

*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 №2

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

Дослідження зворотних зв'язків в підсилювачах

Студента (ки) 2 курсу, групи _____

(прізвище та ініціали)

Викладач _____

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

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Мета роботи – дослідження впливу негативного ЗЗ на характеристики і параметри підсилювачів.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Зворотним зв'язком (ЗЗ) у підсилювачах називають відношення вихідного сигналу до вхідного. На рисунку 2.1 зображена структурна схема підсилювача з зворотним зв'язком. Підсилювач характеризується коефіцієнтом K , а коло ЗЗ характеризується коефіцієнтом передачі B . Коефіцієнти K и B зазначені у вигляді комплексних значень.

У підсилювачах застосовуються різні види ЗЗ. У схемній реалізації підсилювача і кола ЗЗ можливі варіанти, коли ЗЗ існує або тільки для вихідного сигналу, який повільно змінюється, або тільки для змінної його складової, або для всього сигналу. У цих випадках говорять, що зворотний зв'язок здійснений за змінним струмом, як за постійним так і за змінним струмом.

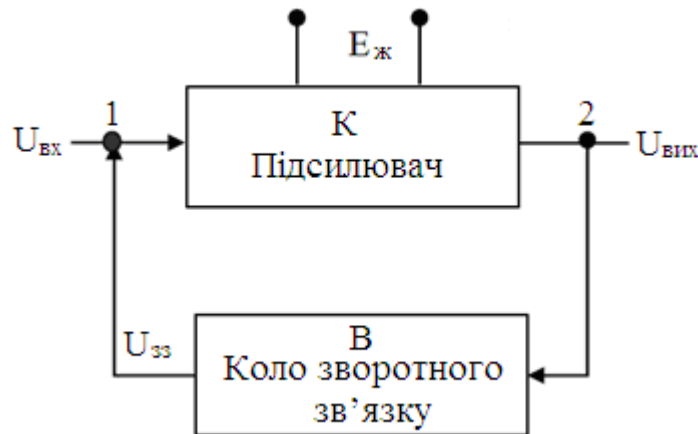


Рисунок 2.1 - Схема підсилювача з зворотним зв'язком

Залежно від способу одержання сигналу розрізняють:

- зворотний зв'язок за напругою, коли сигнал ЗЗ пропорційний напрузі вихідного кола;
- зворотний зв'язок за струмом, коли сигнал ЗЗ пропорційний току вихідного кола;
- комбінований ЗЗ, коли сигнал ЗЗ пропорційний як напрузі, так і струму вихідного кола.

За способом введення у вхідне коло сигналу зворотного зв'язку розрізняють:

- послідовну схему введення ЗЗ, коли напруга сигналу ЗЗ складається із вхідною напругою;
- паралельну схему введення ЗЗ, коли струм кола ЗЗ складається зі струмом вхідного сигналу;
- змішану схему введення ЗЗ, коли із вхідним сигналом складається струм і напруга кола ЗЗ.

Зворотний зв'язок називають негативним (НЗЗ), якщо він зменшує коефіцієнт підсилення (фази $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{зз}}$ протилежні і ЗЗ зменшує напругу вузлів 1 і 2)

Зворотний зв'язок називають позитивним (ПЗЗ), якщо коефіцієнт підсилення зростає (фази $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{зз}}$ збігаються і результуюча напруга на вході підсилювача зростає в порівнянні з $U_{\text{вх}}$),

Для кількісної оцінки ступеня впливу кола ЗЗ використовують коефіцієнт зворотного зв'язку, який показує яка частина вхідного сигналу, надходить на вхід підсилювача.

На вході підсилювача діє сума сигналів $U_{\text{вх}} + U_{\text{зз}}$. Тоді вихідна напруга становить

$$U_{\text{вих}} = K(U_{\text{вх}} + U_{\text{зз}}). \quad (2.1)$$

де K - коефіцієнт передавання підсилювача без зворотного зв'язку.

