

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 №7

з дисципліни Аналогова та оптикоелектроніка

Дослідження типових схем на операційних підсилювачах

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: отримання навичок експериментального дослідження типових схем на операційних перетворювачах та визначення основних параметрів таких схем.

7.1 Короткі теоретичні відомості

Операційні підсилювачі займають особливе місце серед аналогових інтегральних мікросхем, призначених для посилення, перетворення і обробки сигналів, які змінюються за законом неперервної функції. Операційні підсилювачі є найбільш універсальним багатофункціональним базовим елементом для побудови багатьох вузлів, які використовуються не тільки для лінійного перетворення, посилення і обробки сигналів, а й для нелінійного перетворення.

Під час аналізу схем на ОП зазвичай приймають такі припущення (при $R_{\text{вхОП}} \rightarrow \infty$ та $K_U \rightarrow \infty$):

- входи ОП не споживають струму;
- напруга між входами ОП дорівнює нулю.

Розглянемо найбільш поширені типові схеми на ОП.

Інвертуючий підсилювач (рис. 7.1) являє собою ОП, охоплений колом паралельного негативного зворотного зв'язку за напругою на резисторах $R1$, $R2$. Вхідний сигнал поданий на інвертуючий вхід. Неінвертуючий вхід заземлений.

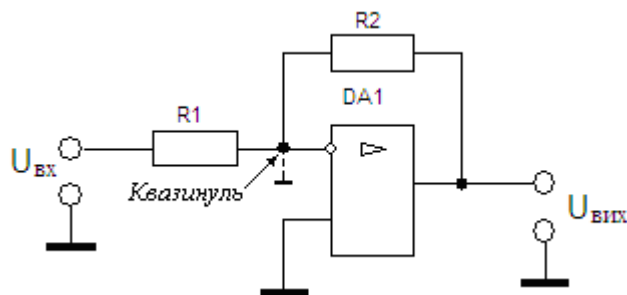


Рисунок 7.1 – Схема інвертуючого підсилювача

Оскільки неінвертуючий вхід ОП заземлений та різниця напруг між входами

$$\Delta U = \frac{U_{\text{вих}}}{K_U}$$

дуже мала, то інвертуючий вхід теж має нульовий потенціал до землі. Тому:

$$I_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{R1}. \quad (7.1)$$

Оскільки входи ідеального ОП не споживають струму, то:

$$I_{\text{зз}} = I_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{R1}. \quad (7.2)$$

Вихідну напругу, тобто напругу на вихідному виводі до загальної шини, можна знайти як падіння напруги від струму $I_{\text{зз}}$ на резисторі $R2$, тобто:

$$U_{вих} = -I_{зз} R2 = U_{вх} \frac{R2}{R1}. \quad (7.3)$$

Звідси коефіцієнт посилення інвертуючого підсилювача

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = -\frac{R2}{R1}. \quad (7.4)$$

За заданої ЕРС джерела сигналу E_2 з внутрішнім опором $R_2 \neq 0$ формула (7.4) матиме вигляд:

$$K_U = \frac{U_{вих}}{E_2} = -\frac{R2}{R1 + R_2}. \quad (7.4)$$

Вхідний опір неінвертуючого підсилювача з ідеальним ОП визначається опором резистора $R1$, $R_{вх} = R1$. Вихідний опір $R_{вих} \approx 0$.

Неінвертуючий підсилювач (рис. 7.2) являє собою ОП, охоплений колом послідовного негативного зворотного зв'язку за напругою на резисторах $R1$, $R2$.

