

**Міністерство освіти і науки України**  
**Запорізький національний університет**  
**Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потєбні**

**Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного**  
**забезпечення**

## **Лабораторна робота №6**

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

### **Дослідження основних схем включення операційних підсилювачів**

Студента (ки) 2 курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

м. Запоріжжя – 2024 рік

Мета роботи: побудова основних схем включення і вивчення характеристик інтегрального операційного підсилювача (ОП).

### 6.1 Короткі теоретичні відомості

Удосконалення мікроелектронної апаратури ґрунтується на безперервному поліпшенні параметрів цифрових і аналогових мікросхем. Сучасні аналогові мікросхеми мають порівняно складну схемотехніку, засновану на досягненнях напівпровідникової технології. Проте, як показує досвід, розробнику і користувачу мікроелектронної апаратури не обов'язково знати всі тонкощі схемотехніки.

У електронній апаратурі широке вживання знаходить інтегральна мікросхема (ІМС) операційного підсилювача. Узагальнена схема ОП показана на рисунку 6.1.

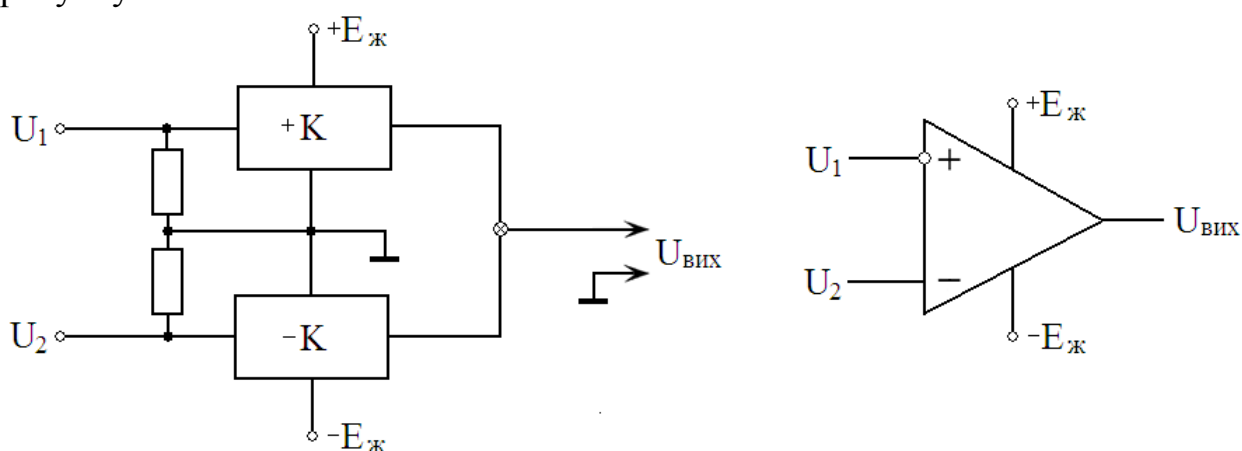


Рисунок 6.1. Узагальнена схема та умовне графічне позначення ОП

ОП виконаний у вигляді двоканальної схеми, кожен канал має коефіцієнт посилення  $K$  більше, ніж декілька тисяч. Схема ОП підключається до джерела живлення з середньою нульовою точкою. Сигнали обох каналів підсумовуються з протилежними знаками і поступають на один загальний вихід. Канал, який має негативний коефіцієнт посилення, змінює знак вхідного сигналу  $U_1$  на протилежний і називається інвертуючим каналом. Вихідна напруга ОП складає:

$$U_{\text{ВИХ}} = K \cdot U_2 - K \cdot U_1 = K \cdot (U_2 - U_1) \quad (6.1)$$

ОП підключається до джерела живлення з середньою або нульовою крапкою. Важливими характеристиками ОП є амплітудна і частотна характеристики (рис. 6.2).

Залежність  $U_{\text{ВИХ}}$  від вхідної напруги  $U_{\text{ВХ}}$  або амплітудна характеристика інвертуючого каналу має номер 1, а не інвертуючого – 2.

