

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Мета роботи: вивчення принципів роботи, головних параметрів та характеристик операційного підсилювача (ОП).

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Досліджуваний підсилювач називається операційним тому, що він може використовуватись для виконання різних математичних операцій над сигналами: алгебраїчного додавання, віднімання, множення на постійний коефіцієнт, інтегрування, диференціювання, логарифмування і т.п. Операційним часто називають підсилювач напруги з великим коефіцієнтом підсилення, охоплений ланцюгом від'ємного зворотного зв'язку, який визначає основні якісні показники та характер виконуваних підсилювачем операцій. Сучасні ОП виконуються на базі інтегральних мікросхем операційного підсилювача ІМС ОП, до виводів якої, крім ланцюга від'ємного зворотного зв'язку, підключаються джерело живлення, вхідних сигналів, опору навантаження, ланцюги корекції частотних характеристик ОП в інтегральному виконанні та інші ланцюги.

ОП – це підсилювач постійного струму (ППС), його амплітудно-частотна характеристика не має завалу в області низьких частот, оскільки ОП не містить роз'єднувальних конденсаторів. Для того, щоб при відсутності вхідних сигналів потенціал виходу можна було звести до нуля (потенціалу землі), живлення ОП роблять двополярним та звичайно симетричним (наприклад, +/-12,6 В).

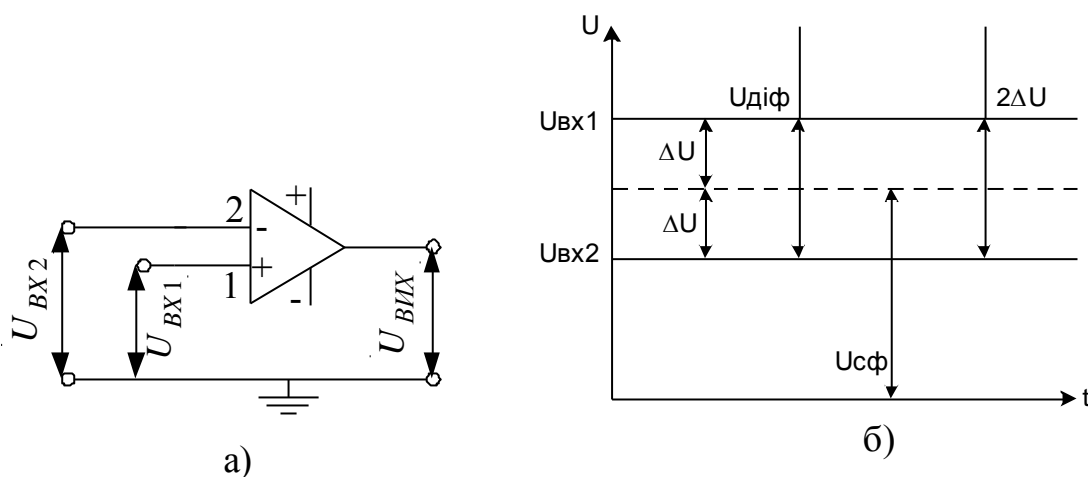


Рисунок 1 - Умовне позначення ОП. Види вхідних напруг

На рис. 1,а показано умовне позначення ОП з одним виходом та двома входами: прямим та інверсним. Інверсний вхід позначають знаком інверсії (колом) або позначають знаком “-“. Прямий вхід 1 не має знака інверсії або його позначають знаком “+”. В загальному випадку на виводи

ОП 1 та 2 надходять напруги $U_{ВХ1}$ та $U_{ВХ2}$, які називають напругами загального виду. З них виділяють синфазний $U_{СФ} = (U_{ВХ1} + U_{ВХ2})/2$ та диференційний $U_{ДИФ} = U_{ВХ1} - U_{ВХ2}$ сигнали (рис.1,б). Відносно $U_{СФ}$ потенціал вхідного виводу 1 вище, а виводу 2 – нижче на значення ΔU , а диференційний (різницевий) сигнал $U_{ДИФ} = 2\Delta U$. Операційний підсилювач призначений для підсилення невеликого (диференційного) сигналу. Синфазний сигнал схемою ОП повинен бути максимально ослаблений. Вихідна напруга $U_{ВИХ}$ знаходиться у фазі (синфазно) з напругою на вході 1 $U_{ВХ1}$, та протифазно напрузі на вході 2 $U_{ВХ2}$.

