

МІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

до лабораторних робіт з курсу

„ОСНОВИ СХЕМОТЕХНІКИ”

у двох частинах

Частина I

АНАЛОГОВА СХЕМОТЕХНІКА

Одеса 2005

УДК 621.38:681.14:621.396

Методичний посібник до лабораторних робіт з курсу „Основи схемотехніки”: У двох частинах. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2005. – 72 с.

Укладачі: Воробйова О.М., Іванченко В.Д., Палагін А.І.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Корнійчук В.І.
(доцент каф. ВОЛЗ ОНАЗ ім. О.С. Попова)

Затверджено
методичною радою
ОНАЗ ім. О.С. Попова.

Протокол № 10
від 11.03.2003 р.

© Воробйова О.М., Іванченко В.Д.,
Палагін А.І.

© ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004

Лабораторна робота № 1

Дослідження резистивних подільників і регуляторів напруги

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми резистивних подільників і регуляторів напруги.
- 1.2 Розраховувати подільник напруги на заданий коефіцієнт передавання.
- 1.3 Аналітично та експериментально визначати коефіцієнт передавання подільників і регуляторів.
- 1.4 Аналітично і експериментально визначати припустимий опір навантаження подільника.
- 1.5 Змінювати межі регулювання вихідної напруги.

2 Ключові положення

Основним призначенням подільника напруги є її зменшення. Основним параметром подільника напруги (надалі: подільник) є коефіцієнт передавання

$$K = \frac{U_{m\text{вих}}}{U_{m\text{вх}}}, \quad (1)$$

який на холостому ході (х.х) визначається формулою:

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2)$$

де R_1 і R_2 – опори резисторів відповідно верхнього та нижнього плечей подільника;

$U_{m\text{вх}}$ та $U_{m\text{вих}}$ – амплітуди відповідно вхідної та вихідної напруг.

Вхідний опір подільника напруги дорівнює $R_{\text{вх}} = R_1 + R_2$.

Потужність розсіювання резистора визначається, як

$$P_R = U_R I_R = \frac{U_R^2}{R} = I_R^2 R \quad (3)$$

де U_R – падіння напруги на резисторі R ;

I_R – струм, що протікає через резистор R .

Подільник напруги працює на якесь навантаження $R_{\text{н}}$, яке підмикається паралельно до нижнього плеча R_2 і через це зменшує вихідну напругу $U_{\text{вих}}$. Тоді коефіцієнт передавання подільника під навантаженням становить

$$K_{\text{н}} = \frac{R_2 \parallel R_{\text{н}}}{R_2 + R_2 \parallel R_{\text{н}}}, \quad (4)$$

де $R_2 \parallel R_H = \frac{R_2 R_H}{R_2 + R_H}$ – опір нижнього плеча під навантаженням.

Щодо регулятора напруги, то найпростішим регулятором є подільник, в якому регулюється верхнє плече або нижнє, або обидва. Тому всі співвідношення щодо подільника справедливі і для регулятора.

3 Домашнє завдання

3.1 Скласти схему дослідження подільника напруги.

3.2 Розрахувати опори плечей подільника напруги для одержання коефіцієнта передавання $K = 0,5 + 0,01N$ при $R_{вх} \geq 1$ кОм (N – номер лабораторного стола).

3.3 Для вхідної напруги $U_{мвх} = 20 + N$, В розрахувати потужності розсіювання на кожному резисторі.

4 Лабораторне завдання

4.1 Погодити складену за п. 3.1 схему дослідження подільника напруги з викладачем та відкрити файл “№ 0”.

4.2 Побудувати на віртуальному макеті складену в п. 3.1. схему дослідження подільника напруги (рис. 4.1).

