

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з курсу: «Аналогова схемотехніка»
для студентів напрямків підготовки
6.050802 Електронні пристрої і системи, 6.051003 Приладобудування**

**РОЗГЛЯНУТО
на засіданні кафедри
електронної техніки
протокол № 6 від 26. 01 .11 р.**

**ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні Навчально-
видавничої ради
ДВНЗ «ДонНТУ»
протокол № 3 від 05.05.11 р.**

УДК 681.51:621.385

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Аналогова схемотехніка» (для студентів напрямків підготовки 6.050802 Електронні пристрої і системи, 6.051003 Приладобудування) / О.В. Вовна, А.А. Зорі – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – 32 с.

Методичні вказівки містять

Укладачі:

к.т.н., доц.

О.В. Вовна

д.т.н., проф.

А.А. Зорі

Рецензент

к.т.н. доц.

М.В. Привалов

ЗМІСТ

	Стор.
ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ, ПРИНЦИПІВ ЗБИРАННЯ СХЕМ І ЛАБОРАТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 – Дослідження інвертуючої та неінвер- туючої схем включення операційного підсилювача.....	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 – Дослідження інвертуючого та неінвер- туючого суматорів.....	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 – Дослідження схем диференційних під- силювачів.....	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 – Дослідження інтегруючого та дифе- ренціюючого підсилювачів.....	28
ДОДАТОК А – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторних робіт.	32

ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ, ПРИНЦИПІВ ЗБИРАННЯ СХЕМ І ЛАБОРАТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ

Лабораторний стенд призначено для дослідження аналогових електронних схем, які побудовано на базі операційних підсилювачів. До складу стенду входять: окремі функціональні схеми, які призначено для дослідження із можливістю зміни окремих елементів схеми; внутрішні контрольно-вимірювальні пристрої, які призначено для генерації тестових сигналів різної форми та вимірювання частоти та амплітуди сигналів; блок живлення та роз'єднання для підключення зовнішніх пристроїв контрольно-вимірювальної апаратури. Зовнішній вигляд пристрою наведено на рис. 1.

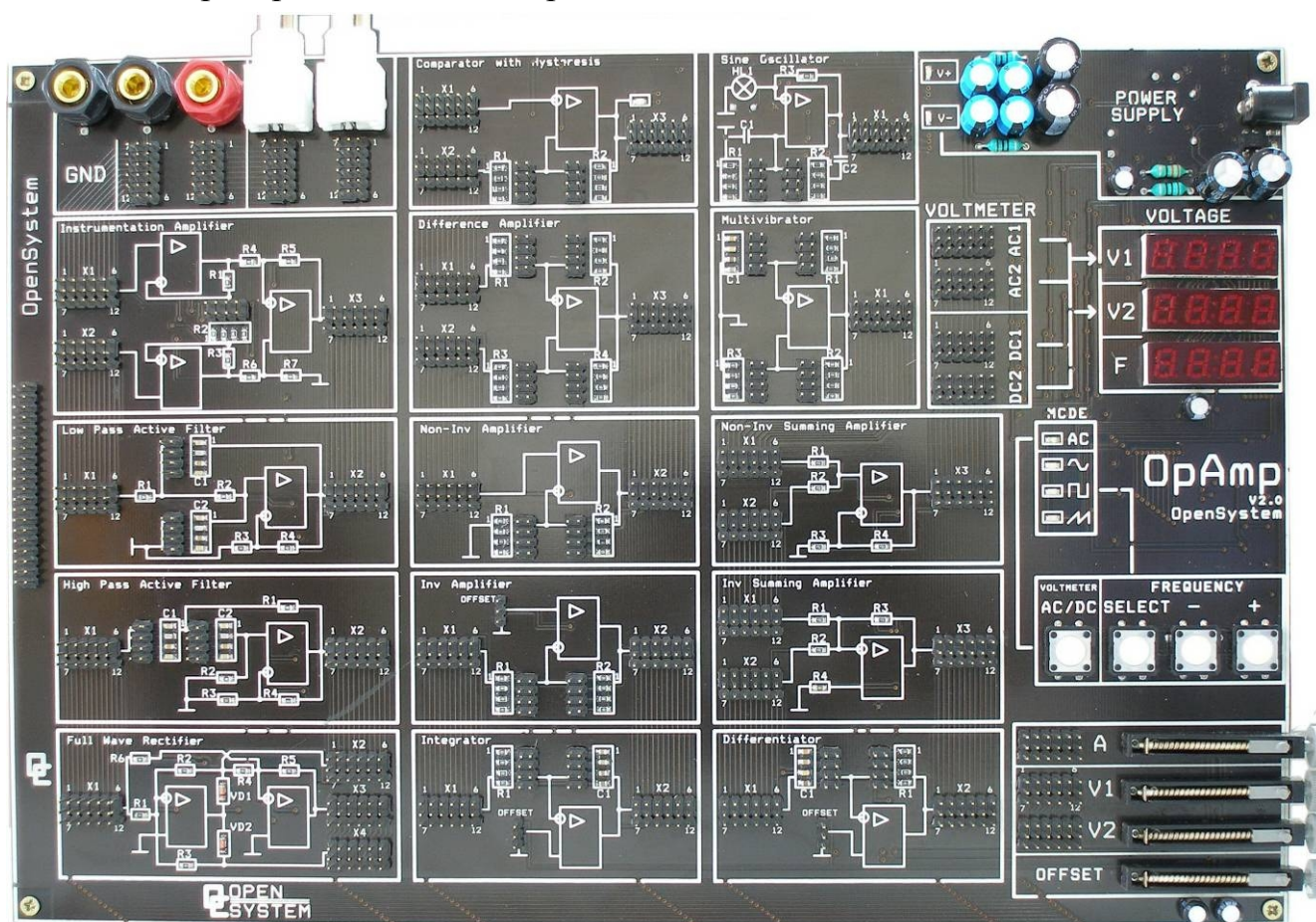


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд лабораторного стенду OpAmp

Всі функціональні схеми, які призначено для досліджень, розташовано у центральній області передньої панелі пристрою, і займають більшу її частину. З метою полегшення вивчення студентами англomовних видань із схемотехніки аналогових пристроїв, назви функціональних схем на передній панелі наведено англійською мовою. Технічні характеристики лабораторного стенду наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики лабораторного стенду OpAmp

Параметр	Значення
Внутрішній генератор	
– діапазон частот	1 Гц – 100кГц
– форма вихідного сигналу	синусоїдальна, прямокутна, трикутна.
– крок вибору частоти	
в діапазоні частот (1 – 100) Гц	1 Гц
в діапазоні частот 100 Гц – 1кГц	10 Гц
в діапазоні частот (1 – 10) кГц	100 Гц
в діапазоні частот (10 – 100)кГц	1 кГц
– вихідна напруга (амплітудне значення)	
синусоїдальна	(0 – 5)В
прямокутна	(0 – 5)В
трикутна	(0 – 5)В
Внутрішні джерела напруги (V1,V2)	
– вихідна напруга	– 10 В – + 10 В
– вихідний струм	не більше 20 мА
– діапазон підстроювання напруги зсуву	– 50 мВ – + 50 мВ
Вольтметр постійної напруги	
– діапазон вхідної напруги	– 12 В – +12 В
– похибка вимірювання	не більше $\pm 2,5\%$
Вольтметр змінної напруги	
– діапазон вхідної напруги	(0 – 12) В
– похибка вимірювання, не більше	$\pm 5 \%$
Напруга живлення	
– постійна	12 В $\pm 10 \%$
– змінна	12 В $\pm 10 \%$
– струм споживання	не більше 0,5 А
Напруга живлення операційних підсилювачів досліджуваних схем	
	± 12 В
Максимальний вихідний струм кожної з досліджуваних схем	
	20 мА
Габаритні розміри	
	315 × 215 × 22 мм

Переліку функціональних схем:

- інвертуючий підсилювач (Inv Amplifier);
- неінвертуючий підсилювач (Non-Inv Amplifier);
- інвертуючий суматор (Inv Summing Amplifier);
- неінвертуючий суматор (Non-Inv Summing Amplifier);
- диференційний підсилювач (Difference Amplifier);
- інструментальний підсилювач (Instrumentation Amplifier);
- інтегратор (Integrator);
- диференціатор (Differentiator);
- фільтр низьких частот (Low Pass Active Filter);
- фільтр високих частот (Hige Pass Active Filter);
- мультивібратор (Multivibrator);
- генератор синусоїдальних коливань (SinOscillator);
- випрямляч середніх значень (Full Wave Rectifier);
- компаратор (Comparator).