На рис. 2 зображено амплітудні характеристики ОП для випадків: а - вхідний сигнал подається на інверсний вхід 2, а неінверсний вхід 1 заземлений ($U_{ВИХ}$ протифазно $U_{ВХ1}$); б – вхідний сигнал подається на неінверсний вхід 1, а інверсний вхід 2 заземлений ($U_{ВИХ}$ синфазно $U_{ВХ1}$). Вихідна напруга $U_{ВИХ}$ знімається відносно середньої точки джерела живлення. Якщо $U_{ВХ} = 0$, то $U_{ВИХ} = 0$, що відображує умови балансу ОП. При відсутності зовнішнього ланцюга зворотного зв'язку уклін амплітудних характеристик (рис.14.2) визначається коефіцієнтом підсилення напруги ОП

$K_{Uon} = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{диф}}$. Характерним для амплітудних характеристик ОП є

наявність двох областей насичення $+U_{ВИХНАС}$ та $-U_{ВИХНАС}$, при досягненні яких вихідна напруга залишається незмінною і не залежить від змін вхідної напруги. ОП в інтегральному виконанні характеризується великим коефіцієнтом підсилення напруги, високим вхідним та низьким вихідним опором.

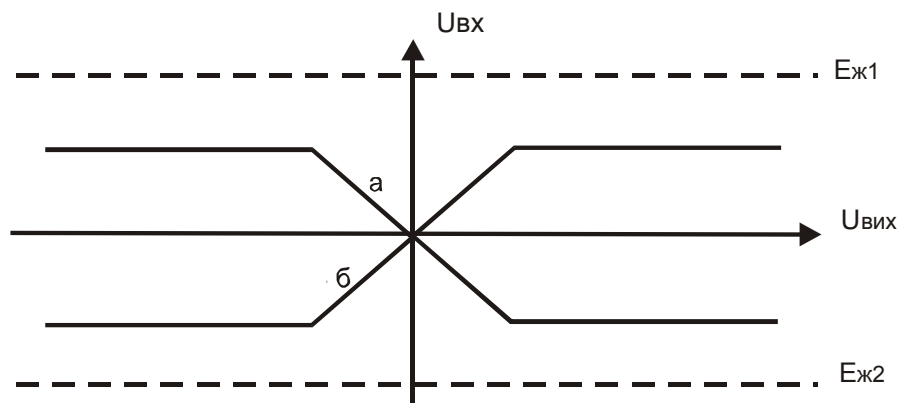


Рисунок 2 – Амплітудна характеристика операційного підсилювача

В залежності від того, на які входи ОП діють вхідні сигнали, розрізняють схеми підключення ОП в інтегральному виконанні: інвертуючі і (рис.3) і неінвертуючі (рис. 4). Ці схеми мають ряд загальних особливостей: 1- наявність елементів від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ); 2 – при виводі аналітичних виразів для оцінки основних параметрів ОП

приймають значення $U_{диф} \approx \frac{U_{вих}}{K_{Uon}} \approx 0$, так як ІМС ОП мають дуже високий

коефіцієнт підсилення напруги ($K_{Uon} \rightarrow \infty$); 3 – вхідний струм вважають рівним нулю, так як ІМС ОП має високий вхідний опір ($R_{ВХОП} \rightarrow \infty$).