Максимальна вихідна напруга  $U_{\text{ВИХ м}} < E$  і максимальна вхідна напруга  $U_{\text{ВХ м}}$  пов'язані з коефіцієнтом посилення:

$$U_{\text{ВХ м}} = \frac{U_{\text{ВИХ м}}}{K}; \quad U_{\text{ВИХ м}} \cong 0,9E_{\text{ж}} \quad (6.2)$$

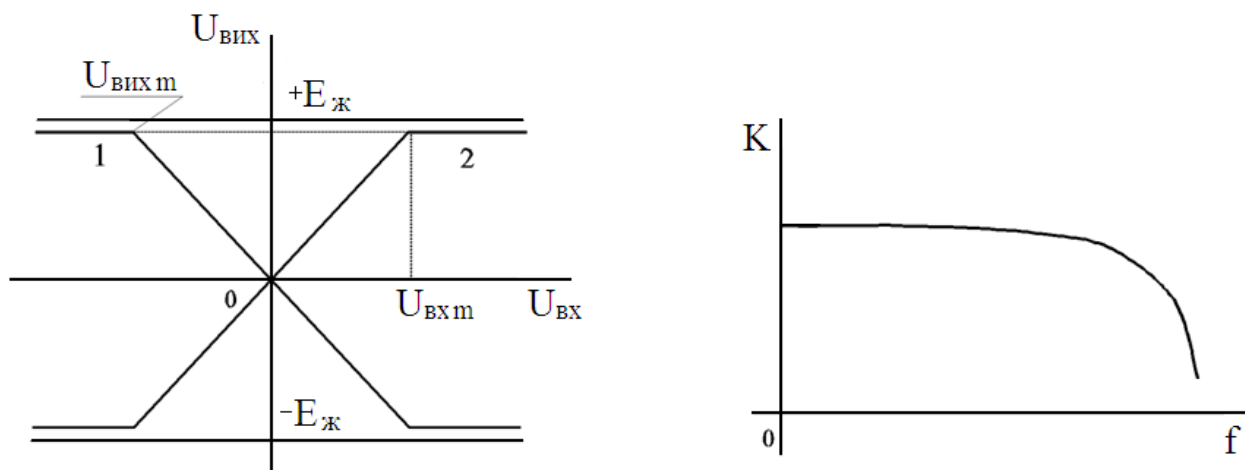


Рисунок 6.2 – Амплітудна і частотна характеристики ОП

При великих  $K$  величина  $U_{\text{вих м}}$  досить мала.

Розглянемо залежність коефіцієнта посилення від частоти  $f$  сигналу ОП. Її важливою особливістю є велике посилення на нульовій частоті, тобто на постійному струмі. Це досягається тим, що в схемі ОП відсутні розділові конденсатори. Таким чином ОП є підсилювачем постійного струму (ППС).

ОП використовується для побудови суматорів, інтеграторів, схем диференціювання і виконання інших операцій. У одному корпусі сучасними ІМС можуть бути виготовлено декілька ОП. Вони забезпечуються додатковими виводами для підключення зовнішніх пристроїв і конденсаторів фільтрів.

Зазвичай ОП включається в схему з резисторами негативного зворотного зв'язку  $R1R2$  і дільником  $R3R4$  по неінвертуючому входу (рис. 6.3).