Кожна функціональна схема, яка призначена для дослідження організована наступним чином. Для кращого зорового сприйняття кожна функціональна схема на передній панелі виділена за допомогою білого прямокутника, а також представлена її принципова схема. В місцях зображення входів та виходів схеми, встановлені відповідні конструктивні елементи призначені для підведення вхідних та виведення вихідних сигналів. Для виконання досліджень схем згідно індивідуальних завдань, передбачена можливість зміни значень окремих елементів схеми: резисторів та конденсаторів. В кожній схемі використано один, два або чотири елементи, значення яких можна змінювати. Схеми включення резисторів та конденсаторів наведено на рис. 2, а та б.

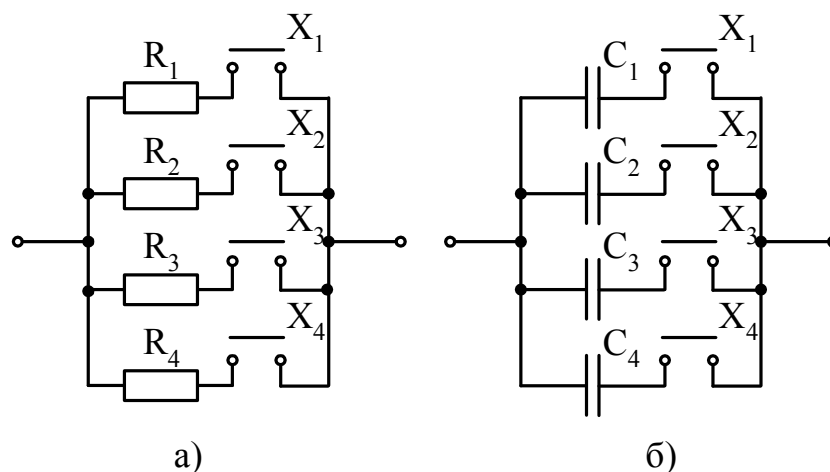


Рисунок 2 – Принципові схеми включення резисторів (а) та конденсаторів (б), які можна змінювати у лабораторному макеті

Як видно із схем, включення резисторів та конденсаторів відбувається шляхом перемикання перемичок $X_1 - X_4$, причому одночасно може бути замкнена 1, 2, 3 або 4 перемички. Підключення елементів проводиться за паралельною схемою включення, отже при розрахунках слід пригадати формули розрахунків опорів та ємностей резисторів та конденсаторів, які з'єднано за паралельними схемами включення. Можливість паралельного ввімкнення елементів збільшує кількість можливих індивідуальних завдань. Нумерація елементів починається від позначки (1) біля елементу, і нумерується зверху до низу, або зліва на право. Значення номіналів елементів знаходяться у відповідних таблицях до лабораторних робіт.

Усі внутрішні контрольно-вимірювальні пристрої розташовано у правій частині лабораторного стенду. До їх складу входять:

- два вольтметри;
- функціональний генератор, частота коливань задається кнопками (+) та (–);
- частотомір сигналів внутрішнього генератору;
- кнопка вибору форми сигналу (SELECT) із відповідною індикацією світлодіодами (синусоїдальної, прямокутної та трикутної);
- два змінних резистори які задають постійні напруги V_1 , V_2 ;
- змінний резистор, що задає напругу зсуву для деяких схем.

Блок живлення розташовано у верхній правій частині передньої панелі. Роз'єкти для підключення зовнішньої контрольно-вимірювальної апаратури розміщено у верхній лівій частині пристрою. До групи роз'єктів включено:

- два роз'єкти для підключення зовнішніх контрольно-вимірювальних приладів (типу BNC);
- три роз'єкти для підключення штирових виводів, один з яких з'єднано із загальною шиною 0 В.

Для організації внутрішніх зв'язків між окремими блоками лабораторного стенду використано 12 внутрішніх ліній зв'язку, конструктивно які виконано дванадцятьма друкованими провідниками. За допомогою перемичок будь-яку із ліній можна з'єднати із входом або виходом будь-якої функціональної схеми, внутрішнім контрольно-вимірювальним пристроєм, роз'єктами. Конструктивне виконання перемичок наступне. Біля кожного входу або виходу розташовано група штирових контактів розміщених у три ряди. Центральний ряд контактів з'єднано між собою та входом або виходом відповідного блоку макету. Контакти розміщено у крайніх рядах з'єднані кожний із своєю лінією зв'язку. Нумера-

ція ліній проводиться від першої до шостої та від сьомої до дванадцятої лінії, біля яких розміщені відповідні цифрові позначки. Для підключення входу або виходу до відповідної лінії потрібно, надягнути на один із центральних штирків та штирок із відповідним номером на крайніх рядах, перемичку.

На рис. 3 зображено приклад комутаційного поля. Для передачі сигналу використовується лінія № 3. При встановленні перемички на іншому комутаційному полі в таке ж положення, ці лінії будуть замкнутими. Для передачі сигналу по деякій (обраній) інформаційній лінії необхідно штирок із відповідним номером замкнути перемичкою із спільним рядком на виході і вході відповідних схем.

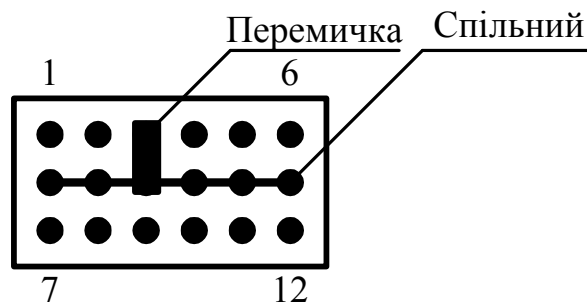


Рисунок 3 – Комутаційне поле

Для розміщення перемичок використовується тридцять подвійних груп штирьових виводів у лівій частині передньої панелі лабораторного макету, які не під'єднано до жодного кола електричної схеми макету.

Внутрішній блок живлення лабораторного макету забезпечує напругу живлення схем на ОП – ± 12 В.

Внутрішній генератор сигналів забезпечує встановлення вихідної частоти у діапазоні частот від 1 Гц до 100 кГц.

Для виконання лабораторних робіт можна використовувати інші прилади (частотоміри, характерографи, аналізатори спектру, лабораторні блоки живлення, осцилографи й інші).

Один з них, осцилограф, є універсальним приладом, що дозволяє робити різноманітні вимірювання в електричних та електронних колах. За допомогою осцилографа можна визначати амплітуду, форму сигналів, зсув фаз, спостерігати процеси, що змінюються у часі, досліджувати спектральні характеристики і проводити інші різні вимірювання. За допомогою осцилографу вимірюють також напругу постійного струму.

