даних повині бути присутні результати розрахунків перелічених параметрів у відповідності з результатами теоретичного аналізу роботи диференційного каскаду.

4.4.4.4. Сигнал від генератору ГЗ-112 переключити до гнізда Х3 (Вх.А). Замкнути за допомогою перемички ємність С2 на нульову шину (встановити перемичку Х4 - Х5). Це дозволяє прикладати вхідний сигнал безпосередньо до баз транзисторів диференційної пари VT2, VT3 (у цьому випадку, можна умовно розглядати сигнал від генератору ГЗ-112, як диференціальну напругу, тобто $U_{вх} = U_{вхд} = U_{Х3}$).

Повторити виміри за пунктом **4.4.4.3**. Результати вимірів та розрахунків занести в таблицю 4.2.

4.4.4.5 Збільшити сигнал на виході вимірювального генератора ГЗ-112 до значення $U_{ef} = 50 \text{ мВ}$. Повторити виміри за пунктом 4.4.4.3.

Продовження таблиці 4.2

N	$U_{вх}$	$U_{вих1}$ (U_{x12})	$U_{вих2}$ (U_{x18})	$U_{вихд}$ (U_{x18} - U_{x12})	$K'_u = \frac{U_{вихд}}{U_{вхд}}$	$K''_{ud} = \frac{U_{вих2}}{U_{вхд}}$	$K'_d = \frac{U_{вих2} - U_{вихд}}{U_{вхд}}$	$K'_{удроз}$
Місцевий зворотній зв'язок(Re) $C_{2закмнений}$ $U_{вх} = 50$ мВ								
Ввімкнути X3-X4 (сінфазний сигнал) . $U_{вх} = 50$ мВ.								
Ввімкнути X15-X17, X3-X4 (сінфазний сигнал) . $U_{вх} = 50$ мВ.								

4.4.4.8 Переключити генератор вхідного сигналу ГЗ-112 до гнізда X1. Закнути входи диференційного каскаду за допомогою перемички X3-X4 (тобто до баз транзисторів VT2 і VT3 прикладається однаковий сигнал – сінфазний). При такому включенні оцінюються передавальні функції каскаду по відношенню до сінфазного сигналу. Встановити сигнал на вході каскаду $U_{вх} = U_{вхс} = 50$ мВ. Мілівольтметр змінної напруги виміряти напругу на колекторах обох плеч відносно нульової шини. Розрахувати значення $K_C = U_{вих1(2)} / U_{вхс}$. Порівняти коефіцієнти підсилення для диференціального та сінфазного сигналів.

4.4.4.9 Включити в загальне емітерне коло транзисторів VT2, VT3 замість резистору R_E генератор стабільного струму на транзисторах VT5, VT6 (рисунок 4.5). Для цього перемичку X13-X15 переключити у положення X15-X17.

Виміряти змінну напругу на колекторах обох транзисторів U_{X12} (U_{KVT2}) і U_{X18} (U_{KVT3}) і обчислити коефіцієнт пердачі сінфазного сигналу K_C . Порівняти отримане значення K_C з результатами за п.4.4.4.8.

Розімкнути перемичку X4-X3 на вході диференціального каскаду і виміряти напругу у контрольних точках X12, X18. Визначити коефіцієнт підсилення такого варіанту схеми відносно

диференційного сигналу для $U_{вх}=50$ мВ і порівняти з пунктом 4.4.4.7.

Оцініть вплив джерела стабільного струму в емітерному колі VT2, VT3 на коефіцієнт підсилення для диференційного сигналу. Результати усіх вимірювань внести до таблиці 4.2.

4.4.4.10 Переставити перемички у колекторному колі транзисторів VT2, VT3 в положення X6-X7, X23-X24.

При цьому схема диференційного каскаду набуває типовий вигляд, що знайшов найбільше використання в інтегральній схемотехніці. Вихідний сигнал знімати з гнізда X25.

Визначити коефіцієнт підсилення для диференціального сигналу. Порівняти значення K_d з активним і пасивним навантаженням.

Переключити перемичку X15-X17 у положення X15-X13. Переконайтеся, що вихідна напруга у гнізді X25 практично не змінилася.

4.5 Зміст звіту

4.5.1 Схеми каскадів, що досліджуються. Схеми виконувати у відповідності з СТП 15-96.