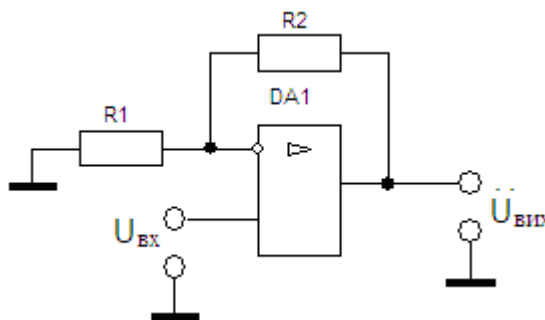


Рисунок 7.2 – Схема неінвертуючого підсилювача

Вхідний сигнал поданий на неінвертуючий вхід. Вираз для коефіцієнта посилення цієї схеми можна отримати, використовуючи умову рівності напруг на входах ОП і вважаючи ОП ідеальним, тоді:

$$U_{вх} = \frac{U_{вих} R1}{R1 + R2}. \quad (7.5)$$

Звідси коефіцієнт підсилення схеми:

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R2}{R1} = 1 + |K_U| \quad (7.6)$$

Наявність внутрішнього опору джерела сигналу не впливає на значення коефіцієнта підсилення схеми, оскільки вхідні струми ОП дорівнюють нулю.

Для реальних ОП опори у вхідних колах роблять рівними для зменшення струмової складової похибки.

Унаслідок наявності у схемі неінвертуючого підсилювача послідовного негативного зворотного зв'язку за напругою, його вхідний опір зростає в n разів.

Інвертуючий суматор (рис. 7.3) призначений для формування напруги, рівної посиленій алгебраїчній сумі декількох вхідних сигналів, тобто він ви-

конує математичну операцію складання кількох сигналів. При цьому вихідний сигнал додатково інвертується.

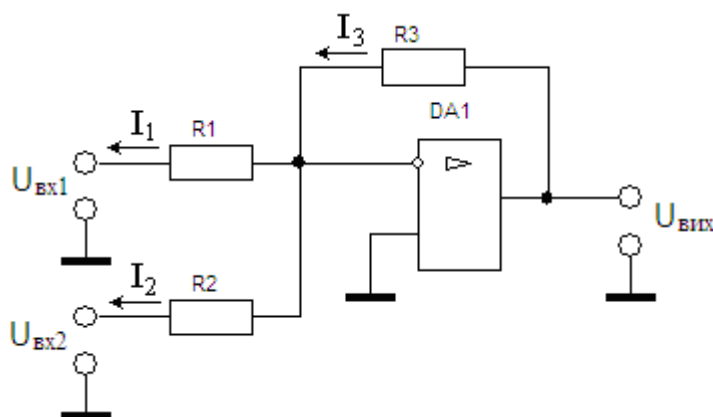


Рисунок 7.3 – Схема інвертуючого суматора

Як результат, сигнал на виході суматора можна розрахувати відповідно до виразу:

$$U_{вих} = -\frac{U_{вх1} R_{33}}{R1} - \frac{U_{вх2} R_{33}}{R2} - \dots - \frac{U_{вхn} R_{33}}{Rn} \quad (7.7)$$

Якщо в колі негативного зворотного зв'язку схеми інвертуючого підсилювача резистор замінити конденсатором, то отримана схема буде інтегрувати вхідні сигнали (рис. 7.4).

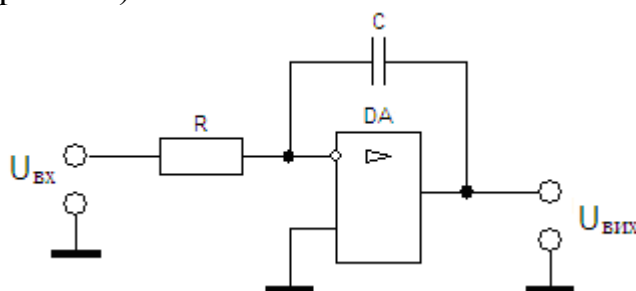


Рисунок 7.3 – Схема інтегратора

У цьому випадку будемо мати:

$$\begin{cases} U_{вих}(t) = U_c(t) = \frac{1}{C} \int I(t) dt; \\ I(t) = -\frac{U_{вх}(t)}{R}. \end{cases} \quad (7.8)$$

Підставляючи вираз для струму під знак інтеграла, одержимо остаточно:

$$U_{вих}(t) = U_c(t) = -\frac{1}{T_i} \int U_{вх}(t) dt, \quad (7.9)$$

де $T_i = R1C1$ - час інтегрування, тобто час, за який вихідна напруга досягає рівня вхідної під час подачі на вхід сходинок напруги.