Для дослідження електронних схем бажано застосовувати двоканальні або двопробеневі осцилографи, що дозволяють побачити на екрані сигнали у

двох різних точках досліджуваної схеми одночасно, наприклад вхідний та вихідний. Це дозволяє наочно простежити взаємозв'язок сигналів у будь-якій точці схеми. Аналогічний результат можна одержати і на однопроменевому осцилографі, якщо на його вхід підключити електронний комутатор, що по черзі підключає до входу осцилографа дві або чотири точки досліджуваної схеми. У залежності від частоти переключення генератором комутатору його входів на вихід (вхід осцилографа) осцилограми досліджуваних напруг на екрані зображуються штриховими або суцільними лініями. Поворотом відповідних ручок комутатора можна установити бажані масштаби кривих, а також зміщати їхнього зображення вгору та вниз від нейтралі, тобто розташовувати відповідно до вимог експерименту.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНВЕРТУЮЧОЇ ТА НЕІНВЕРТУЮЧОЇ СХЕМ ВКЛЮЧЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Мета роботи – вивчення принципу роботи, основних параметрів і характеристик операційного підсилювача (ОП), дослідження ОП як масштабного інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів.

1. Підготовка до роботи

Вивчити принцип роботи, параметри, характеристики, схеми включення і можливості застосування ІМС ОП. Згідно індивідуального завдання (табл. А.1.1 для інвертуючого підсилювача та А.1.2. для неінвертуючого підсилювача), яке розміщено у додатках, визначити значення елементів схеми інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів. Для розрахунків коефіцієнту підсилення враховувати, що у макеті застосовано: в схемі інвертуючого підсилювача опори наведені у табл. 1.1., в схемі неінвертуючого підсилювача опори наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Номінали опорів, які використовуються у схемі інвертуючого підсилювача

№	1	2	3	4
R_1 , кОм	1	2	5	10
R_2 , кОм	10	15	20	100

Таблиця 1.2 – Номінали опорів, які використовуються у схемі неінвертуючого підсилювача

№	1	2	3	4
R_1 , кОм	0,75	1	1,5	2
R_2 , кОм	1	3	10	30

2. Порядок виконання роботи

2.1. Дослідження інвертуючого підсилювача.

2.1.1. На лабораторному стенді в полі Inv Amplifier зібрати схему підси-

лювача, яку наведено на рис. 1.1, використавши розраховані значення елементів схеми (табл. 1.1).

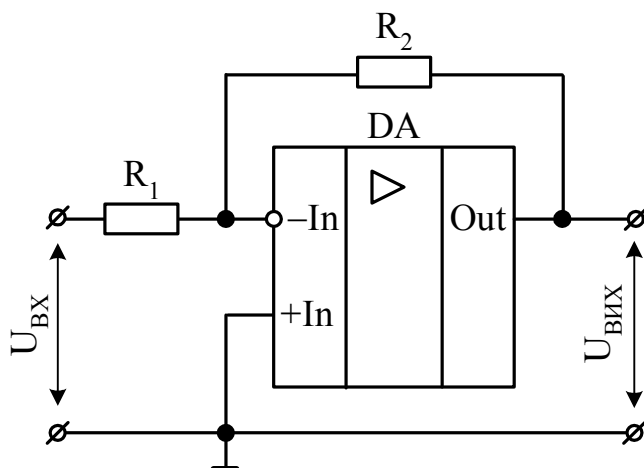


Рисунок 1.1 – Схема інвертуючого підсилювача на базі ОП

На вхід схеми підключити джерело напруги постійного струму (наприклад SOURCE V1), на вхід та вихід підсилювача підключити вольтметри, які здійснюють вимірювання за постійним струмом VOLTMETER DC1 та DC2 (наприклад, вхід DC1 – 1 канал, вихід DC2 – 2 канал).

2.1.2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ за постійним струмом. Змінюючи $U_{ВХ}$ від -9 до $+9$ В, фіксувати значення вихідної напруги підсилювача $U_{ВИХ}$ для двох випадків:

- $R_{33} = R_1$;
- $R_{33} = R_1 \parallel R_2$.

Отримані значення напруги занести до табл. 1.3, та побудувати за ними залежності $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$.

Таблиця 1.3 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики інвертуючого підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ за постійним струмом

$U_{ВХ}, В$										
$U_{ВИХ}, В$ при $R_{33} = R_1$										
$U_{ВИХ}, В$ при $R_{33} = R_1 \parallel R_2$										

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, напругу зсуву $U_{зс}$ (значення вихідної напруги $U_{ВИХ}$ при $U_{ВХ} = 0$), максимальні значення вхідної $U_{ВХ}$ та вихідної $U_{ВИХ}$ напруги, які від-

повідують ділянкам насичення та порівняти отримані значення із розрахунком.

2.1.3. Зняти та побудувати амплітудну характеристику підсилювача $\dot{U}_{ВИХ} = f(\dot{U}_{ВХ})$ за змінним струмом на частоті $f_{3Г} = 1 \text{ кГц}$. Для цього необхідно:

- підключити на вхід підсилювача генератор гармонійного сигналу SOURCE A – Amplitude (наприклад, вхід A – 1 канал);
- вибрати режим роботи за змінним струмом AC/ DC – MODE AC;
- вибрати форму вхідного сигналу – синусоїдальну (~);
- встановити частоту сигналу FREQUENCY (кнопки (+), (-)) $F=1000 \text{ Гц}$;
- на вхід та вихід підсилювача підключити вольтметри, які здійснюють вимірювання за змінним струмом VOLTMETER AC1 та AC2 (наприклад, вхід AC1 – 1 канал, вихід AC2 – 2 канал).

Змінюючи $\dot{U}_{ВХ}$ від 0 до 5 В, фіксувати значення вихідної напруги підсилювача $\dot{U}_{ВИХ}$ для двох випадків:

- $R_{33} = R_1$;
- $R_{33} = R_1 \parallel R_2$.

Отримані значення напруги занести до табл. 1.4, та побудувати за ними залежності $\dot{U}_{ВИХ} = f(\dot{U}_{ВХ})$.

Таблиця 1.4 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики інвертуючого підсилювача $\dot{U}_{ВИХ} = f(\dot{U}_{ВХ})$ за змінним струмом

$\dot{U}_{ВХ}, \text{В}$										
$\dot{U}_{ВИХ}, \text{В}$ при $R_{33} = R_1$										
$\dot{U}_{ВИХ}, \text{В}$ при $R_{33} = R_1 \parallel R_2$										

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення $\dot{K}_U$ на лінійних ділянках, максимальні значення вхідної $\dot{U}_{ВХ}$ та вихідної $\dot{U}_{ВИХ}$ напруги, які відповідають ділянкам насичення.

2.1.4. Визначити вторинні параметри інвертуючого підсилювача $K_{U_{xx}}$, $R_{ВХ}$ за постійним та змінним ($f_{3Г} = 1 \text{ кГц}$) струмом. Встановити значення вхідної напруги $U_{ВХ}$, яка відповідає лінійній ділянці амплітудної характеристики підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ за постійним та змінним струмом. Підключити на вхід підсилювача (рис. 1.2) додатковий резистор $R_Г$ номіналом 330 Ом.