4.5.2 Результати експериментальних досліджень.

4.5.4 Графіки відповідних залежностей.

4.5.5 Висновки за результатами роботи.

4.6 Контрольні запитання

1. Вимоги до джерел стабільного струму. Генератори стабільного струму та відбивачі струму.

2. Поясніть, чому схему зі спільним емітером можна розглядати як джерело стабільного струму?

3. Яким чином покращується термостабільність генератора струму на підставі схеми зі спільним емітером?

4. Параметри джерела струму на підставі “струмового дзеркала”. Принцип дії ДСС.

5. Як за допомогою “струмового дзеркала” можливо масштабувати струм у навантаженні?

6. Приведіть приклад застосування “струмового дзеркала у диференціальному каскаді”. Обґрунтуйте доцільність такого включення.

7. Принцип дії “струмового дзеркала Уїлсона”. Основні параметри “дзеркала Уїлсона”

8. Порівняти за параметрами три схеми ДСС, що досліджуються у лабораторній роботі.

9. Як за допомогою генератора струму реалізувати схему зсуву рівня?

10. Класичний диференційний каскад. Основні параметри стосовно диференційного та синфазного сигналу.

11. Поясніть чому диференційний каскад доцільно використовувати як вхідний каскад багатокаскадного підсилювача постійного струму?

12. Поясніть різницю між симетричним та несиметричним поданням вхідного сигналу до входу диференційного каскаду. Чому змінюється коефіцієнт підсилення при підключенні між входом Б та нульовою шиною ємності С2?

13. Яке із плеч диференційного каскаду можна розглядати як інвертуюче? Обґрунтуйте відповідь.

14. Яке із плеч диференціального каскаду можна розглядати як неінвертуюче? Обґрунтуйте відповідь.

15. Як впливає місцевий зворотній зв'язок на параметри диференційного каскаду для диференційного та синфазного сигналу?

16. Яким чином можна збільшити динамічний діапазон вхідного сигналу? Приведіть типові значення амплітуди вхідного сигналу за якого класичний диференційний каскад на біполярних транзисторах знаходиться у лінійному режимі.

17. Як впливає підключення генератора струму у загальне емітерне коло транзисторів диференціальної пари на параметри каскаду?

18. Вхідний та вихідний опори диференціального каскаду. Які параметри диференційного каскаду зміняться зі зміною транзисторів VT2, VT3 диференційної пари на складені?

19. Приведіть приклад застосування активного динамічного навантаження у диференціальному каскаді.

20. Розрахувати коефіцієнт підсилення диференціального каскаду із застосуванням “струмового дзеркала” у навантаженні.

21. Характеристики диференціального каскаду у режимі “великого” сигналу.

22. Наведіть вирази для колекторних струмів диференціального каскаду в режимі великого сигналу.

23. Наведіть графічну залежність для колекторних струмів диференціального каскаду в режимі великого сигналу.

24. Який динамічний діапазон вхідного сигналу для класичного ДК?

25. Поясніть залежність коефіцієнта підсилення з напруги від амплітуди вхідного сигналу

26. Охарактеризуйте такі параметри диференціального каскаду: коефіцієнт передачі синфазного сигналу, коефіцієнт придушення синфазного сигналу. Як можна покращити якість ДК відносно цих параметрів?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК КАСКАДНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

5.1 Мета роботи

- 1) Дослідити основні параметри і характеристики каскодного підсилювача;
- 2) провести порівняння основних схем включення біполярних транзисторів і каскодного підсилювача.

5.2 Завдання на підготовку до виконання лабораторної роботи

Вивчити теоретичний матеріал.

Каскодний підсилювач, особливості схмотехнічної реалізації зі змінної та сталої складової; вхідний та вихідний опір; коефіцієнт підсилення з напруги, струму, потужності. Порівняльні характеристики каскодного підсилювача з підсилювальними каскадами з спільним емітером, спільною базою та спільним колектором. Вибір робочої точки, забезпечення режиму транзисторів з постійного струму. Каскодні підсилювачі з послідовним і паралельним живленням.

5.3 Опис лабораторного стенду

Лабораторна робота проводиться на змінюваному блоці з використанням комплексу АВК-6. Схема блоку наведена на рис.5.1.