Якщо чотириполюсник ЗЗ має коефіцієнт передавання B , то вихідна напруга визначиться як

$$U_{\text{вих}} = K(U_{\text{вх}} + BU_{\text{вих}}). \quad (2.2)$$

Вирішуючи (2.1) відносно $U_{\text{вих}}$, знаходимо коефіцієнт передавання підсилювача з зворотним зв'язком:

$$K_{\text{зз}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{K}{1 - BK}. \quad (2.3)$$

Знаменник $1 - BK$ називається глибиною зворотного зв'язку, а BK - петльовим підсиленням.

Зворотний зв'язок, для якого $BK < 0$, є негативним. Тоді з (2.2) видно, що $K_{\text{зз}} < K$, тобто негативний ЗЗ зменшує коефіцієнт підсилення. Це зменшення не є недоліком, яким воно було на початку становлення радіоелектроніки. Зараз у багатьох випадках виникає необхідність зменшити підсилення, що й досягається негативним ЗЗ. Крім того, негативний ЗЗ покращує основні показники підсилювача.

Зворотний зв'язок, для якого $BK > 0$, є позитивним. Тоді з (2.2) видно, що $K_{\text{зз}} > K$, тобто позитивний ЗЗ збільшує коефіцієнт підсилення і при $BK = +1$ перетворює його у нескінченність. Це означає, що при $U_{\text{вх}} = 0$ вихідна напруга $U_{\text{вих}} \neq 0$, тобто є вихідний сигнал при відсутності вхідного. Це спостерігається в автогенераторах і наявність позитивного ЗЗ є необхідною умовою для їхнього самозбудження.

Забезпечення позитивного або негативного ЗЗ здійснюється полярністю включення чотириполюсника зворотного зв'язку.

Види зворотного зв'язку:

- паралельний по входу і виходу;
- послідовний по входу і виходу;
- паралельний по входу і послідовний по виходу;
- послідовний по входу і паралельний по виходу.

Схема підсилювача з паралельним зворотним зв'язком по входу і виходу наведена на рисунку 2.2.

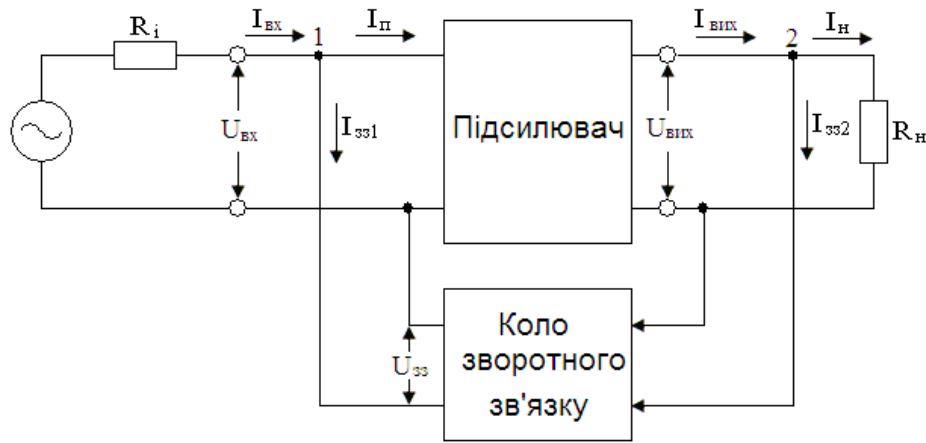


Рисунок 2.2 – Схема підсилювача з паралельним зворотним зв'язком за напругою

Підсилювач охоплений зворотним зв'язком за напругою $U_{\text{ВІХ}}$ через чотириполосник ЗЗ, вихід якого підключений паралельно до входу підсилювача. Тому на вході здійснюється зворотний зв'язок також за напругою.

Позначення на схемі:

U_c - напруга, яку треба підсилити;

R_i - опір джерела напруги U_c ;

R_H - опір навантаження.