Вихідна напруга пропорційна інтегралу від вхідної напруги з протилежним знаком. У реальних схемах інтеграторів у коло зворотного зв'язку включається резистор для того, щоб конденсатор не накопичував заряду завдяки паразитним струмам, що призвело б до зсуву нуля.

На рисунку 7.5, а показана спрощена схема диференціатора. Його робота визначається такими виразами:

$$\begin{cases} U_{\text{вих}}(t) = I(t)R; \\ I(t) = -C \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt}. \end{cases} \quad (7.10)$$

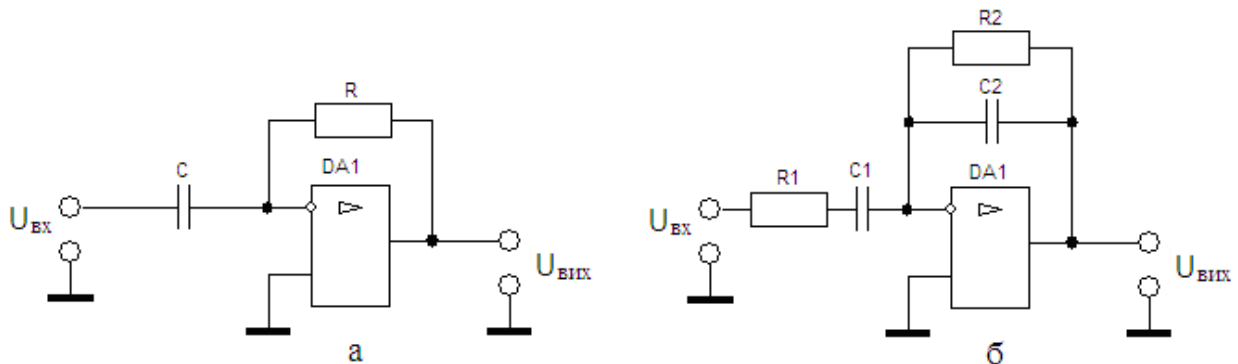


Рисунок 7.3 – Спрощена (а) і реальна (б) схеми диференціатора

Підставляючи вираз для струму в напругу, отримуємо:

$$U_{\text{вих}}(t) = -T \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt}, \quad (7.11)$$

де $T = RC$ – постійна часу.

Спрощена схема диференціатора нестійка, тобто схильна до генерації коливань, тому на практиці її доповнюють резистором $R1$ у вхідному колі, а іноді й конденсатором $C2$ у колі зворотного зв'язку (рис. 7.5 б). Ці елементи «завалюють» амплітудно-частотну характеристику диференціатора в області високих частот, забезпечуючи стійку роботу схеми.

Необхідно відзначити, що властивість диференціювання вхідних сигналів забезпечується реальною схемою тільки в області низьких частот.

7.2 Опис віртуального стенду EWB

Побудувати лабораторні стенди для дослідження типових схем на операційних підсилювачах в програмному забезпеченні Electronics Workbench: інвертуючого підсилювача (рис. 7.6); неінвертуючого підсилювача (рис. 7.7); суматора (рис. 7.8); інтегратора (рис. 7.9); диференціатора (рис. 7.10). Для експерименту обрати мікросхему операційного підсилювача LM741. Номінали елементів використати рекомендовані. Здійснити калібровку осцилографа.

Time base	Channel A	Channel B
0.50ms/div	100 mV/Div	5 V/Div
X position 0.00	Y position 2.20	Y position -1.20

7.3 Порядок виконання роботи

1. Використати стенд з схемою інвертуючого підсилювача (рис. 7.6).