Інвертуючий операційний підсилювач (рис. 3,а). В цій схемі вхідний сигнал подається на інвертуючий (інверсний) вхід ІМС ОП, а його неінвертуючий (прямий) вхід заземлений. Підсилювач називається інвертуючим, оскільки вихідна напруга $U_{ВИХ}$ інверсна (протифазна) відносно вхідної напруги $U_{ВХ}$. Від’ємний зворотний зв’язок відтворюється при допомозі опорів R_2, R_1 (паралельний ВЗЗ за напругою).

Так як вхідний струм ІМС ОП $I_{ВХОП} = I_{\Sigma} \cong 0$, то

$$I_{ex} \cong I_{33}. \quad (1)$$

Оскільки диференціальна вхідна напруга ІМС ОП $U_{диф} \cong (K_{UOP} \rightarrow \infty)$, а $R_{ВХОП} \rightarrow \infty$, то $I_{ВХ} = U_{ВХ}/R_1$, то $I_{ВХ} = U_{ВХ}/R_1$

$$I_{33} = -U_{ex}/R_2. \quad (2)$$

Вихідна напруга в останньому виразі входить із знаком мінус, так як вона знаходиться у протифазі вхідній напрузі.

На основі співвідношень (1,2) одержимо вираз для визначення коефіцієнта підсилення напруг схемою інвертуючого ОП:

$$K_U = -R_2/R_1. \quad (3)$$

Якщо ввести позначення глибини ВЗЗ $\beta_{ВЗЗ} = R_1/(R_1 + R_2)$, яка при виконанні умови $R_2 \gg R_1$ дорівнює $\beta_{ВЗЗ} \approx R_1/R_2$, то $K_U \cong -1/\beta_{ВЗЗ}$, якщо $R_1 = R_2$, то $K_{UOP} = -1$, ОП стає інвертуючим повторювачем напруги, у якого $U_{ВИХ} = -U_{ВХ}$. Вхідний опір інвертуючого ОП $R_{ВХОП} = R_1$, а вихідний опір $R'_{ВИХОП} = R_{ВИХОП}/(1 + \beta_{ВЗЗ} K_U)$.

Неінвертуючий вхід ІМС ОП через опір R_3 з'єднаний з землею, тому його потенціал дорівнює нулю, а, відповідно, дорівнює нулю і потенціал інвертуючого входу, оскільки $U_{диф} \cong 0$. Тому на входах цієї ІМС ОП синфазний сигнал відсутній. Оскільки $R_{ВХ}$ реальної мікросхеми ОП не дорівнює нескінченності, то через її входи протікають незначні вхідні струми, які при $U_{ВХ} \cong 0$ можуть визвати помилкові зміни вихідного сигналу. Для їх компенсації необхідно забезпечити рівність опорів входів ІМС ОП.

Тому в схему вводиться опір $R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

Інвертуючий ОП (рис. 3,а) може використовуватись для зміни масштабу вхідної напруги множенням її на постійний коефіцієнт ($-R_2/R_1$), а також для алгебраїчного додавання вхідних сигналів (як аналоговий суматор рис. 3,б). Напруга на виході такої схеми

$$U_{ВИХ} = -(R_2/R_1)(U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_H),$$

якщо $R_1 = R_2 = R$, то $U_{ВИХ} = -(U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_H)$.