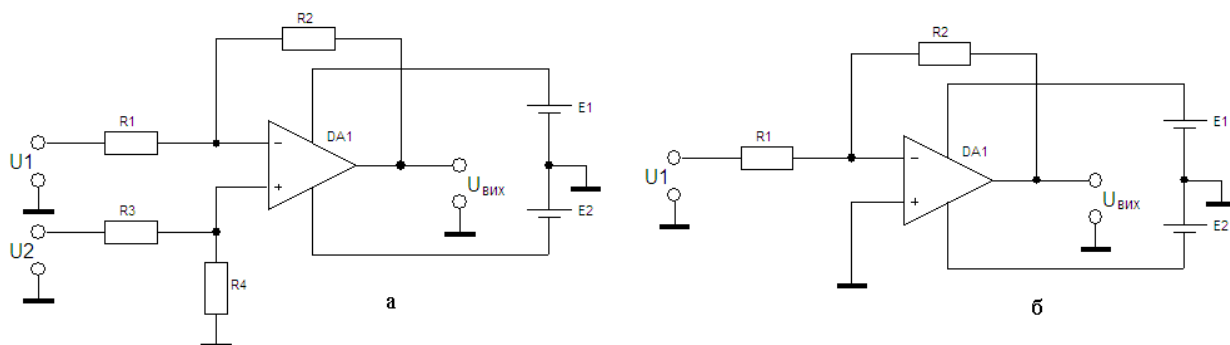


Рисунок 6.3 - Схема диференціального (а) і одноканального (б) включення ОП

Для схеми (а) вихідна напруга знаходиться по формулі:

$$U_{\text{вих}} = U_2 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (6.3)$$

Якщо вибрати опори так, щоб було справедливе співвідношення:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} \quad (6.4)$$

то формула (6.3) приводиться до вигляду:

$$U_{\text{вих}} = U_2 - U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (6.5)$$

Якщо необхідний одноканальний підсилювач, можна задати  $U_2 = 0$ , що виконано в схемі (б). При цьому з формули (6.5) виходить:

$$U_{\text{вих}} = -U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (6.6)$$

Таким чином, коефіцієнт посилення схеми визначається співвідношенням опорів  $R_1$  і  $R_2$ . Для звуження смуги пропускання можна паралельно резистору  $R_2$  підключити конденсатор  $C_1$ .

При аналізі роботи електронних схем представляє інтерес коефіцієнт  $\xi$  – використання напруги живлення:

$$\xi = \frac{R_{\text{вих.м}}}{E} \leq 1 \quad (6.7)$$

Якщо він дуже малий, то схема побудована нераціонально і діапазон зміни вихідної напруги схеми значно менше значення напруги живлення.

## 6.2 Описання віртуального стенду EWB

1. Побудувати лабораторний стенд для моделювання характеристик ОП на постійному струмі в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 6.4).

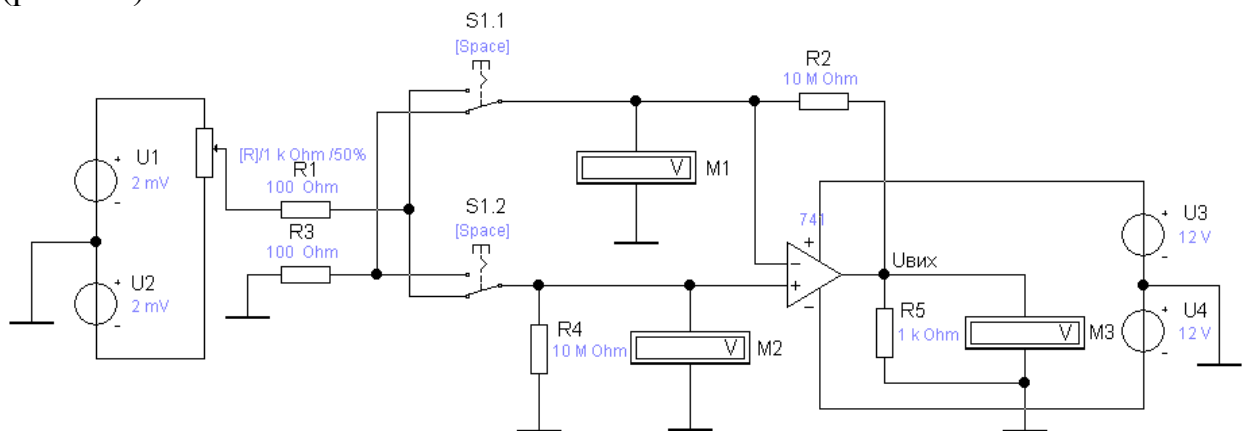


Рисунок 6.4 - Схема моделювання характеристик ОП на постійному струмі

Тут вузол джерел  $V_1$   $V_2$  і потенціометра  $R_6$  дозволяє отримати симетрично регульовану відносно нуля вхідну напругу. Регулювання потенціометра виконується клавішею «R» на збільшення і клавішею «SHIFT+R» на зменшення величини опору.