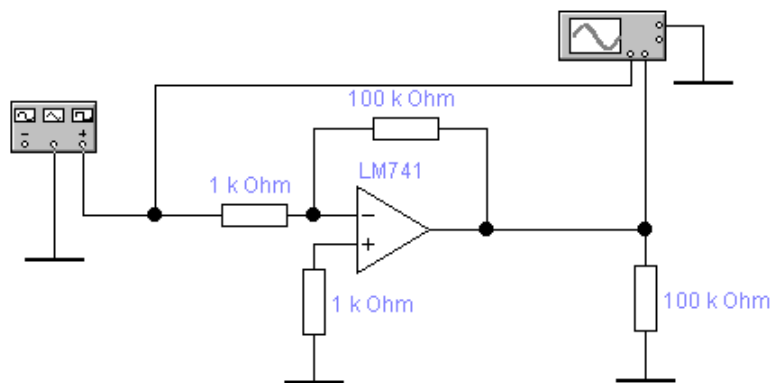


Рисунок 7.6 - Схема інвертуючого підсилювача

1.1 Подати на вхід сигнал частотою $F = 1$ кГц, амплітудою $U_{ВХ} = 100$ мВ. Отримати осцилограми вхідного та вихідного сигналів. Розрахувати коефіцієнт підсилення.

1.2 Зняти амплітудну характеристику підсилювача $U_{ВИХ} = f(U_{ВХ})$ при $F = 1$ кГц. Результати занести до таблиці 3.1.

Таблиця 7.1 - Експериментальні дані

$U_{ВХ}$	1 мВ	10 мВ	50 мВ	100 мВ	200 мВ	300 мВ	500 мВ	1 В
$U_{ВИХ}$								

1.3 Побудувати графік амплітудної характеристики.

1.4 Зняти амплітудно-частотну характеристику підсилювача $U_{ВИХ} = f(F)$ при $U_{ВХ} = 20$ мВ. Результати занести до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Експериментальні дані

F	10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	100 МГц
$U_{ВИХ}$								

1.5 Побудувати графік амплітудно-частотної характеристики.

2. Використати стенд з схемою неінвертуючого підсилювача (рис. 7.7).

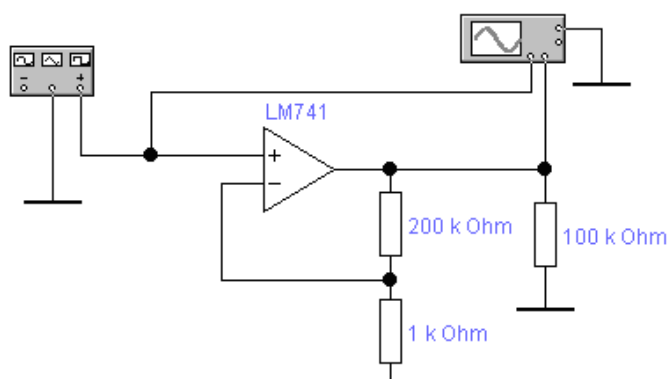


Рисунок 7.7 - Схема неінвертуючого підсилювача

2.1 Повторити пункти 1.1-1.5.

3. Використати стенд з схемою суматора на операційному підсилювачі (рис. 7.8).