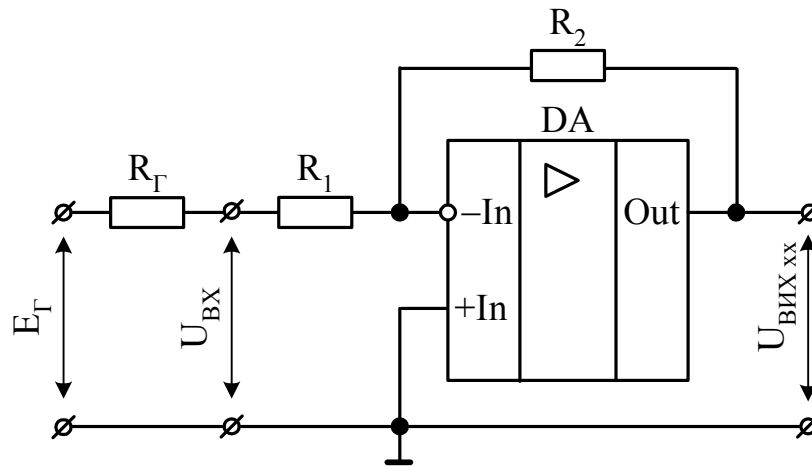


Рисунок 1.2 – Схема інвертуючого підсилювача на базі ОП для визначення вторинних параметрів

Провести вимірювання напруг E_{Γ} , U_{BX} та $U_{BIX\ xx}$, результати занести до табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати вимірювань та розрахунку вторинних параметрів інвертуючого підсилювача за постійним та змінним струмом

	E_{Γ} , В	U_{BX} , В	$U_{BIX\ xx}$, В	Експериментальне визначення		Теоретичний розрахунок	
				K_{Uxx}	R_{BX} , Ом	K_{Uxx}	R_{BX} , Ом
за постійним струмом							
за змінним струмом ($f_{зг} = 1\text{ кГц}$)							

За отриманими значеннями розрахувати вторинні параметри підсилювача за постійним та змінним струмом:

$$K_{Uxx} = \frac{U_{BIX\ xx}}{U_{BX}};$$

$$R_{BX} = \frac{U_{BX}}{I_{BX}} = \frac{U_{BX}}{\frac{E_{\Gamma} - U_{BX}}{R_{\Gamma}}} = \frac{U_{BX}}{E_{\Gamma} - U_{BX}} \cdot R_{\Gamma}.$$

Теоретично розрахувати вторинні параметри інвертуючого підсилювача $K_{U_{xx}}$, R_{BX} за постійним та змінним струмом, та провести аналіз отриманих результатів.

2.2. Дослідження інвертуючого підсилювача.

2.2.1. На лабораторному стенді в полі Non-Inv Amplifier зібрати схему підсилювача, яку наведено на рис. 1.3, використавши розраховані значення елементів схеми (табл. 1.2).

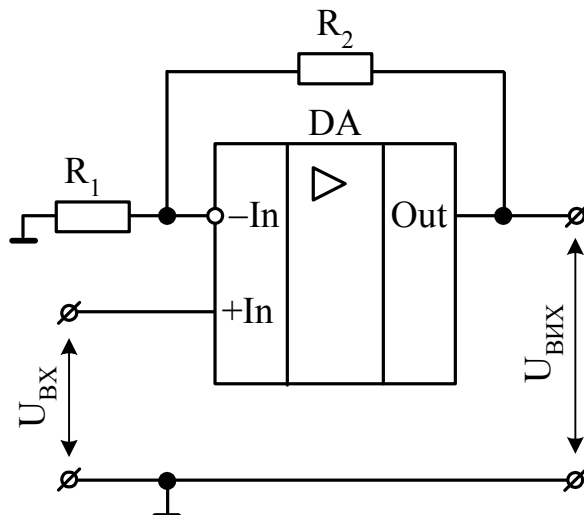


Рисунок 1.3 – Схема неінвертуючого підсилювача на базі ОП

2.2.2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику неінвертуючого підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{BX})$ за постійним струмом, аналогічно п. 2.1.2. Отримані значення напруги занести до табл. 1.6, та побудувати за ними залежності $U_{ВИХ} = f(U_{BX})$.

Таблиця 1.6 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики неінвертуючого підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{BX})$ за постійним струмом

U_{BX}, B										
$U_{ВИХ}, B$ при $R_{33} = R_1$										
$U_{ВИХ}, B$ при $R_{33} = R_1 \parallel R_2$										

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, напругу зсуву $U_{зс}$ (значення вихідної напруги $U_{ВИХ}$ при $U_{BX} = 0$), максимальні значення вхідної U_{BX} та вихідної $U_{ВИХ}$ напруги, які від-

повідують ділянкам насичення та порівняти отримані значення із розрахунком.

2.2.3. Зняти та побудувати амплітудну характеристику неінвертуючого підсилювача $\dot{U}_{ВНХ} = f(\dot{U}_{ВХ})$ за змінним струмом, аналогічно п. 2.1.3. Отримані значення напруги занести до табл. 1.7, та побудувати за ними залежності $\dot{U}_{ВНХ} = f(\dot{U}_{ВХ})$.

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, максимальні значення вхідної $\dot{U}_{ВХ}$ та вихідної $\dot{U}_{ВНХ}$ напруги, які відповідають ділянкам насичення.

Таблиця 1.7 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики неінвертуючого підсилювача $\dot{U}_{ВНХ} = f(\dot{U}_{ВХ})$ за змінним струмом

$\dot{U}_{ВХ}, B$										
$\dot{U}_{ВНХ}, B$ при $R_{33} = R_1$										
$\dot{U}_{ВНХ}, B$ при $R_{33} = R_1 \parallel R_2$										

3. Зміст звіту

3.1. Мета роботи.

3.2. Принципова схема інвертуючого підсилювача.

3.3. Результати вимірювання та побудова амплітудних характеристик інвертуючого підсилювача за постійним та змінним струмом. Визначення за характеристиками коефіцієнту підсилення за напругою, а також максимальних значень вхідної та вихідної напруги, які відповідають ділянкам насичення.

3.4. Результати вимірювань та розрахунку вторинних параметрів інвертуючого підсилювача за постійним та змінним струмом. Теоретично розраховані вторинні параметри інвертуючого підсилювача за постійним та змінним струмом, аналіз отриманих результати.

3.5. Принципова схема неінвертуючого підсилювача.

3.6. Результати вимірювання та побудова амплітудних характеристик неінвертуючого підсилювача за постійним та змінним струмом. Визначення за характеристиками коефіцієнту підсилення за напругою, а також максимальних значень вхідної та вихідної напруги, які відповідають ділянкам насичення.

3.7. Висновки за результатами виконаної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте призначення, параметри, характеристики й особливості застосування ОП.
2. Наведіть схему інвертуючого підсилювачів на базі ІМС ОП, теоретично визначте основні характеристики і параметри інвертуючого підсилювача.
3. Наведіть схему неінвертуючого підсилювачів на базі ІМС ОП, теоретично визначте основні характеристики і параметри неінвертуючого підсилювача.
4. Охарактеризуйте та наведіть схеми повторювачів напруги, що інвертують та не інвертують вхідну напругу, визначте та порівняйте між собою їх основні характеристики і параметри.
5. Наведіть амплітудно-частотну характеристику ІМС ОП й операційного підсилювача, виконаного на ІМС ОП, що має у своєму складі елементи негативного зворотного зв'язку. Порівняйте ці характеристики і зробіть висновки.
6. Як здійснюється і для чого призначена корекція частотних характеристик ІМС ОП?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНВЕРТУЮЧОГО ТА НЕІНВЕРТУЮЧОГО СУМАТОРІВ

Мета роботи – вивчення принципу роботи, основних параметрів і характеристик інвертуючого та неінвертуючого суматорів побудованих на ОП.