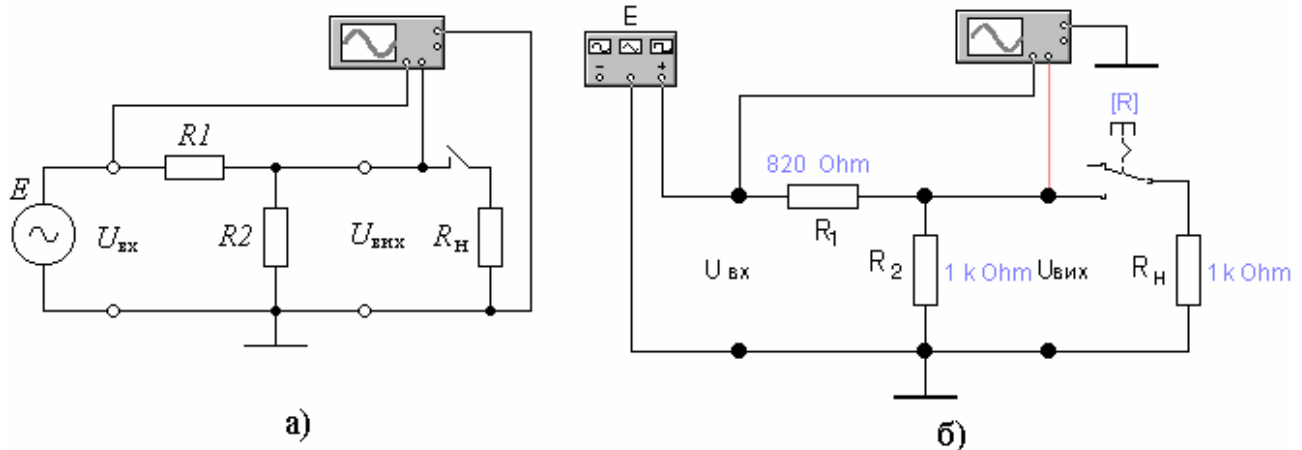


Рисунок 4.1 – Схема дослідження подільника напруги:

а – принципова схема; б – реалізація у програмному середовищі EWB

Схема дослідження збирається з поля вибору елементів (рис. 4.2) за допомогою миші та клавіатури.



Рисунок 4.2 – Поле вибору елементів

При складанні схеми виконуються наступні операції:

- виділення та переміщення елементів;
- з'єднання елементів у схему;
- установлення параметрів елементів;
- підключення вимірювальних пристроїв.

4.2.1 Виділення та переміщення елементів.

Для складеної схеми дослідження (рис. 4.1) необхідно перевести з поля елементів на робоче поле *дев'ять* елементів: джерело вхідної напруги E , резистори $R1$ і $R2$, спільну шину (землю) та чотири точки наступними діями.



Рисунок 4.2 – Поле вибору елементів

Установити курсор на елемент і клацнути лівою клавішею миші. З'явиться поле елементів (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Поле елементів та робоче поле

Установити курсор на потрібний елемент. При цьому курсор зміниться на зображення вказівного пальця, а елемент буде червоного кольору. Натиснути ліву клавішу миші і, утримуючи її, перевести вибраний елемент в потрібне місце робочого поля і відпустити клавішу.

Примітка. Червоний колір вказує на те, що об'єкт виділений.

Виділений елемент дозволяє змінювати його орієнтацію клавішами



Вирізувати виділений об'єкт можна командою *Delete*.

Виділення знімається установленням курсора на будь-яку точку поля, в якій зображення вказівного пальця зміниться на стрілку, і клацанням після цього лівою клавішею миші. Червоний колір має змінитися на чорний.

4.2.2 З'єднання елементів у схему:

- підвести мишею курсор до виводу елемента так, щоб на виводі з'явилася велика чорна точка;
- натиснути ліву клавішу миші і, утримуючи її, пересунути курсор до виводу другого елемента, з яким треба з'єднати перший;
- після появи чорної точки відпустити ліву клавішу миші; на полі з'явиться провідник між виводами двох елементів.

Примітка. Якщо в схемі провідники між елементами являють собою ламані лінії, то треба пересунути елементи так, щоб лінії були прямими.

4.2.3 Установлення параметрів елементів

Установити значення вхідної напруги, яке розраховане за п. 3.3, наступними діями:

- установити курсор на умовному позначенні джерела сигналу і двічі клацнути лівою клавішею миші; при цьому відкриється його передня панель (рис. 4.4);

- установити значення вхідної напруги за (п. 3.3) у віконці

Amplitude 50 V

- установити частоту $(100 + N)$ Гц у віконці

Frequency 1 kHz

- закрити передню панель джерела сигналу можна хрестиком (x).