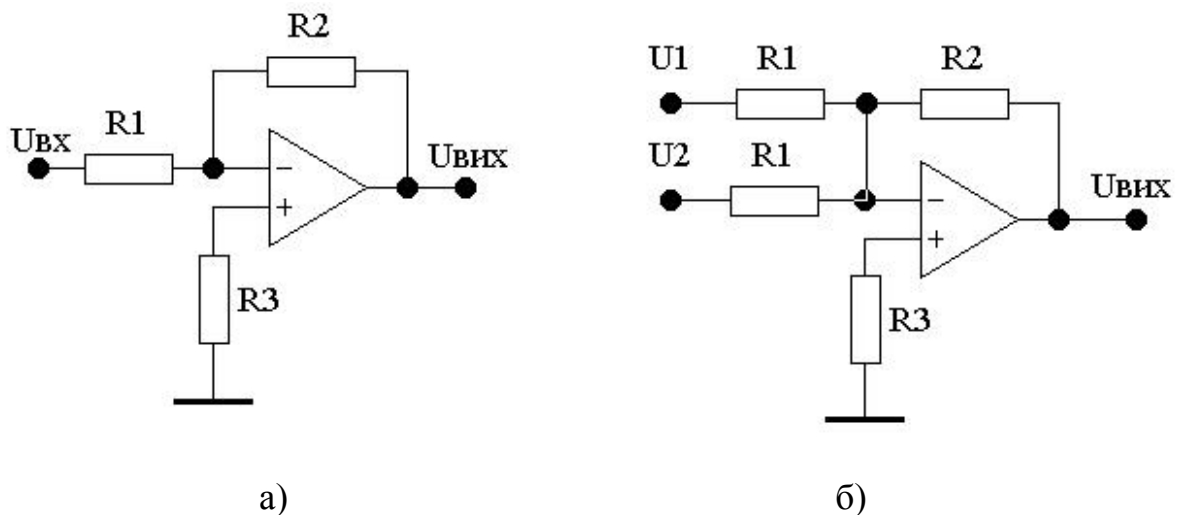


Рисунок 3 - Інвертуюча схема ввімкнення операційного підсилювача (а), аналоговий суматор (б)

Неінвертуючий операційний підсилювач (рис. 4). У цій схемі вхідний сигнал подається на неінвертуючий вхід ІМС ОП. На його інвертуючий вхід за допомогою подільника вихідної напруги, виконаного на опорах R_1 і R_2 , подається напруга ВЗЗ $U_{ВЗЗ} = U_{ВИХ} R_2 / (R_1 + R_2)$. У схемі діє послідовний ВЗЗ за напругою, глибина якого

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (4)$$

а диференційна напруга, прикладена до ІМС ОП $U_{ДИФ} = U_{ВХ} - U_{ВЗЗ}$.

Оскільки коефіцієнт підсилення напруги ІМС ОП $K_U \cong \infty$, то $U_{ДИФ} \cong 0$ та

$$U_{ВХ} \cong U_{ВЗЗ} = (U_{ВИХ} R_2) / (R_1 + R_2) \quad (5)$$

Із цього співвідношення витікає, що коефіцієнт підсилення напруги схемою неінвертуючого ОП

$$K_{УОП} = (R_1 + R_2) / R_2 = 1 + (R_1 / R_2) = 1 / \beta_{ВЗЗ}, \quad (6)$$

Вхідний опір неінвертуючого ОП $R'_{ВХОП} = R_{ВХОП} (1 + \beta_{ВЗЗ} K_U)$, а вихідний опір $R'_{ВИХОП} = R_{ВИХОП} / (1 + \beta_{ВЗЗ} K_U)$.

У цьому ввімкненні ІМС ОП потенціали його входів залишаються приблизно однакові, оскільки $U_{ДИФ} \cong 0$, і дорівнюють значенню $U_{ВХ}$, тобто на входах ІМС ОП діє синфазний сигнал, значення якого близьке до $U_{ВХ}$. При виконанні умови $R_1 = 0$, $R_2 \cong \infty$, вираз (6) прийме вигляд

$$K_{УОП} = 1,$$

тобто операційний підсилювач буде виконувати функцію неінвертуючого повторювача напруги, у якого $U_{ВИХ} = U_{ВХ}$ (рис. 4,б).