1. Підготовка до роботи

1.1. Вивчити принцип роботи схем суматорів, параметри, характеристики, схеми включення та можливості застосування.

1.2. Теоретично розрахувати коефіцієнт підсилення за напругою інвертуючого та неінвертуючого суматорів. Значення номіналів опорів схем наведено на рис. 2.1 та 2.2. відповідно для схеми інвертуючого та неінвертуючого суматорів.

1.3. Теоретично побудувати амплітудні характеристики інвертуючого та неінвертуючого суматорів для випадків: $-U_{ВИХ} = f(U_{ВХ1} = -2\text{ В}, U_{ВХ2})$;
 $-U_{ВИХ} = f(U_{ВХ1}, U_{ВХ2} = +3\text{ В})$.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Дослідження інвертуючого суматора.

2.1.1. На лабораторному стенді в полі Inv Summing Amplifier зібрати схему підсилювача, яку наведено на рис. 2.1.

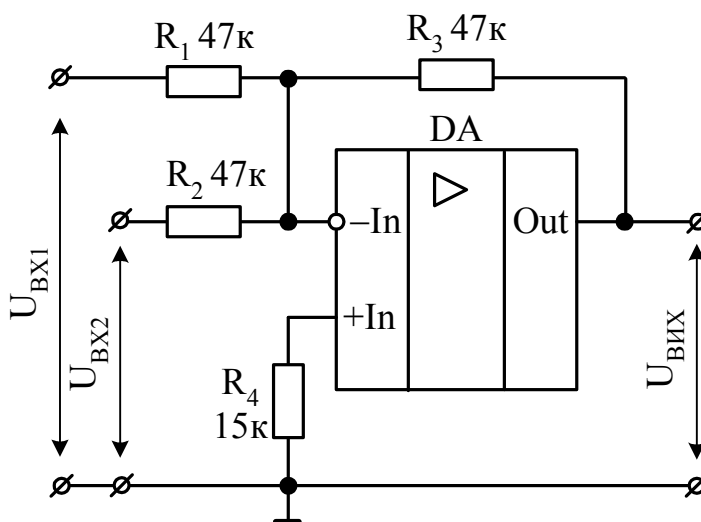


Рисунок 2.1 – Схема інвертуючого суматора на базі ОП

На перший вхід схеми інвертуючого суматора (U_{BX1}) підключити джерело напруги постійного струму (наприклад SOURCE V1), на другий вхід (U_{BX2}) – SOURCE V2. До обох входів суматора підключити вольтметри, які здійснюють вимірювання за постійним струмом VOLTMETER DC1 та DC2 (наприклад, вхід DC1 – 1 канал, вхід DC2 – 2 канал). До виходу схеми (U_{BIX}) підключити зовнішній цифровий вольтметр (наприклад, 3 канал).

2.1.2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику інвертуючого суматора за постійним струмом для двох випадків:

– $U_{BIX} = f(U_{BX1} = -2\text{ В}, U_{BX2})$, встановити значення постійної напруги першого входу $U_{BX1} = -2\text{ В}$; змінюючи U_{BX2} від -9 до $+9\text{ В}$, фіксувати значення вихідної напруги інвертуючого суматора U_{BIX} ; отримані значення напруги занести до табл. 2.1, та побудувати за ними відповідну залежність;

– $U_{BIX} = f(U_{BX1}, U_{BX2} = +3\text{ В})$, встановити значення постійної напруги другого входу $U_{BX2} = +3\text{ В}$; змінюючи U_{BX1} від -9 до $+9\text{ В}$, фіксувати значення вихідної напруги інвертуючого суматора U_{BIX} ; отримані значення напруги занести до табл. 2.2, та побудувати за ними відповідну залежність.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики інвертуючого суматора $U_{BIX} = f(U_{BX1} = -2\text{ В}, U_{BX2})$ за постійним струмом

$U_{BX1} = -2\text{ В}$												
$U_{BX2}, \text{В}$												
$U_{BIX}, \text{В}$												

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики інвертуючого суматора $U_{BIX} = f(U_{BX1}, U_{BX2} = +3\text{ В})$ за постійним струмом

$U_{BX2} = +3\text{ В}$												
$U_{BX1}, \text{В}$												
$U_{BIX}, \text{В}$												

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, напругу зсуву $U_{зс}$ (значення вихідної напруги U_{BIX} при

$U_{BX1} + U_{BX2} = 0$), максимальні значення суми вхідних $U_{BX1} + U_{BX2}$ та вихідної U_{BIX} напруги, які відповідають ділянкам насичення та порівняти отримані значення із розрахунком.

2.2. Дослідження неінвертуючого суматора.

2.2.1. На лабораторному стенді в полі Non-Inv Summing Amplifier зібрати схему підсилювача, яку наведено на рис. 2.2.

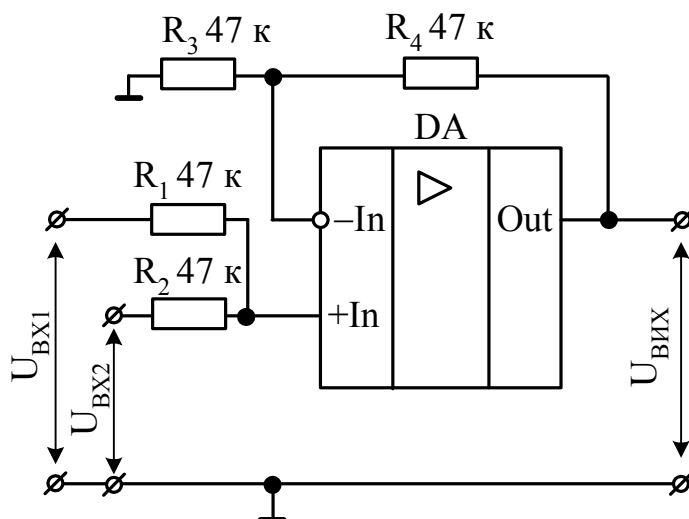


Рисунок 2.2 – Схема неінвертуючого суматора на базі ОП

На перший вхід схеми неінвертуючого суматора (U_{BX1}) підключити джерело напруги постійного струму (наприклад SOURCE V1), на другий вхід (U_{BX2}) – SOURCE V2. До обох входів суматора підключити вольтметри, які здійснюють вимірювання за постійним струмом VOLTMETER DC1 та DC2 (наприклад, вхід DC1 – 1 канал, вхід DC2 – 2 канал). До виходу схеми (U_{BIX}) підключити зовнішній цифровий вольтметр (наприклад, 3 канал).

2.2.2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику неінвертуючого суматора за постійним струмом для двох випадків:

– $U_{BIX} = f(U_{BX1} = -2 \text{ В}, U_{BX2})$, встановити значення постійної напруги першого входу $U_{BX1} = -2 \text{ В}$; змінюючи U_{BX2} від -9 до $+9 \text{ В}$, фіксувати значення вихідної напруги неінвертуючого суматора U_{BIX} ; отримані значення напруги занести до табл. 2.3, та побудувати за ними відповідну залежність;

– $U_{BIX} = f(U_{BX1}, U_{BX2} = +3 \text{ В})$, встановити значення постійної напруги другого входу $U_{BX2} = +3 \text{ В}$; змінюючи U_{BX1} від -9 до $+9 \text{ В}$, фіксувати значення вихідної напруги неінвертуючого суматора U_{BIX} ; отримані значення напруги занести до табл. 2.4, та побудувати за ними відповідну залежність.