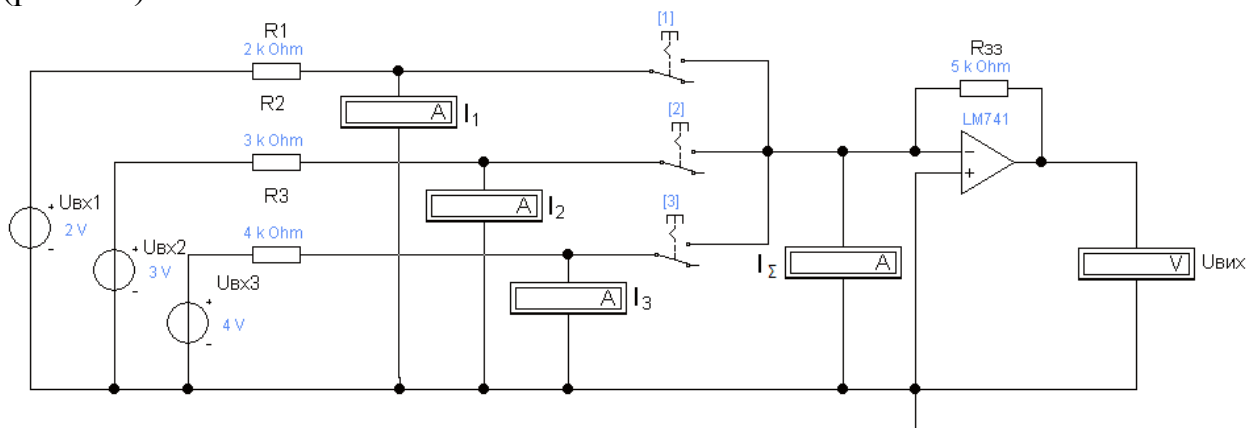


Рисунок 7.8 - - Схема суматора на операційному підсилювачі

3.1 Як вихідні дані взяти такі параметри: $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 3 \text{ кОм}$, $R3 = 4 \text{ кОм}$, $R33 = 5 \text{ кОм}$, $U_{\text{BX1}} = 2\text{В}$, $U_{\text{BX2}} = 3\text{В}$, $U_{\text{BX3}} = 4\text{В}$.

3.2 Провести варіанти сумування вхідних сигналів, підключаючи вхідні джерела U_{BX1} , U_{BX2} , U_{BX3} за допомогою перемикачів (1), (2) і (3). Результати виміру I_1 , I_2 , I_3 , I_{Σ} і $U_{\text{ВИХ}}$ занести в таблицю 7.3.

Таблиця 7.3 - Експериментальні дані

U_{BX1}	U_{BX2}	U_{BX3}	I_1	I_2	I_3	I_{Σ}	$U_{\text{ВИХ}}$
-	-	-					
(1)	-	-					
(1)	(2)	-					
(1)	(2)	(3)					
(1)	-	(3)					
-	(2)	(3)					
-	-	(3)					

3.3 Порівняти вихідну напругу інвертуючого суматора напруги, отриману в результаті експерименту, з вихідною напругою, отриманою в результаті розрахунку за формулою (7.7).

4. Використати стенд з схемою інтегратора на операційному підсилювачі (рис. 7.9).

4.1 Подати на вхід сигнал з генератора частотою 1 КГц, амплітудою 1В. Отримати осцилограми вихідних напруг за синусоїдної, пілкоподібної та прямокутної вхідної напруги. Під час подачі прямокутної напруги вихідні осцилограми отримати з додатковими конденсаторами: 0,1 мкФ, 0,001 мкФ.

4.2 Зняти амплітудно-частотну характеристику підсилювача $U_{\text{ВИХ}} = f(F)$ при $U_{\text{ВХ}} = 1\text{В}$. Результати занести до таблиці 7.7.