- установити опори резисторів R_1 і R_2 , для чого установити курсор на умовному позначенні резистора і клацнути правою клавішею миші; відкриється вікно (рис. 4.5);

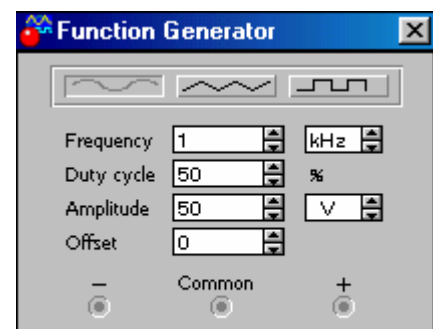


Рисунок 4.4

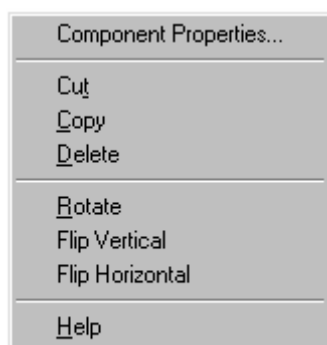


Рисунок 4.5

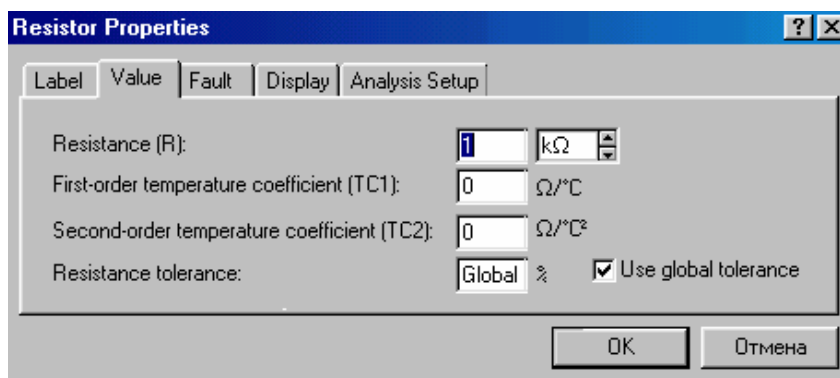


Рисунок 4.6

– установити курсор на **Component Properties...** і клацнути лівою клавішею миші; відкриється панель (рис. 4.6), на якій треба установити відповідний опір резистора і підтвердити це клавішею OK.

4.2.4 Позначення вибраних елементів.

Після побудови схеми можна кожному елементу привласнити позиційне позначення або будь-яке ім'я. Це можна зробити командою *Label* (рис. 4.6) на англійській мові.

4.2.5 Підключення вимірювальних приладів.

Підімкнути осцилограф до подільника, для чого виділити та пересунути на робоче поле осцилограф (рис. 4.7). Підімкнути вивід A осцилографа до входу, вивід B – до виходу подільника, а вивід *Ground* – до “землі”  за методикою п. 4.2.2.



Рисунок 4.7

4.2.6 Виділення провідників кольором:

- установити стрілку курсора на лінію вихідного провідника і клацнути правою клавішею миші;
- установити курсор на *Wire Properties* і клацнути лівою клавішею миші;
- установити курсор на вибраний колір і клацнути лівою клавішею миші.

4.3 Дослідити подільник напруги на холостому ході

4.3.1 Установити режим х.х, відімкнувши опір навантаження клавішею R.

4.3.2 Включити схему установкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою клавішею миші.

4.3.3 Розкрити осцилограф (рис. 4.7) установленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтіти два промені: чорний – для вхідної напруги та червоний – для вихідної (рис. 4.8).