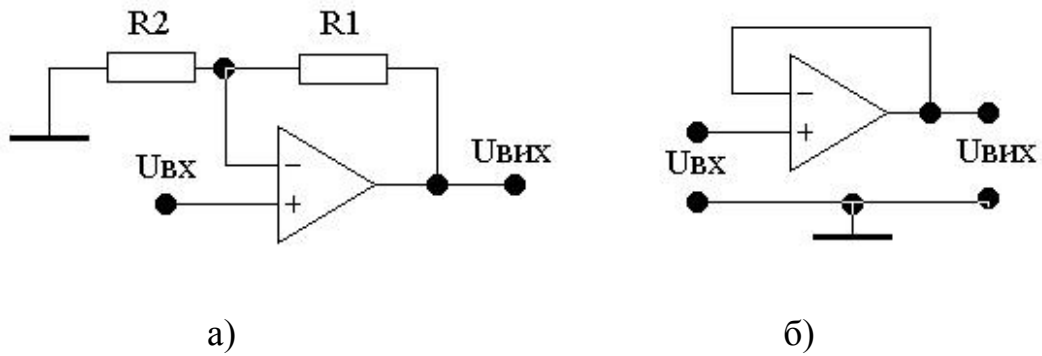


Рисунок 4 - Неінвертуюча схема ввімкнення операційного підсилювача (а), неінвертуючий повторювач напруги (б)

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Запустити програму Multisim.
2. Для дослідження неінвертуючого операційного підсилювача побудувати схему, наведену на рис. 5.

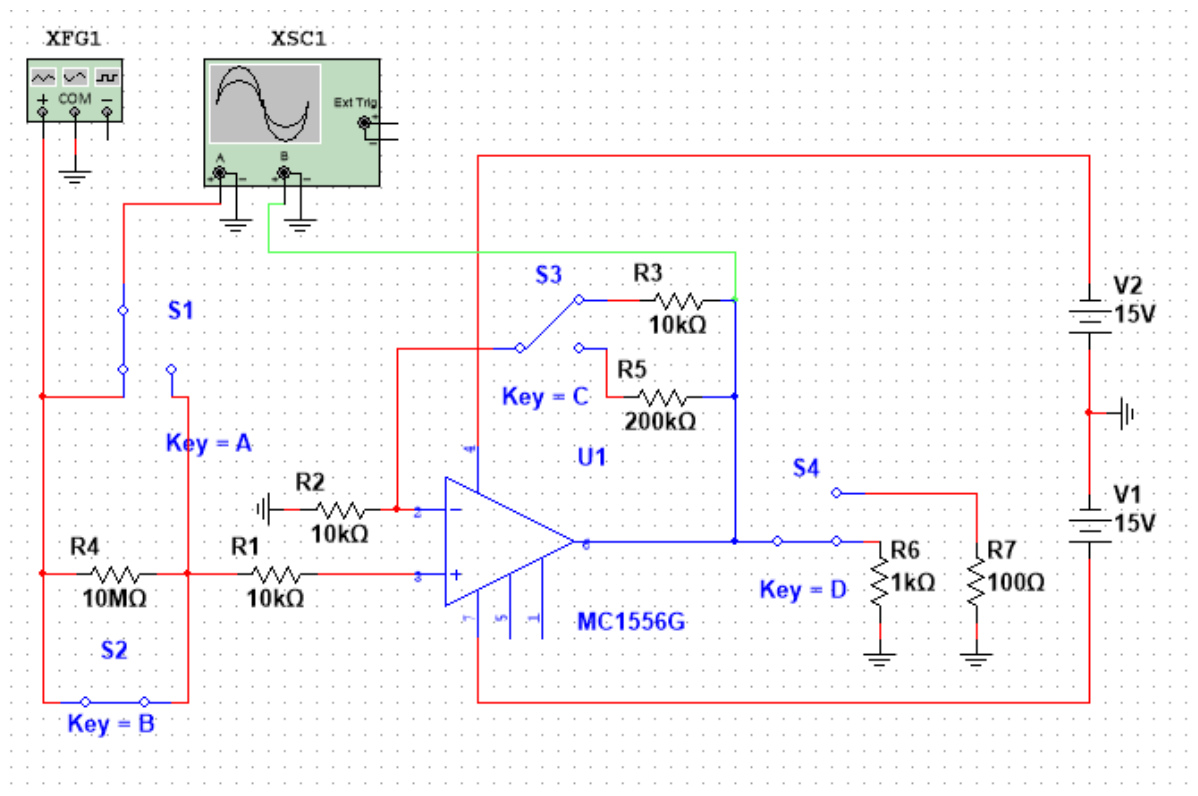
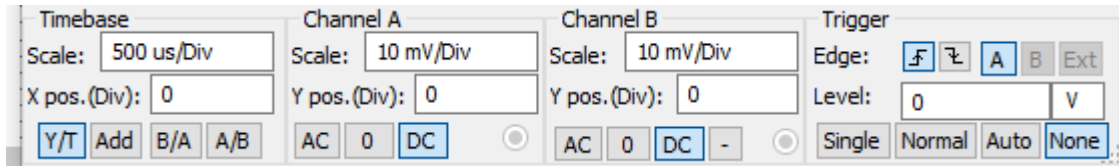