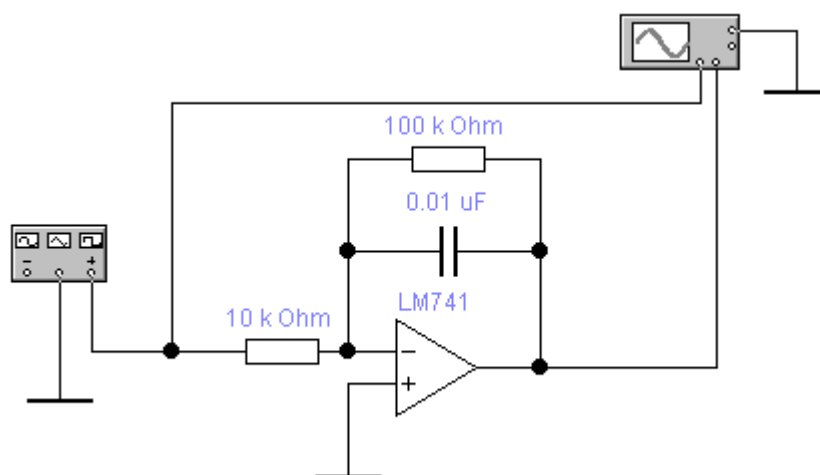


Рисунок 7.9 - Схема інтегратора на операційному підсилювачі

Таблиця 7.4 - Експериментальні дані

F	10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	100 МГц
$U_{ВИХ}$								

4.3 Побудувати графік амплітудно-частотної характеристики.

5. Використати стенд з схемою диференціатора на операційному підсилювачі (рис. 7.10).

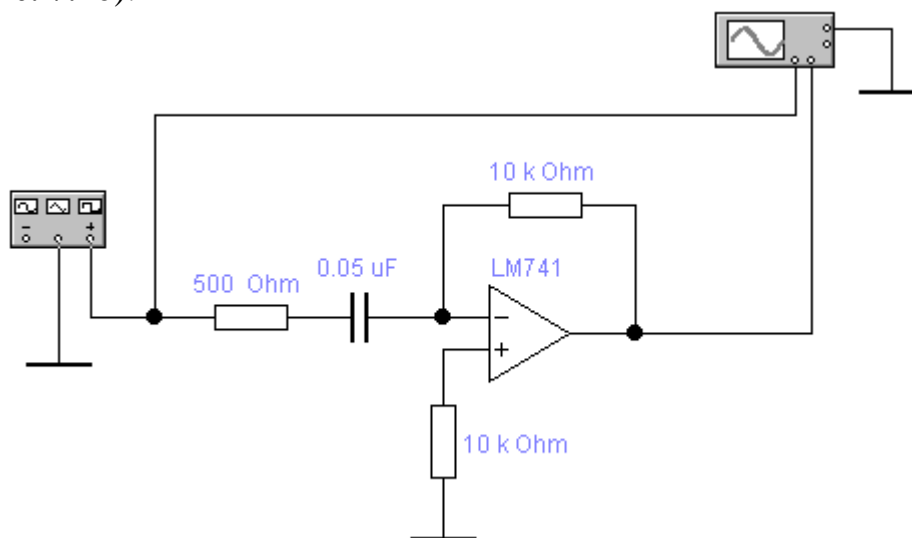


Рисунок 7.10 - Схема диференціатора на операційному підсилювачі

5.1 Повторити пункти 4.1- 4.3.

5.2 Під час подачі прямокутної напруги вихідні осцилограми отримати з конденсаторами: 0,1 мкФ, 0,01 мкФ.

6. Занести пояснення до створення схем до звіту та зробити висновки.

7.4 Зміст звіту

1. Схеми для зняття характеристик ОП.
2. Таблиці з результатами вимірювань та розрахунки
3. Висновки по роботі.

7.5 Контрольні питання

1. Які загальні принципи побудови пристроїв на ОП?
2. Які основні переваги інтегральних ОП?
3. Як впливає негативний зворотній зв'язок на стабільність коефіцієнта підсилення?
4. Як впливає зворотний зв'язок на вхідний і вихідний опори підсилювача?
5. Як працює схема суматора на ОП?
6. Від чого залежить полярність вихідної напруги суматора?
7. Навести формули розрахунку коефіцієнтів посилення інвертуючого та неінвертуючого підсилювача на ОП.
8. Перелічити основні параметри ОП.
9. Чому для живлення ОП використовується двохполярна напруга?
10. У чому полягають відмінності між ідеальними та реальним інтеграторами?
11. Чи залежить вихідна напруга диференціального каскаду від швидкості зміни вхідної напруги?
12. Чи залежить вихідна напруга диференціального каскаду від величини опору в колі зворотного зв'язку?
13. З яких умов виводиться співвідношення між вхідною та вихідною напругою в схемі суматора на основі ОП?