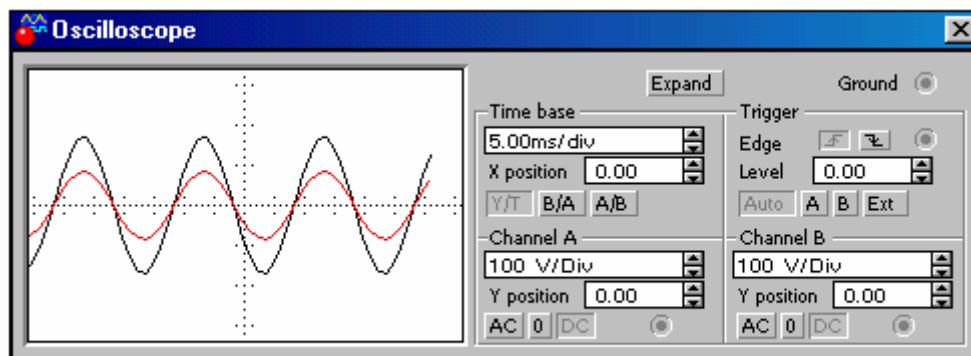


Рисунок 4.8

4.3.4 Вимірити амплітуди напруг вхідної U_{mvx} та вихідної U_{mvix} і навести в **масштабі** діаграму роботи подільника, розміщуючи осцилограми **одну** під **одною** (зверху вхідна напруга, **знизу** – вихідна), звертаючи увагу на **фазу** сигналів.

4.3.5 Вимірювання амплітуд здійснюється наступним чином.

- збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі (рис. 4.8);
- зупинити зображення клавішею *Pause*;
- розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою.

Амплітуди U_{mvx} та U_{mvix} вимірюються на збільшеному екрані осцилографа установленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення осцилограм (рис. 4.9).