Таблиця 2.3 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики неінвертуючого суматора $U_{ВНХ} = f(U_{ВХ1} = -2 B, U_{ВХ2})$ за постійним струмом

$U_{ВХ1} = -2 B$												
$U_{ВХ2}, B$												
$U_{ВНХ}, B$												

Таблиця 2.4 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики неінвертуючого суматора $U_{ВНХ} = f(U_{ВХ1}, U_{ВХ2} = +3 B)$ за постійним струмом

$U_{ВХ2} = +3 B$												
$U_{ВХ1}, B$												
$U_{ВНХ}, B$												

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, напругу зсуву $U_{зс}$ (значення вихідної напруги $U_{ВНХ}$ при $U_{ВХ1} + U_{ВХ2} = 0$), максимальні значення суми вхідних $U_{ВХ1} + U_{ВХ2}$ та вихідної $U_{ВНХ}$ напруги, які відповідають ділянкам насичення та порівняти отримані значення із розрахунком.

3. Зміст звіту

3.1. Мета роботи.

3.2. Принципова схема інвертуючого суматора.

3.3. Результати вимірювання та побудова амплітудних характеристик інвертуючого суматора за постійним струмом. Визначення за характеристиками коефіцієнту підсилення за напругою, а також максимальні значення суми вхідних та вихідної напруги, які відповідають ділянкам насичення.

3.4. Теоретично розраховані та побудовані амплітудні характеристики інвертуючого суматора за постійним струмом. Порівняння отриманих результатів.

3.5. Принципова схема неінвертуючого суматора.

3.6. Результати вимірювання та побудова амплітудних характеристик неінвертуючого суматора за постійним струмом. Визначення за характеристиками

коефіцієнту підсилення за напругою, а також максимальні значення суми вхідних та вихідної напруги, які відповідають ділянкам насичення.

3.7. Теоретично розраховані та побудовані амплітудні характеристики неінвертуючого суматору за постійним струмом. Порівняння отриманих результатів.

3.8. Висновки за результатами виконаної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте призначення, параметри, характеристики й особливості застосування суматорів на ОП.

2. Наведіть схему інвертуючого суматору на ОП, теоретично визначте основні характеристики та параметри інвертуючого суматору.

3. Наведіть схему неінвертуючого суматору на ОП, теоретично визначте основні характеристики та параметри неінвертуючого суматору.

4. Визначте та порівняйте між собою основні характеристики і параметри інвертуючого та неінвертуючого суматорів.

5. Встановіть значення вхідних та вихідних опорів інвертуючого та неінвертуючого суматорів, поясніть вплив на їхні величини зворотних зв'язків.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Мета роботи – вивчення принципу роботи, основних параметрів і характеристик диференційного та інструментального диференційного підсилювачів побудованих на ОП.

1. Підготовка до роботи

1.1. Вивчити принцип роботи схем диференційних підсилювачів, параметри, характеристики, схеми включення та можливості застосування.

1.2. Вибрати значення номіналів елементів схем такими як і для схеми інвертуючого підсилювача розрахованого у лабораторній роботі № 1.

1.3. Для дослідження інструментального диференційного підсилювача обрати значення опору R_2 згідно варіанту наведеному у таблиці А.2, додатків.

1.4. Для розрахунків коефіцієнту підсилення враховувати, що у макеті застосовано: в схемі диференційного підсилювача опори наведені у табл. 3.1., в схемі інструментального підсилювача опори наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Номінали опорів, які використовуються у схемі диференційного підсилювача

№	1	2	3	4
R_1, R_3 , кОм	1	2	5	10
R_2, R_4 , кОм	10	15	20	100

Таблиця 3.2 – Номінали опорів, які використовуються у схемі інструментального диференційного підсилювача

№	1	2	3	4
$R_1 = R_3$, кОм	10	–	–	–
R_2 , кОм	1	2	5	10
$R_4 = R_6 = R_5 = R_7$, кОм	10	–	–	–

2. Порядок виконання роботи

2.1. Дослідження диференційного підсилювача.

2.1.1. На лабораторному стенді в полі Difference Amplifier зібрати схему підсилювача, яку наведено на рис. 3.1.

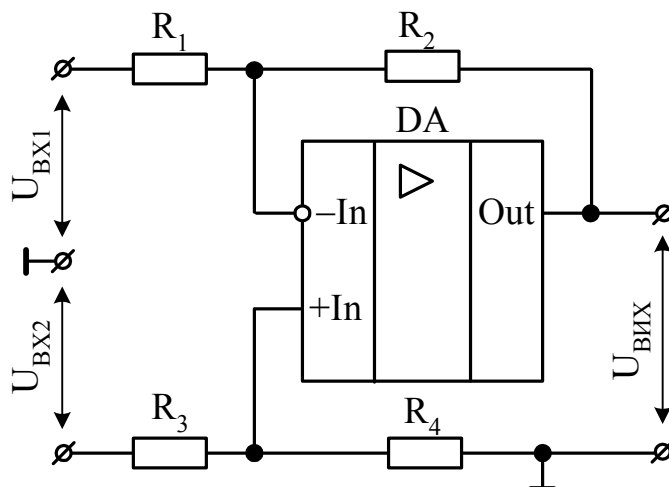


Рисунок 3.1 – Схема диференційного підсилювача на базі ОП

На інвертуючий вхід схеми диференційного підсилювача (U_{BX1}) підключити джерело напруги постійного струму (наприклад SOURCE V1), на неінвертуючий вхід (U_{BX2}) – SOURCE V2. До обох входів диференційного підсилювача підключити вольтметри, які здійснюють вимірювання за постійним струмом VOLTMETER DC1 та DC2 (наприклад, вхід DC1 – 1 канал, вхід DC2 – 2 канал). До виходу схеми ($U_{BИХ}$) підключити зовнішній цифровий вольтметр (наприклад, 3 канал).

2.1.2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику диференційного підсилювача за постійним струмом для двох випадків:

– $U_{BИХ} = f(U_{BX1} = const, U_{BX2})$, встановити значення постійної напруги інвертуючого входу $U_{BX1} = const$; змінюючи U_{BX2} від -9 до $+9$ В, фіксувати значення вихідної напруги диференційного підсилювача $U_{BИХ}$; отримані значення напруги занести до табл. 3.3, та побудувати за ними відповідну залежність;

– $U_{BИХ} = f(U_{BX1}, U_{BX2} = const)$, встановити значення постійної напруги неінвертуючого входу $U_{BX2} = const$; змінюючи U_{BX1} від -9 до $+9$ В, фіксувати значення вихідної напруги диференційного підсилювача $U_{BИХ}$; отримані значення напруги занести до табл. 3.4, та побудувати за ними відповідну залежність.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики диференційного підсилювача $U_{BHX} = f(U_{BX1} = const, U_{BX2})$

$U_{BX1} = const$												
U_{BX2}, B												
U_{BHX}, B												

Таблиця 3.4 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики диференційного підсилювача $U_{BHX} = f(U_{BX1}, U_{BX2} = const)$

$U_{BX2} = const$												
U_{BX1}, B												
U_{BHX}, B												

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, напругу зсуву U_{3C} (значення вихідної напруги U_{BHX} при $U_{BX2} - U_{BX1} = 0$), максимальні значення різниці вхідних $U_{BX2} - U_{BX1}$ та вихідної U_{BHX} напруги, які відповідають ділянкам насичення та порівняти отримані значення із розрахунком.

2.2. Дослідження інструментального диференційного підсилювача.

2.2.1. На лабораторному стенді в полі Instrumentation Amplifier зібрати схему підсилювача, яку наведено на рис. 3.2.