Визначимо вхідний $R_{\text{ВХ}}$ та вихідний $R_{\text{ВІХ}}$ опори підсилювача з ЗЗ за напругою на вході й виході. У цій схемі можна здійснити ЗЗ, якщо на вході і виході немає короткого замикання, тобто $R_i > 0$ та $R_H > 0$.

Вхідний опір для схеми підсилювача (рис. 2.2) становить

$$R_{\text{ВХ ЗЗ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}}, \quad (2.4)$$

Оскільки ЗЗ негативний, то він створює струм $I_{\text{ЗЗ1}}$, який витікає з вузла 1. Тоді за законом Кірхгофа маємо

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{П}} + I_{\text{ЗЗ1}}. \quad (2.5)$$

Підставляючи (2.4) у (2.5), одержуємо

$$R_{\text{ВХ ЗЗ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{П}} + I_{\text{ЗЗ1}}}, \quad (2.6)$$

де $I_{\text{П}}$ вхідний струм підсилювача без зворотного зв'язку.

Знайдемо вхідний опір підсилювача без зворотного зв'язку (рис. 2.3).

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{П}}}. \quad (2.7)$$

Зіставляючи (2.6) та (2.7) переконуємося в тому, що $R_{\text{ВХ.ЗЗ}} < R_{\text{ВХ}}$.

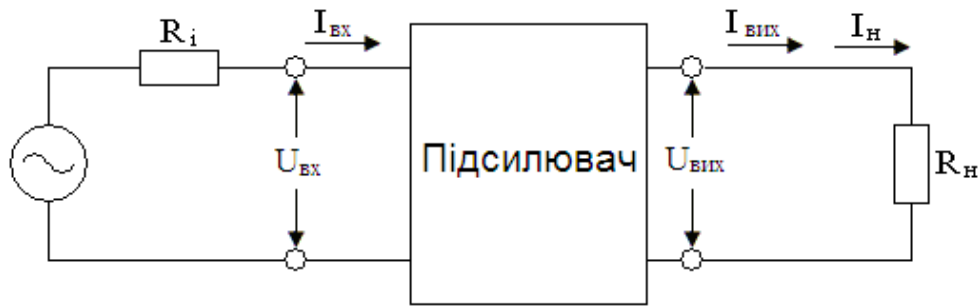


Рисунок 2.3 - Схема підсилювача без зворотного зв'язку

Паралельний негативний зворотний зв'язок зменшує вхідний опір підсилювача.

Аналогічно визначимо вихідний опір підсилювача з зворотним зв'язком (рис 2.2):

$$R_{\text{вих зз}} = \frac{U_{\text{вих}}}{I_{\text{вих}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{I_{\text{н}} + I_{\text{зз2}}}. \quad (2.8)$$

Для підсилювача без зворотного зв'язку (рис. 2.3) маємо

$$R_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вих}}}{I_{\text{вих}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{I_{\text{н}}}. \quad (2.9)$$

З формул (2.8) та (2.9) випливає, що $R_{\text{вих зз}} < R_{\text{вих}}$.

Паралельний негативний зв'язок зменшує вихідний опір підсилювача.

Знайдемо вхідний та вихідний опори підсилювача з паралельним зворотним негативним зв'язком.

$$R_{\text{вх зз}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх зз}}}. \quad (2.10)$$

$I_{\text{вх зз}}$ - вхідний струм підсилювача з зворотним зв'язком, який в $(1+BK)$ разів більший за вхідний струм $I_{\text{вх}}$ без зворотного зв'язку, тобто

$$I_{\text{вх зз}} = I_{\text{вх}} (1 + BK). \quad (2.11)$$

Підставляючи (2.10) в (2.11), одержуємо

$$R_{\text{вх зз}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}} (1 + BK)}, \quad (2.12)$$

Аналогічним чином знаходимо

$$R_{\text{вих зз}} = \frac{R_{\text{вих}}}{1 + BK}. \quad (2.13)$$

Таким чином, зворотний зв'язок зменшує вхідний та вихідний опори підсилювача в глибину зворотного зв'язку $(1+BK)$ разів.