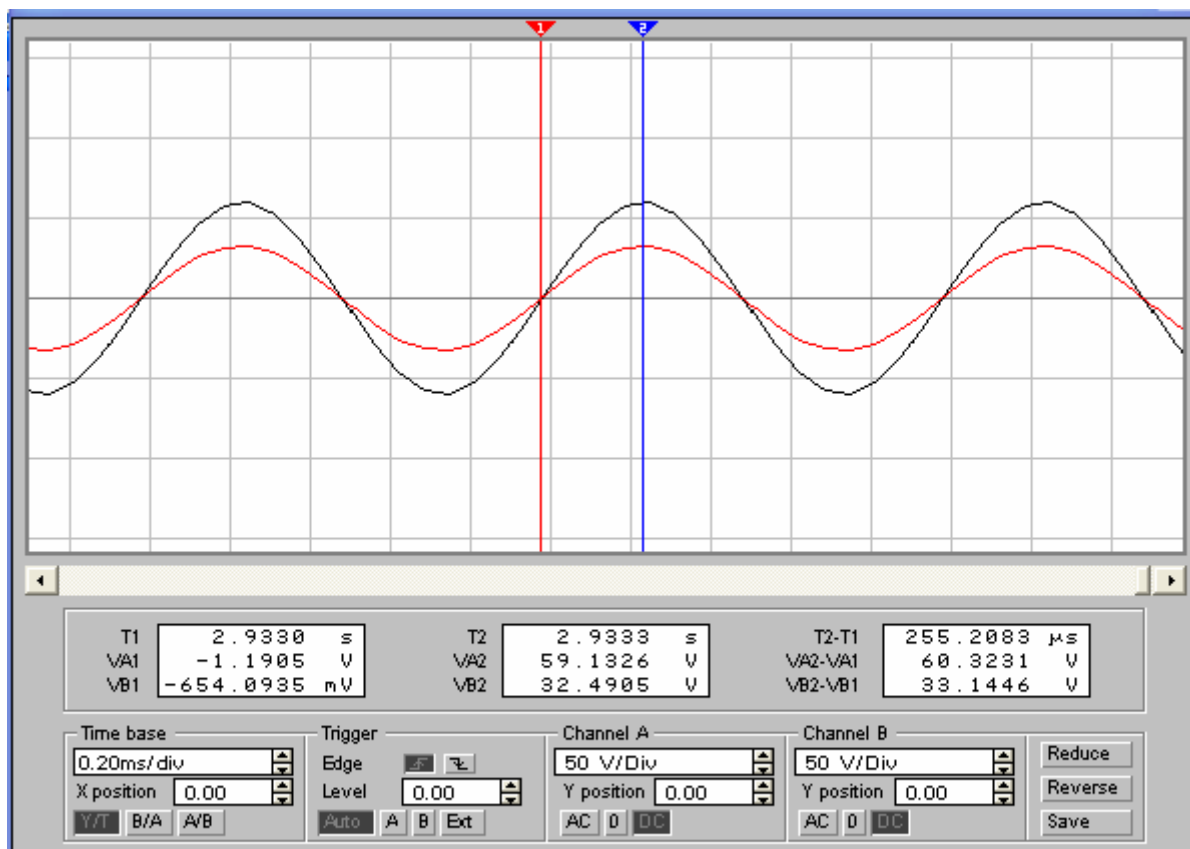


Рисунок 4.9

Відлічити значення амплітуд у правому віконці:

$$U_{\text{мвх}} = VA2 - VA1;$$

$$U_{\text{мвих}} = VB2 - VB1.$$

4.3.6 Визначити коефіцієнт передавання (1) і порівняти його з розрахованим в п. 3.2.

4.3.7 Визначити погрішність та зробити висновки щодо неї.

4.4 Дослідити регулятор напруги

4.4.1 Установити розраховані в п. 3.2 опори резисторів R_1 і R_2 (рис. 4.1).

Таблиця 4.1

$\frac{R_1}{R_{1\text{ ном}}}$	R_1 , кОм	$U_{\text{м вх}}$, В	$U_{\text{м вих}}$, В
0.0			
0.5			
1.0			
2.0			

Таблиця 4.2

$\frac{R_2}{R_{2\text{ ном}}}$	R_2 , кОм	$U_{\text{м вх}}$, В	$U_{\text{м вих}}$, В
0.0			
0.5			
1.0			
2.0			

4.4.2 Зменшуючи та збільшуючи по черзі опори резисторів R_1 та R_2 і вимірюючи амплітуду вихідної напруги, занести дані до табл. 4.1 та 4.2.

4.4.3 Зробити висновки щодо впливу опорів плечей на вихідну напругу.

4.4.4 Зробити висновки щодо меж регулювання $U_{\text{мвих}}$ при зміні опорів відповідно верхнього та нижнього плечей.

4.5 Дослідити подільник напруги під навантаженням

4.5.1 Установити розраховані в п. 3.2 опори резисторів R_1 і R_2 .

4.5.2 Визначити за п. 4.3.4 амплітуду вихідної напруги $U_{\text{мвих}}$ на холостому ході і результат занести до табл. 4.3.

4.5.3 Підімкнути опір навантаження $R_{\text{н}}$ до виходу подільника клавішею R .

4.5.4 Установити опір резистора $R_{\text{н}} = 0,5R_2$.

4.5.5 Визначити за п. 4.3.5 амплітуду вихідної напруги під навантаженням і результат занести до табл. 4.3.

4.5.6 Зробити висновки щодо впливу навантаження на вихідну напругу подільника.

Таблиця 4.3

Режим	$U_{\text{м вих}}$, В
Хол. хід	
Навант.	

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

- 5.1.1 Схема дослідження подільника напруги на холостому ході.
- 5.1.2 Схема дослідження подільника напруги під навантаженням.
- 5.1.3 Розрахунки за пп. 3.2; 3.3; 3.4.
- 5.1.4 Форми табл. 4.1; 4.2; 4.3.

5.2 Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1 Діаграма роботи подільника за п. 4.3.4.
- 5.2.2 Розрахунки за пп. 4.3.6 та 4.3.7.
- 5.2.3 Висновки за п. 4.3.7.
- 5.2.4 Таблиці 4.1; 4.2; 4.3.
- 5.2.5 Висновки за пп. 4.4.3 та 4.4.4.
- 5.2.6 Висновки за п. 4.5.6.

6 Ключові питання

- 6.1 Принцип дії резистивного подільника напруги.
- 6.2 Вплив опору плечей подільника на вихідну напругу.
- 6.3 Вплив опору навантаження на вихідну напругу подільника.
- 6.4 Принцип дії резистивного регулятора напруги.
- 6.5 Межі регулювання вихідної напруги для різних видів регуляторів.