Перемикач  $S_1$  дозволяє підключити цю напругу на один з входів ОП, а інший вхід ОП з'єднується із загальним дротом. Управління перемикачем виконується натисненням клавіші «Space». Вхідна напруга вимірюється вольтметрами  $M_1$  і  $M_2$ . Напруга на навантаженні  $R_5$  вимірюється вольтметром  $M_3$ .

2. Побудувати лабораторний стенд для моделювання характеристик ОП з джерелами вхідної змінної напруги в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 6.4).

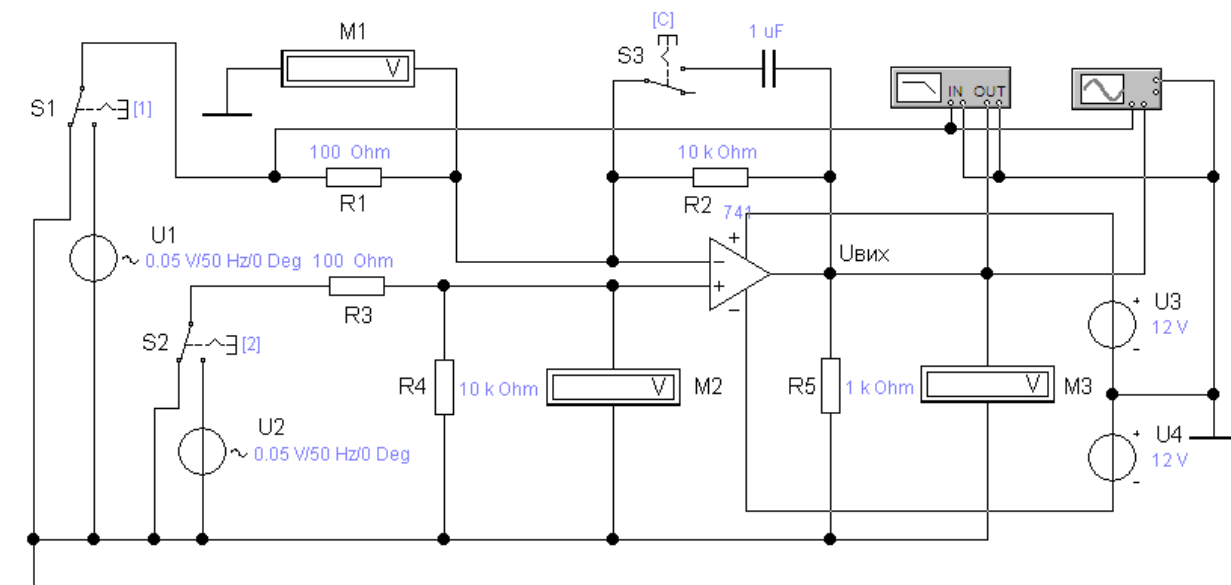


Рисунок 6.5 - Схема моделювання характеристик ОП з джерелами вхідної змінної напруги

ОП має коло негативного зворотного зв'язку на резисторах R1, R2. Джерела вхідної напруги V1, V2 підключаються перемикачами S1 і S2, управляються клавішами «1» і «2». Конденсатор C1 підключається перемикачем S3 клавішею «С». Вхідна і вихідна напруги вимірюються за допомогою вольтметрів M1, M2 і M3. Для спостереження сигналів на вході і виході схеми передбачається двоканальний осцилограф. Крім того, є вимірник частотних характеристик.