Схема підсилювача з послідовним зворотним зв'язком по входу й виходу наведена на рисунку 2.4.

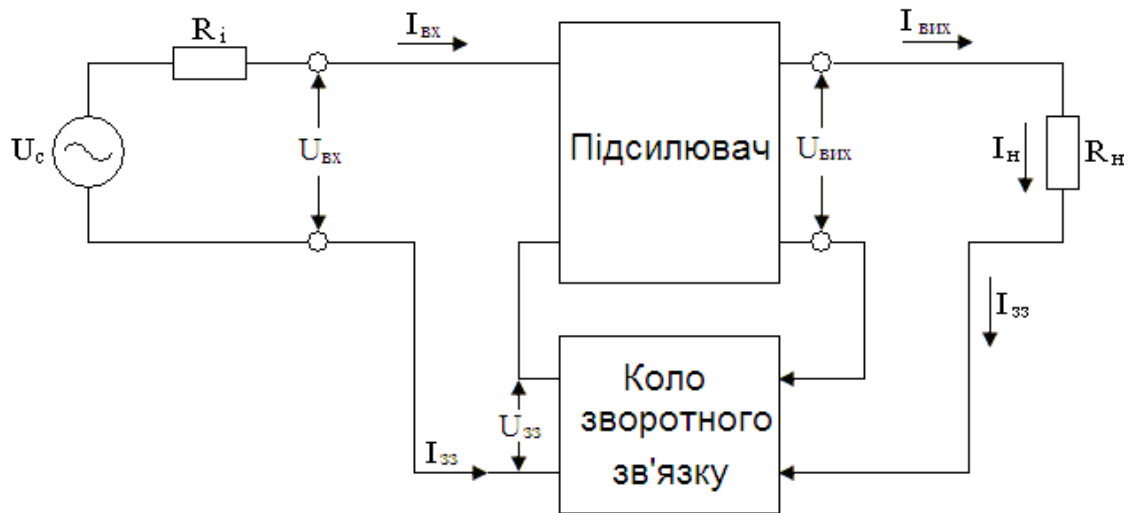


Рисунок 2.4 – Схема підсилювача з послідовним зворотним зв'язком за струмом

Вхідний опір підсилювача визначиться як

$$R_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}}. \quad (2.14)$$

Оскільки зворотний зв'язок негативний, то струми $I_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}}$ та $I_{\text{ЗЗ}}$ протилежні, через що

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}} - I_{\text{ЗЗ}} \quad (2.15)$$

Підставляючи (2.15) у (2.14), одержуємо

$$R_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}} - I_{\text{ЗЗ}}}. \quad (2.16)$$

З формули (2.16) випливає, що послідовний негативний зворотний зв'язок зменшує вхідний струм, через що вхідний опір підсилювача зростає.

Вихідний струм є наслідком підсилення вхідного струму в K разів: $I_{\text{ВИХ}} = KI_{\text{ВХ}}$. Оскільки негативний зворотний зв'язок зменшує $I_{\text{ВХ}}$ (2.15), то $I_{\text{ВИХ}}$ також зменшується, через що зростає $R_{\text{ВИХ}}$.

Знайдемо вхідний та вихідний опори підсилювача з послідовним негативним зворотним зв'язком.

$$R_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}}}. \quad (2.17)$$

де $I_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}}$ - вхідний струм підсилювача з зворотним зв'язком, який в $(1+BK)$ разів менший за вхідний струм $I_{\text{ВХ}}$ без зворотного зв'язку, тобто

$$I_{\text{ВХ}} = \frac{I_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}}}{1 + BK}. \quad (2.18)$$

Підставляючи (2.18) в (2.17), одержуємо

$$R_{\text{ВХ } \text{ЗЗ}} = R_{\text{ВХ}} (1 + BK). \quad (2.19)$$

Аналогічними діями знаходимо вихідний опір

$$R_{\text{ВИХ } \text{ЗЗ}} = R_{\text{ВИХ}} (1 + BK). \quad (2.25)$$

Тут $R_{вх}$ та $R_{вих}$ - відповідно вхідний та вихідний опори підсилювача без зворотного зв'язку.