Підключити резистор R_2 , номінал якого вибрано згідно варіанту наведеному у таблиці А.2, додатків.

На перший вхід схеми інструментального диференційного підсилювача (U_{BX1}) підключити джерело напруги постійного струму (наприклад SOURCE V1), на другий вхід (U_{BX2}) – SOURCE V2. До обох входів інструментального диференційного підсилювача підключити вольтметри, які здійснюють вимірювання за постійним струмом VOLTMETER DC1 та DC2 (наприклад, вхід DC1 – 1 канал, вхід DC2 – 2 канал). До виходу схеми (U_{BHX}) підключити зовнішній цифровий вольтметр (наприклад, 3 канал). Вибрати згідно

2.2.2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику інструментального диференційного підсилювача за постійним струмом для двох випадків:

– $U_{BHX} = f(U_{BX1} = const, U_{BX2})$, встановити значення постійної напруги

першого входу $U_{BX1} = const$; змінюючи U_{BX2} від -9 до $+9$ В, фіксувати значення вихідної напруги інструментального диференційного підсилювача $U_{ВИХ}$; отримані значення напруги занести до табл. 3.5, та побудувати за ними відповідну залежність;

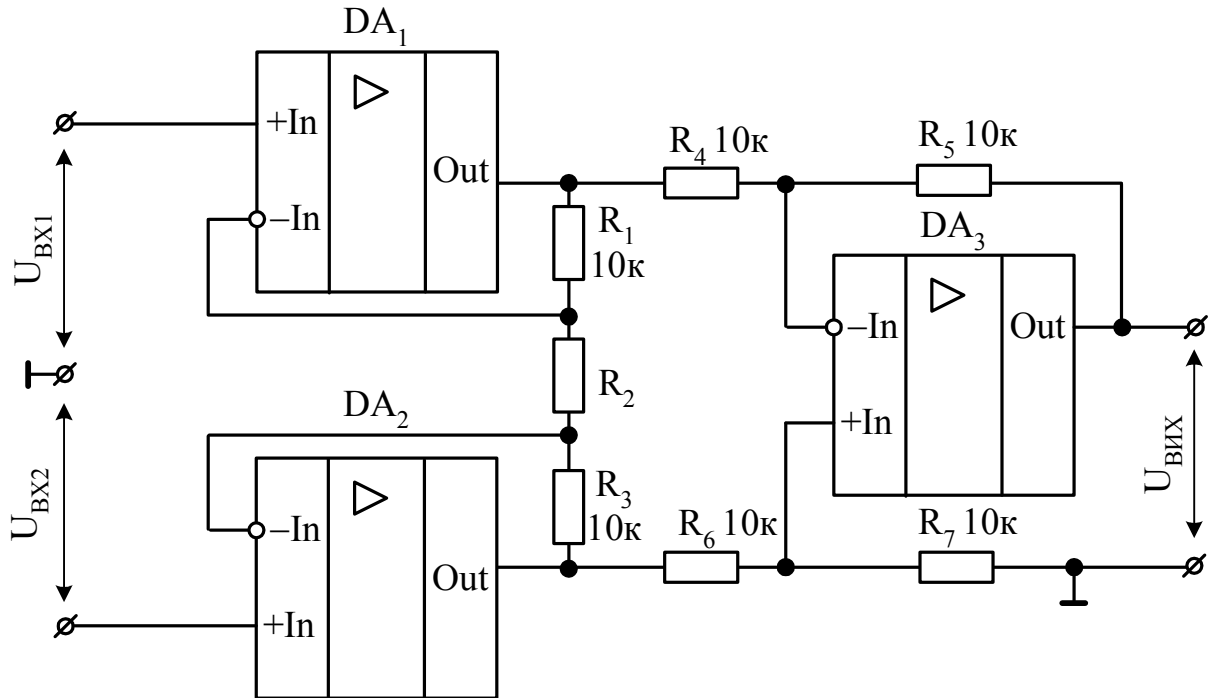


Рисунок 3.2 – Схема інструментального диференційного підсилювача на базі ОП

– $U_{ВИХ} = f(U_{BX1}, U_{BX2} = const)$, встановити значення постійної напруги другого входу $U_{BX2} = const$; змінюючи U_{BX1} від -9 до $+9$ В, фіксувати значення вихідної напруги інструментального диференційного підсилювача $U_{ВИХ}$; отримані значення напруги занести до табл. 3.6, та побудувати за ними відповідну залежність.

Таблиця 3.5 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики інструментального диференційного підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{BX1} = const, U_{BX2})$

$U_{BX1} = const$												
$U_{BX2}, \text{В}$												
$U_{ВИХ}, \text{В}$												

Таблиця 3.6 – Результати вимірювань для побудови амплітудної характеристики інструментального диференційного підсилювача
 $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ1}, U_{ВХ2} = const)$

$U_{ВХ2} = const$												
$U_{ВХ1}, B$												
$U_{ВИХ}, B$												

Визначити з амплітудних характеристик коефіцієнти підсилення K_U на лінійних ділянках, напругу зсуву $U_{зс}$ (значення вихідної напруги $U_{ВИХ}$ при $U_{ВХ2} - U_{ВХ1} = 0$), максимальні значення різниці вхідних $U_{ВХ2} - U_{ВХ1}$ та вихідної $U_{ВИХ}$ напруги, які відповідають ділянкам насичення та порівняти отримані значення із розрахунком.

3. Зміст звіту

3.1. Мета роботи.

3.2. Принципова схема диференційного підсилювача.

3.3. Результати вимірювання та побудова амплітудних характеристик диференційного підсилювача за постійним струмом. Визначення за характеристиками коефіцієнту підсилення за напругою, а також максимальні значення різниці вхідних та вихідної напруги, які відповідають ділянкам насичення.

3.4. Теоретично розраховані та побудовані амплітудні характеристики диференційного підсилювача за постійним струмом. Порівняння отриманих результатів.

3.5. Принципова схема інструментального диференційного підсилювача.

3.6. Результати вимірювання та побудова амплітудних характеристик інструментального диференційного підсилювача за постійним струмом. Визначення за характеристиками коефіцієнту підсилення за напругою, а також максимальні значення різниці вхідних та вихідної напруги, які відповідають ділянкам насичення.

3.7. Теоретично розраховані та побудовані амплітудні характеристики інструментального диференційного підсилювача за постійним струмом. Порівняння отриманих результатів.

3.8. Висновки за результатами виконаної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте призначення, параметри, характеристики й особливості застосування диференційних підсилювачів.
2. Наведіть схеми, диференційних підсилювачів, визначите їхні основні параметри і дайте порівняльну характеристику.
3. Охарактеризуйте диференційні підсилювачі із можливістю регулювання коефіцієнту підсилення одним резистором.
4. Проаналізуйте особливості застосування інструментальних диференційних підсилювачів, наведіть схемні реалізації, охарактеризуйте особливості побудови.
5. Як здійснюється регулювання коефіцієнту підсилення за напругою інструментального диференційного підсилювача?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРУЮЧОГО ТА ДИФЕРЕНЦІЮЮЧОГО ПІДСИЛЮВАЧІВ

Мета роботи – вивчення принципу роботи, основних параметрів і характеристик інтегруючого та диференціюючого підсилювачів побудованих на ОП, практичне дослідження схем.