Рекомендована література

Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина I. – С. 14-18.

Лабораторна робота № 2

Дослідження напівпровідникових діодів

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми дослідження напівпровідникових діодів для знімання вольт-амперних характеристик (ВАХ).
- 1.2 Знімати та будувати ВАХ напівпровідникових діодів.
- 1.3 Визначати параметри напівпровідникових діодів за характеристиками.

2 Ключові положення

Напівпровідникові діоди (надалі: діоди) мають одnobічну провідність.

Під *прямою* напругою діод відкритий і його *прямий* струм може бути необмежено великим. Щодо прямої напруги, то чим вона менше, тим вище якість діода. Для ідеального діода з кремнію пряма напруга не перевищує 0,7 В.

Під *зворотною* напругою діод закритий, його *зворотний* струм нехтовно малий і чим він менше, тим вище якість діода. Щодо зворотної напруги, то вона може бути скільки завгодно великою в межах електричної міцності діода.

Таким чином, діод пропускає струм практично тільки в одному напрямі. Через це діоди застосовуються для перетворення біполярної змінної напруги в однополярну, тобто для випрямлення напруги або струму.

Електричні властивості діода віддзеркалюються його вольтамперною характеристикою (ВАХ), якою є залежність струму діода від напруги на ньому.

Одним з різновидів діодів є *стабілітрони*. Прямі області ВАХ діода і стабілітрона практично не відрізняються. Під зворотною ж напругою певної величини, яка зветься *напругою стабілізації*, *p-n*-перехід стабілітрона пробивається і його зворотний струм у режимі пробою різко зростає при незначному збільшенні зворотної напруги. Через це стабілітрони використовують для стабілізації напруги.

У даній роботі досліджуються випрямляючі діоди та стабілітрони.

3 Домашнє завдання

3.1 Навести схему дослідження напівпровідникових діодів для знімання прямих та зворотних областей ВАХ.

3.2 Навести очікувану ВАХ випрямляючого діода.

3.3 Навести очікувану ВАХ стабілітрона.

3.4 Розрахувати диференційний опір діода

$$r_d = \frac{25}{I_{пр}} + r_6$$

для значень прямого струму:

$$I_{пр} = (4 + 0.02 n); (8 + 0.02 n); (12 + 0.02 n) \text{ мА},$$

де n – остання цифра номера студентського квитка;

$r_6 = 3 \text{ Ом}$ – опір p - і n -шарів діода.

4 Лабораторне завдання

4.1 Порівняти складену схему дослідження (рис. 4.1) з лабораторним стендом і знайти на ньому джерела живлення, органи керування та вимірювальні прилади.

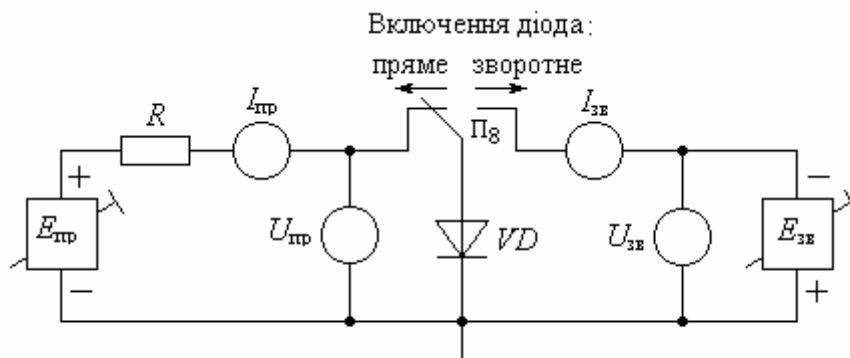


Рисунок 4.1 – Схема дослідження діода

Джерелом прямої напруги $E_{пр}$ є E_1 , а зворотної – джерело E_2 .

Включення діода (пряме чи зворотне) здійснюється перемикачем Π_8 .

Прямий струм $I_{пр}$ і пряма напруга $U_{пр}$ вимірюються приладами відповідно I_1 та U_1 .