Послідовний негативний зворотний зв'язок збільшує вхідний та вихідний опори підсилювача в глибину зворотного зв'язку в $(1+BK)$ разів.

Схема для дослідження підсилювального каскаду з зворотними зв'язками представлена на рисунку 2.5.

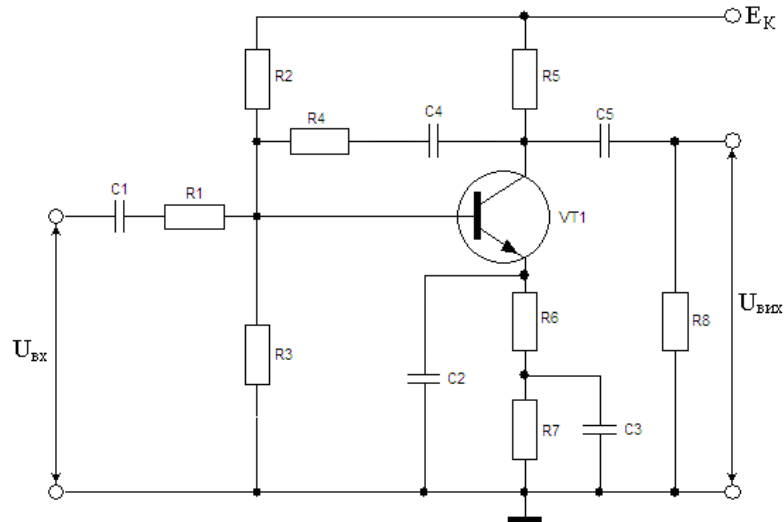


Рисунок 2.5 - Схема для дослідження підсилювального каскаду з зворотними зв'язками

2.2 Опис віртуального стенду EWB

Зібрати стенд відповідно до рисунку 2.5. До входу схеми підключити генератор гармонічних коливань, а до виходу – осцилограф (рис. 2.6)..