### 6.3 Порядок виконання роботи

1. Завантажити лабораторний стенд по рисунку 6.4. Задати  $R1 = R3 = 0,1\text{кОм}$ ,  $R2 = R4 = 10\text{МОм}$ ,  $E1 = E2 = 12\text{ В}$ . При цьому посилення визначається не зворотним зв'язком, а ОП. Вибрати будь-якого типу ОП. Виконати нумерацію вузлів схеми.

2. Аналіз амплітудної характеристики ОП виконати в режимі DC шляхом зміни вхідної напруги  $U1$  і  $U2$  і виміру  $U_{\text{вих}}$ . По інверсному входу змінювати  $U1$  в межах  $-10 \cdot 10^{-5} \dots +10 \cdot 10^{-5}\text{ В}$ . Вимірювати вихідну напругу  $U_{\text{вих}}$ . Результати занести в таблицю 6.1, напруга по іншому входу  $U2 = 0$ .

Таблиця 6.1 – Зміна вихідної напруги ОП

$U_{\text{вх}} \cdot 10^{-5}, \text{ В}$	-10	-5	-3	0	3	10	Примітка
$U_{\text{вих}}, \text{ В}$							$U_2 = 0$
$U_{\text{вих}}, \text{ В}$							$U_1 = 0$

3. Амплітудна характеристика по неінвертуючому входу моделюється в режимі DC, аналогічно пункту 2. Напругу  $U_1$  ввести рівним нулю ( $U_1 = 0$ ). Продовжити заповнення таблиці 8.1.

4. Досліджувати режим посилення синусоїдальних сигналів по різних входах ОП. Встановити нові значення резисторів  $R_2 = R_4 = 10$  кОм і задати вхідну напругу  $U_1$  і  $U_2$  у вигляді двох джерел синусоїдального сигналу:

$$U_1 = U_2 = U_{m. \text{вх}} \cdot \sin \omega \cdot t$$

з амплітудою 0,05 В і частотою  $f = 100$  Гц.

Виконати моделювання в режимі аналізу перехідних процесів і спостерігати осцилограми вихідного сигналу, виміряти його амплітуду  $U_{m. \text{вих}}$ . Проконтролювати переключення фази.

При моделюванні розглянути три випадки:

- діє лише один джерело  $U_1$ ; при  $U_2 = 0$ ;
- діє лише джерело  $U_2$ ; при  $U_1 = 0$ ;
- діють обоє джерела.

5. Завантажити лабораторний стенд по рисунку 6.5. Значення параметрів  $R_1, R_2, U_1, U_2$  зберегти. Перейти в режим аналізу на змінному струмі AC. Отримати частотну характеристику ОП при цьому частоту змінювати в межах 1 Гц ... 15 МГц. Результати зафіксувати у таблиці 6.2. Представити характеристику отриману на Bode Plotter.

Таблиця 6.2 – Параметри для розрахунку частотної характеристики

f, Гц	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$
$U_{\text{вх}}, \text{В}$									
$U_{\text{вих}}, \text{В}$									

6. У схемі ОП (рис. 6.5) паралельно резистору  $R_2$  включити конденсатор  $C = 1$  мкФ. Повторити вимір частотної характеристики.

#### 6.4 Зміст звіту

1. Схеми операційного підсилювача.
2. Вигляд амплітудних характеристик по таблиці 6.1.
3. Розрахунок коефіцієнта використання батареї живлення по формулі (6.7).
4. Розрахунок коефіцієнтів посилення по формулах (6.5), (6.6) для випадків моделювання дії синусоїдальних сигналів.
5. Вигляд частотної характеристики по таблиці 6.2 і Bode Plotter.
6. Висновки.

#### 6.5 Контрольні питання

1. Інтегральні мікросхеми ОП і їх використання.
2. Нестабільність і балансування ОП.

3. Використання ОП на постійному струмі.
4. Використання ОП в колах змінного струму.
5. Диференціальна схема включення ОП і її переваги.