Для проведення роботи необхідні такі прилади:

- вольтметр постійної напруги, що вмонтовано у комплекс АВК-6;
- генератор гармонічних та прямокутних коливань ГЗ-112;
- осцилограф С1-72 (С1-65);
- вольтметр змінної напруги ВЗ-55.

5.4.2 Встановити на виході вимірювального генератору ГЗ-112 гармонічний сигнал з параметрами: $U_{\text{эф}} = 10$ мВ, $f = 1$ кГц. Подати сигнал на вхід каскаду – гніздо X1 (контроль вольтметром -X2).

5.4.3 Підключити осцилограф послідовно до входу (X2) та виходу каскаду (X16). Переконайтесь у підсилювальних якостях каскаду.

5.4.4 Вольтметром змінної напруги заміряти напругу на вході і виході каскаду (контрольні точки X7, X16) та у контрольній точці X9. Записати результати замірювань.

5.4.5 Встановити у схемі перемичку X10-X12. Повторити замірювання напруги у контрольних точках X7, X9, X16. Записати результати замірювань.

5.4.6 За результатами вимірювань розрахувати :

– коефіцієнт підсилення за напругою каскаду на транзисторі VT2:

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{X9}}{U_{X7}};$$

– коефіцієнт підсилення за напругою каскадного підсилювача у цілому:

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{X16}}{U_{X7}};$$

– наскрізний коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K^*_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{X1}} = \frac{U_{X16}}{U_{X1}};$$

– коефіцієнт підсилення за струмом:

$$K_i = \frac{U_{\text{вих}} / R8}{(U_{X1} - U_{X7}) / R1};$$

– коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю:

$$K_p = K_u \cdot K_i;$$

– вхідний опір каскаду:

$$R_{BX} = \frac{U_{x7}}{(U_{x1} - U_{x7}) / R1}.$$

5.4.7 Замкнути перемичку X13-X14. Повторно заміряти вхідну та вихідну напруги $U'_{вх}$, $U'_{вих}$. За результатами вимірювань розрахувати K_p, K_u, K_i , а також вихідний опір. Результати розрахунків за навантаженням $R_H=R8=10$ кОм порівняти з аналогічними даними для каскаду з СЕ.

5.4.8 Провести вимірювання амплітудно-частотної характеристики каскаду за умови мінімальної сталої часу τ_6 вихідного кола (X13-X14 замкнені). Рекомендовані значення частот наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – АЧХ каскадного підсилювача

τ_6	F, Гц	10^3	10^4	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	10^6	10^7
$\tau_{вих} = C_{вих}^*$ $(R_9 \parallel R_8 \parallel r_{кв});$ $\tau_{вх} = C_{вх}^*$ $(R1 + R_{дж}) \parallel r_{бв};$	$U_{вих} = U_{X16}$										
	$K_u = \frac{U_{вих}}{U_{BX}}$										
	<i>Mв</i>										

Порівняти результати експерименту з результатами п.2.4.3.3 лабораторної роботи №2.

5.5 Зміст звіту

5.5.1 Схеми каскадів, що досліджуються. Схеми виконувати у відповідності з СТП 15-96.

5.5.2 Результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць.

5.5.3 Графіки відповідних залежностей.

5.5.4 Висновки за результатами роботи.

5.6 Контрольні запитання

1. Привести схему каскодного підсилювача з паралельною схемою живлення?

2. Привести вираз для коефіцієнта підсилення за напругою для схеми каскоду з паралельним живленням

3. Привести схему каскодного підсилювача з послідовною схемою живлення?

4. Привести вираз для коефіцієнта підсилення за напругою схеми каскоду з послідовним живленням.

5. Порівняти каскодну схему з основними схемами включення біполярних транзисторів.

6. Обґрунтуйте доцільність застосування каскодної схеми у високочастотних підсилювачах.

7. Визначити коефіцієнт підсилення за напругою для транзистора VT2 каскодної схеми

8. Привести каскодну схему на двохзатворному польовому транзисторі. Визначити коефіцієнт підсилення такої схеми.

9. Призначення елементів схеми каскоду.

10. Чому змінюється коефіцієнт підсилення каскоду при підключенні перемички X10-X12?