Рис. 5. Схема дослідження неінвертуючого підсилювача

3. На частоті $f = 1$ кГц зняти і побудувати амплітудні характеристики неінвертуючого підсилювача при різних опорах зворотного зв'язку.

Для цього заповнити таблицю 1 ($R_n = 1$ кОм). Початкове значення

$U_{вх} = 10 \text{ мВ}$.



На основі отриманих показів побудувати графіки амплітудних характеристик, зробити висновки.

Таблиця 1 – Амплітудні характеристики неінвертуючого підсилювача

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_{вх}$ | | | | | | | | |
| $U_{вих}, \text{В};$ $R_{33} = 10 \text{ кОм}$ | | | | | | | | |
| $U_{вих}, \text{В};$ $R_{33} = 200 \text{ кОм}$ | | | | | | | | |

4. На частоті $f = 1 \text{ кГц}$ виміряти вхідний $R_{вх}$ і вихідний $R_{вих}$ опори неінвертуючого підсилювача при різних опорах зворотного зв'язку.

При вимірюванні вхідного опору неінвертуючого підсилювача задати ЕРС джерела сигналу, що дорівнює 1 В, послідовно з резистором R1 слід включити (розімкнути) додатковий резистор R4 опором 10 МОм. При вимірі вихідного опору підсилювачів резистор R4 замкнути.

5. Для дослідження інвертуючого операційного підсилювача побудувати схему, наведену на рис. 6.