Зворотний струм $I_{зв}$ і зворотна напруга $U_{зв}$ вимірюються приладами відповідно I_2 та U_2 .

4.2 Включити стенд тумблером “Общее включение стола” та подати живлення для прямої напруги тумблером E_1 і для зворотної – тумблером E_2 .

4.3 Зняти ВАХ випрямляючого діода

4.3.1 Установити тумблер Π_6 в положення “ОБ”.

4.3.2 Підікнуту вказаний викладачем діод до гнізда 4.

4.3.3 Заготовити та оцифрувати осі координат для ВАХ випрямляючого діода $I_d = f(U_d)$ так, щоб площа графіку була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.

4.3.4 Здійснити схему дослідження діода під прямою напругою переведенням тумблера Π_8 в положення “Прямое”.

4.3.5 Зняти та побудувати пряму область ВАХ діода, змінюючи прямий струм $I_{\text{пр}}$ (прилад I_1) регулятором R_6 , вимірюючи пряму напругу $U_{\text{пр}}$ (прилад U_1) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графік прямої області ВАХ $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *забороняється*.

4.3.6 Здійснити схему дослідження діода під зворотною напругою переведенням тумблера Π_8 в положення “Обратное”.

4.3.7 Зняти та побудувати зворотну область ВАХ діода, змінюючи зворотну напругу $U_{\text{зв}}$ (прилад U_2) регулятором R_{12} , вимірюючи зворотний струм $I_{\text{зв}}$ (прилад I_2) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графік (п. 4.3.5) зворотної області ВАХ $I_{\text{зв}} = f(U_{\text{зв}})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *забороняється*.

4.3.8 Розрахувати диференційний опір діода для середньої точки прямої області ВАХ:

$$r_d = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}}.$$

4.3.9 Зробити висновки щодо:

- меж змінення прямого струму і прямої напруги;
- меж змінення зворотного струму і зворотної напруги;
- співвідношення між прямим і зворотним струмами;
- співвідношення між прямою і зворотною напругами.

4.4 Зняти ВАХ стабілітрона

4.4.1 Підімкнути стабілітрон до гнізда 4.

4.4.2 Заготовити та *оцифрувати* осі координат для ВАХ стабілітрона $I_c = f(U_c)$ так, щоб площа графіку була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.

4.4.3 Зняти та побудувати пряму та зворотну області ВАХ стабілітрона.

4.4.4 Розрахувати диференційний опір стабілітрона для середньої точки зворотної області ВАХ:

$$r_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{зв}}}{\Delta I_{\text{зв}}}.$$

4.4.5 Зробити висновки щодо:

- меж змінення прямого струму і прямої напруги;
- меж змінення зворотного струму і зворотної напруги;
- співвідношення між прямим і зворотним струмами;
- співвідношення між прямою і зворотною напругами.

4.4.6 Порівняти r_d та $r_{\text{ст}}$ і зробити з цього висновки.

ФАКУЛЬТАТИВНО

4.5 Зняти ВАХ випрямляючого діода на підвищеній температурі

4.5.1 Закрити діоди коробкою нагрівача. Час підігріву 5-10 хвилин.

4.5.2 Виконати дії за пп. 4.3.1 ... 4.3.7 та побудувати характеристики на графіку, одержаному за п. 4.3.

4.5.3 Зробити висновки щодо впливу температури на прямі та зворотні струми й напруги діода.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження за п. 3.1.

5.1.2 Очікувані ВАХ за пп. 3.2 та 3.3.

5.1.3 Розрахунки за п. 3.4.

5.2 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 ВАХ випрямляючого діода за пп. 4.3.5 та 4.3.7.

5.2.2 Розрахунки за п. 4.3.8 та 4.4.4.

5.2.3 Висновки за п. 4.3.9.

5.2.4 ВАХ стабілітрона за п. 4.4.3.

5.2.5 Висновки за пп. 4.4.5 та 4.4.6.

6 Ключові питання

6.1 Принцип дії випрямляючого діода.

6.2 Принцип дії стабілітрона.