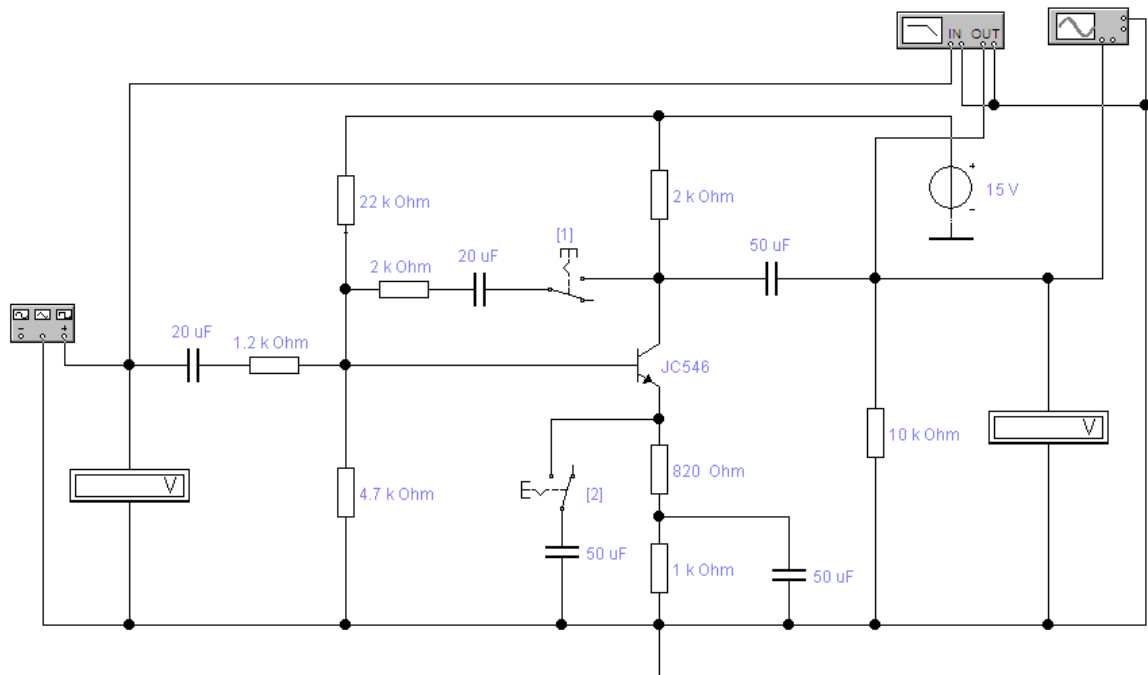


Рисунок 2.6 – Стенд для дослідження підсилювального каскаду з зворотними зв'язками

Елементи схеми мають такі номінали: $R1 = 1,2 \text{ кОм}$, $R2 = 22 \text{ кОм}$, $R3 = 4,7 \text{ кОм}$, $R4 = 33 \text{ кОм}$, $R5 = 2 \text{ кОм}$, $R6 = 200 \text{ Ом}$, $R7 = 200 \text{ Ом}$, $R8 = 15 \text{ кОм}$, $C1 = C4 = 20 \text{ мкФ}$, $C2 = C3 = C5 = 50 \text{ мкФ}$, $E_K = 15 \text{ В}$, VT1- JC546.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Для дослідження каскаду підсилення без негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) необхідно розімкнути перемикач (1) та замкнути перемикач (2) (рис. 2.7).