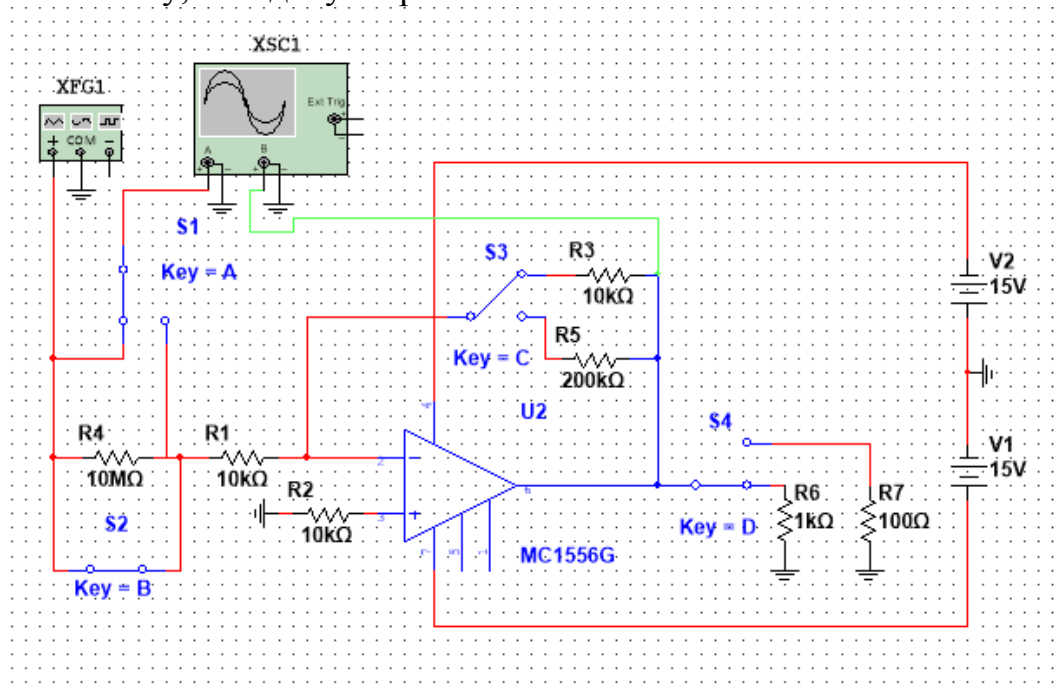
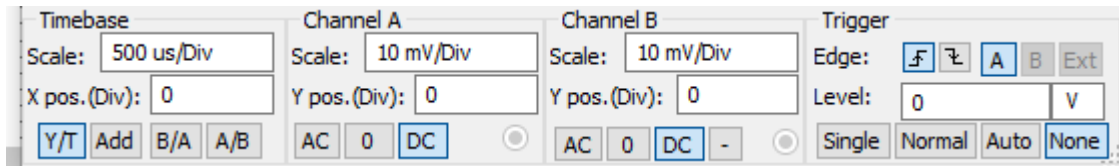


Рис. 6. Принципова схема інвертуючого підсилювача

6. На частоті $f = 1$ кГц зняти і побудувати амплітудні характеристики інвертуючого підсилювача при різних опорах зворотного зв'язку.

Для цього заповнити таблицю 2 ($R_n = 1$ кОм). Початкове значення $U_{вх} = 10$ мВ.



На основі отриманих показів побудувати графіки амплітудних характеристик, зробити висновки.

Таблиця 2 – Амплітудні характеристики інвертуючого підсилювача

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_{вх}$ | | | | | | | | |
| $U_{вих}, В;$ $R_{зз} = 10$ кОм | | | | | | | | |
| $U_{вих}, В;$ $R_{зз} = 200$ кОм | | | | | | | | |

7. На частоті $f = 1$ кГц виміряти вхідний $R_{вх}$ і вихідний $R_{вих}$ опори інвертуючого підсилювача при різних опорах зворотного зв'язку.

При вимірюванні вхідного опору інвертуючого підсилювача задати ЕРС джерела сигналу, рівну 1 В, послідовно з резистором R_1 слід включити (розімкнути) додатковий резистор R_4 опором 10 МОм. При вимірі вихідного опору підсилювачів резистор R_4 замкнути.

8. Зняти та побудувати амплітудно-частотні характеристики інвертуючого підсилювача при різних опорах зворотного зв'язку.

Заповнити таблицю 3 ($R_n = 1$ кОм). При знятті АЧХ інвертуючого підсилювача значення $U_{вх}$ визначається по середині прямолінійної ділянки амплітудної характеристики. За підсумками отриманих показань будуються графіки АЧХ

Таблиця 3 Амплітудно-частотна характеристика інвертуючого підсилювача

| | | | | | | | | |
|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $f,$ кГц | | | | | | | | |
| $U_{вих},$ В | | | | | | | | |

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику призначення, параметрів, характеристик та особливості використання ОП.

2. Приведіть схеми інвертуючого та неінвертуючого та ввімкнення ІМС ОП визначте їх основні параметри та дайте порівняльну характеристику.

3. Дайте характеристику неінвертуючого та і інвертуючого повторювача напруги та приведіть їх схемну реалізацію.

4. Як визначається вхідний і вихідний опір неінвертуючого операційного підсилювача.

5. Як визначається вхідний і вихідний опір неінвертуючого операційного підсилювача.