1. Підготовка до роботи

Вивчити принцип роботи інтеграторів та диференціаторів, можливості застосування. Проаналізувати залежності форми вихідного сигналу від вхідного сигналу. Визначити вигляд вихідного сигналу при синусоїдальній, прямокутній та трикутній формах вхідних сигналів. Згідно індивідуального завдання (табл. А.3.1 для інтегратора і табл. А.3.2 для диференціатора) розміщеного у додатках, визначити значення елементів схеми інтегратору та диференціатору. Для розрахунків враховувати, що у макеті застосовано: в схемі інтегратору опори та ємності наведені в табл. 4.1., в схемі диференціатору опори на ємності наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Номінали опорів та ємностей, які використовуються у схемі інтегратору

№	1	2	3	4
C , нФ	91	220	470	1000
R , кОм	10	20	50	100

Таблиця 4.2 – Номінали опорів та ємностей, які використовуються у схемі інтегратору

№	1	2	3	4
C , нФ	3,9	6,8	10	15
R , кОм	10	20	50	100

2. Порядок виконання роботи

2.1. Дослідження схеми інтегратору.

2.1.1. На лабораторному стенді в полі Integrator зібрати схему інтегра-

тору, яку наведено на рис. 4.1.

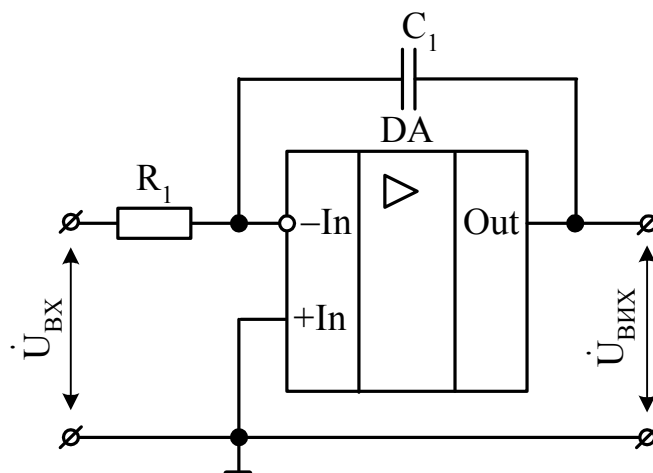


Рисунок 4.1 – Схема інтегратору на базі ОП

2.1.2. Подати на вхід схеми інтегратору гармонійний сигнал. Амплітуда вхідного сигналу вибирається із умови: $|U_{BX}| \gg |U_{ВИХ}|$, наприклад $U_{BX} = (3...4) В$. Частота гармонійного сигналу визначається із постійної часу інтегрування, номінали R_1 та C_1 вибираються згідно індивідуального завдання. Визначити форму вихідного сигналу. Переконалися, що вихідна напруга дорівнює інтегралу від вхідної напруги. Зарисувати осцилограми вхідного на вихідного сигналу. Визначити експериментально постійну часу інтегрування.

2.1.3. Повторити дослідження схеми згідно п. 2.1.2 для прямокутної та пилоподібної форми вхідного сигналу.

2.2. Дослідження схеми диференціатору.

2.2.1. На лабораторному стенді в полі Differentiator зібрати схему диференціатору, яку наведено на рис. 4.2.

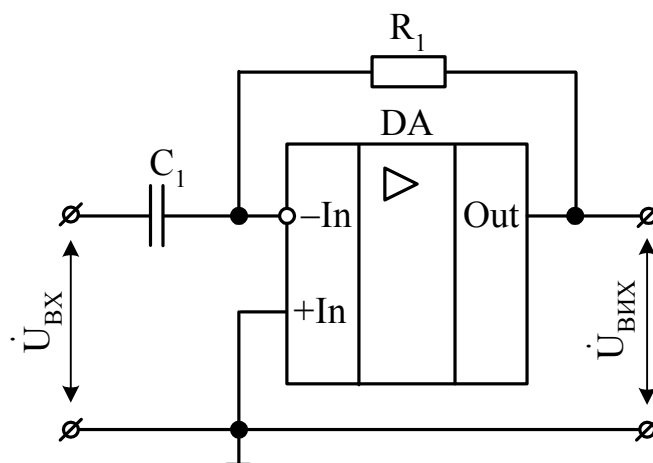


Рисунок 4.2 – Схема диференціатору на базі ОП

2.2.2. Подати на вхід схеми диференціатору гармонійний сигнал. Амплітуда вхідного сигналу вибирається із умови: $\frac{du_{BX}}{dt} \gg \frac{du_{BHX}}{dt}$, наприклад $U_{BX} = (0,5..1) B$. Частота гармонійного сигналу визначається із постійної часу диференціювання, номінали R_1 та C_1 вибираються згідно індивідуального завдання. Визначити форму вихідного сигналу. Переконатися, що вихідна напруга дорівнює похідної від вхідної напруги. Зарисувати осцилограми вхідного та вихідного сигналу. Визначити експериментально постійну часу диференціювання.

2.2.3. Повторити дослідження схеми згідно п. 2.2.2 для прямокутної та пилоподібної форми вхідного сигналу.

3. Зміст звіту

3.1. Мета роботи.

3.2. Принципова схема інтегратору.

3.3. Осцилограми вхідної та вихідної напруги схеми інтегратору. Теоретично розраховані та побудовані графіки вхідної та вихідної напруги інтегратору. Експериментальне визначення за параметрами вхідних та вихідних сигналів постійної часу інтегрування, теоретично розрахована постійна часу інтегрування. Порівняння отриманих результатів.

3.4. Принципова схема диференціатору.

3.5. Осцилограми вхідної та вихідної напруги схеми диференціатору. Теоретично розраховані та побудовані графіки вхідної та вихідної напруги диференціатору. Експериментальне визначення за параметрами вхідних та вихідних сигналів постійної часу диференціювання, теоретично розрахована постійна часу диференціювання. Порівняння отриманих результатів.

3.6. Висновки за результатами виконаної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте призначення, параметри, характеристики й особливості застосування інтеграторів та диференціаторів.

2. Наведіть схеми інтеграторів, визначте їх основні параметри та дайте порівняльну характеристику.

3. Наведіть схеми диференціаторів, визначте їх основні параметри та дай-

те порівняльну характеристику.

4. Проаналізуйте особливості побудови диференційних інтеграторів та диференціаторів.

5. Проведіть порівняння особливостей побудови схем інтеграторів та диференціаторів.

6. У чому полягає особливість застосування неінвертуючого диференціатора?

ДОДАТОК А – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторних робіт

Таблиця А.1.1 – Для інвертуючого підсилювача

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт підсилення, K_U	10,0	7,50	4,00	10,0	15,0	6,00	16,5	10,5	12,0	5,0
Опір, R_1 , кОм	1,00	2,00	5,00	10,0	0,67	0,83	0,91	1,43	1,67	3,33

Таблиця А.1.2 – Для неінвертуючого підсилювача

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт підсилення, K_U	4,08	2,00	3,00	6,00	6,37	7,00	2,36	4,85	5,07	12,6
Опір, R_1 , кОм	0,75	1,00	1,50	2,00	0,43	0,50	0,55	0,60	0,67	0,86

Таблиця А.2 – Для інструментального диференційного підсилювача

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт підсилення, K_U	3	5	11	7	13	15	21	25	23	31

Таблиця А.3.1 – Для схеми інтегратору

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опір, R_1 , кОм	10	10	20	20	50	50	50	100	100	100
Ємність, C_1 , нФ	91	220	91	220	91	220	470	91	220	470

Таблиця А.3.2 – Для схеми диференціатору

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опір, R_1 , кОм	10	10	20	20	50	50	50	100	100	100
Ємність, C_1 , нФ	3,9	6,8	3,9	6,8	3,9	6,8	10	3,9	6,8	10