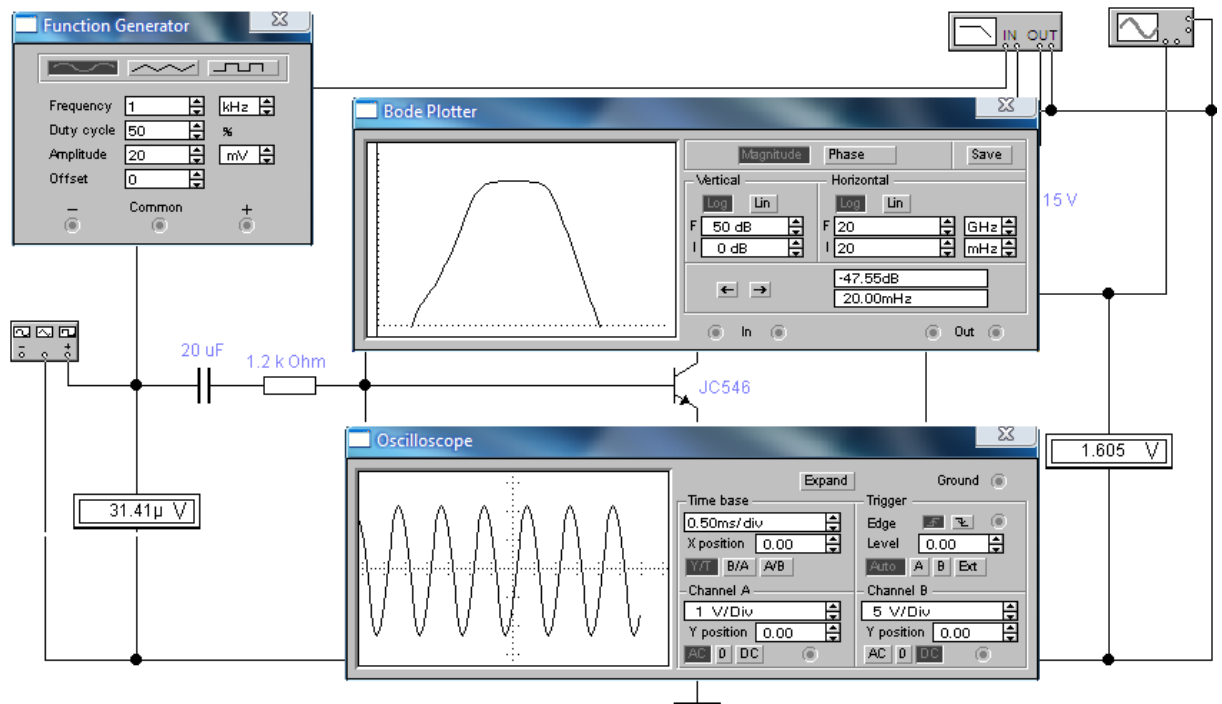


Рисунок 2.7 - Схема підсилювача без НЗЗ та результати його роботи

2. Зняти амплітудну характеристику. Для одержання амплітудної характеристики встановити частоту вхідної напруги 1 кГц і за допомогою осцилографа контролювати вихідну напругу. Збільшуючи вхідну напругу до появи помітних спотворень, визначити $U_{vx,max}$. Потім, плавно зменшуючи вхідну напругу до нуля, зняти ще 8-10 точок залежності $U_{вих} = f(U_{вх})$.

3. Зняти амплітудно-частотну характеристику за умови $U_{вих} < f(U_{vmaxx})$. Для одержання АЧХ встановити рівень вхідного сигналу дещо меншим за $U_{vx,max}$. Змінюючи частоту генератора при постійному вхідному сигналі, заміряти вихідний сигнал. Дослідження проводити на частотах від 10 Гц до 20 кГц. Будувати АЧХ необхідно в логарифмічному масштабі.

4. Для дослідження підсилювального каскаду з послідовним НЗЗ за струмом необхідно розімкнути перемикачі S1 та S2 (рис. 2.8). Повторити пункти 3-5.

5. Для дослідження підсилювального каскаду з паралельним НЗЗ за напругою необхідно замкнути перемикачі S1 та S2. (рис. 2.9). Повторити пункти 2-5.

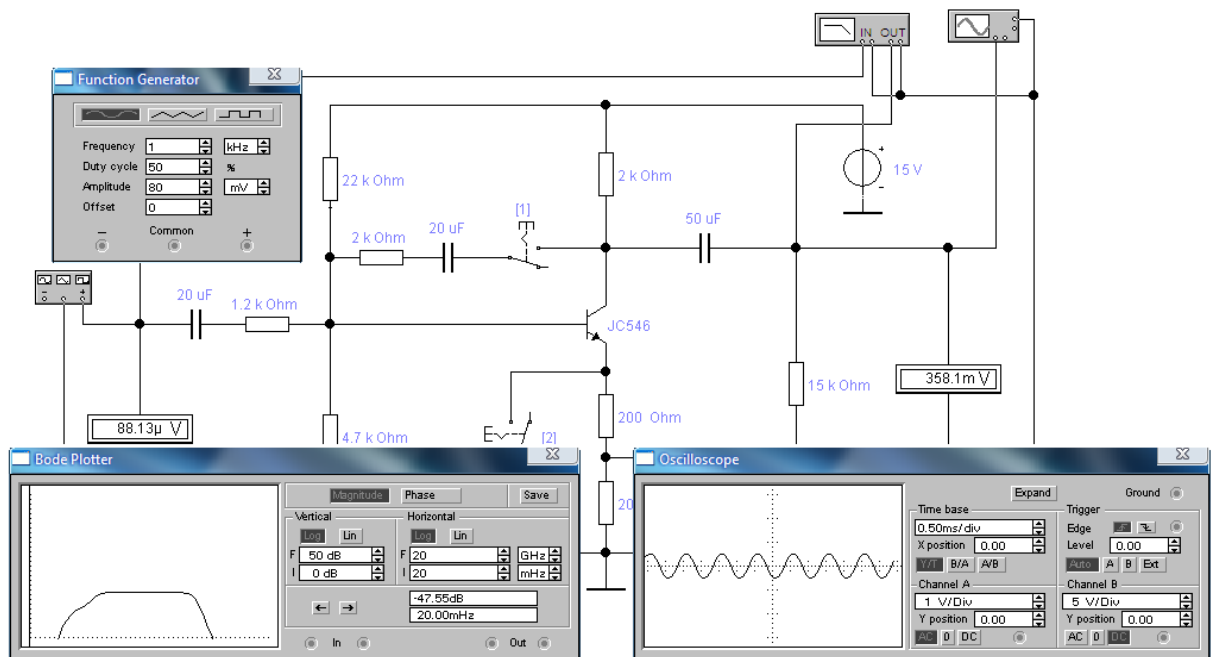


Рисунок 2.9 – Схема № 2 підсилювача з НЗЗ за струмом та результати його роботи

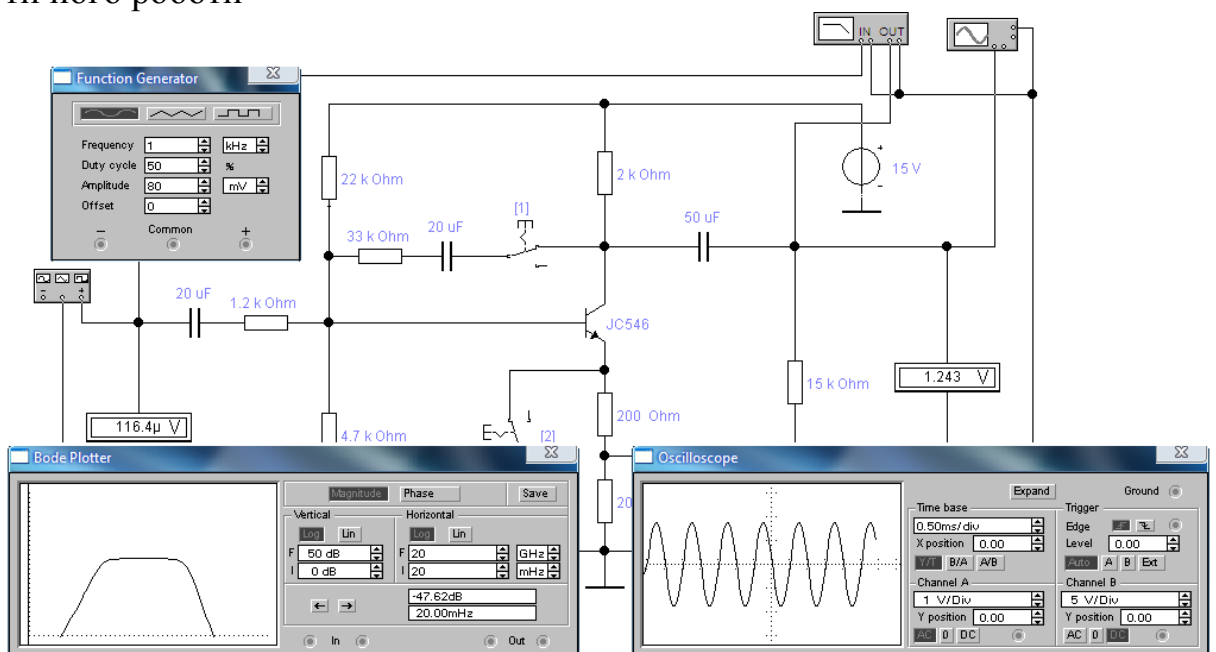


Рисунок 2.10 - Схема № 2 підсилювача з НЗЗ за напругою та результати його роботи

6. За результатами досліджень п. 3 побудувати амплітудні характеристики для всіх схем в одній системі координат.

7. За результатами досліджень п. 4 побудувати АЧХ для всіх схем також в одній системі координат. Будувати АЧХ необхідно в логарифмічному масштабі.

Контрольні запитання

1. Як впливає НЗЗ на частотні характеристики підсилювача?
2. Поясніть призначення всіх компонентів досліджуваної схеми.
3. Поясніть вплив НЗЗ на коефіцієнт шуму підсилювача.
4. Як впливає НЗЗ на смугу пропускання підсилювача?
5. Приведіть принципові схеми підсилювачів з основними видами НЗЗ.
6. Як залежить коефіцієнт нестабільності підсилювача від виду і глибини зворотного зв'язку?