6.3 Хід ВАХ випрямляючого діода.

6.4 Хід ВАХ стабілітрона.

6.5 Вплив температури на ВАХ діода (факультативно).

Рекомендована література

1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина I. – С. 26 – 42.

2 Батушев В.А. Электронные приборы: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – С. 29 – 82.

Лабораторна робота № 3

Дослідження трансформатора та діода у схемах однонапівперіодного випрямляча

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми однонапівперіодного випрямляча з трансформаторним входом.
- 1.2 Визначати та змінювати коефіцієнт трансформації.
- 1.3 Експериментально визначати амплітуди випрямленої, прямої та зворотної напруг у схемі випрямляча.
- 1.4 Змінювати полярність випрямленої напруги.
- 1.5 Розраховувати середнє значення (постійної складової) вихідної напруги.

2 Ключові положення

Трансформатор призначений для перетворення рівня змінної напруги. Він містить первинну та вторинну обмотки. Первинна обмотка є вхідною, а вторинна – вихідною.

Основним параметром трансформатора є коефіцієнт трансформації, який визначається відношенням числа витків вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки.

Амплітуда напруги вторинної обмотки трансформатора розраховується за формулою:

$$U_{m2} = U_{m1} N,$$

де U_{m1} – амплітуда напруги первинної обмотки;

N – коефіцієнт трансформації.

У схемах випрямлячів найчастіше використовується знижуючий трансформатор, у якому кількість витків вторинної обмотки менша за кількість витків первинної обмотки. У такому разі $N < 1$.

Напруга вторинної обмотки трансформатора є вхідною напругою випрямляча.

Випрямляч призначений для перетворення біполярної напруги в однополярну. Найпростішим є однонапівперіодний випрямляч, яким є послідовне з'єднання діода і опору навантаження, який живиться вихідною випрямленою напругою.

Амплітуда вихідної напруги випрямляча менша за вхідну на величину амплітуди прямої напруги на діоді:

$$U_{твих} = U_{твх} - U_{тпр},$$

де $U_{тпр}$ – амплітуда прямої напруги на діоді.

Амплітуда зворотної напруги $U_{тзв}$ діода однонапівперіодного випрямляча дорівнює амплітуді вхідної напруги.

3 Домашнє завдання

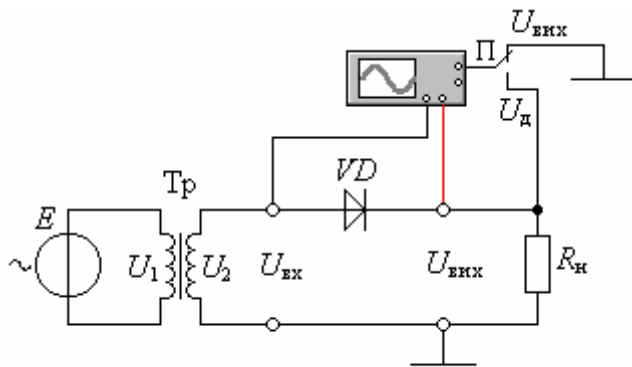


Рисунок 3.1 – Схема дослідження випрямляча

3.1 Навести схеми однонапівперіодного випрямляча з трансформаторним входом для одержання випрямлених позитивної та негативної напруг.

3.2 Навести діаграму роботи випрямляча, тобто епюри напруг вхідної (на вторинній обмотці трансформатора), на діоді та вихідної (на опорі навантаження).

3.3 Розрахувати напругу U_{m2} вторинної обмотки трансформатора при напрузі первинної обмотки $U_{m1} = 220$ В і коефіцієнті трансформації $N = \frac{1}{30}$.

3.4. Розрахувати амплітуду вихідної напруги $U_{твих}$ однонапівперіодного випрямляча, якщо амплітуда прямої напруги на діоді дорівнює 0,7 В.

3.6 Розрахувати опір навантаження

$$R_n = 50 + 10n, \text{ Ом},$$

де n – номер лабораторного стола.

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “Випрямляч” (рис. 4.1).

4.2. Порівняти складену схему зі схемою віртуального макета (рис. 4.1).

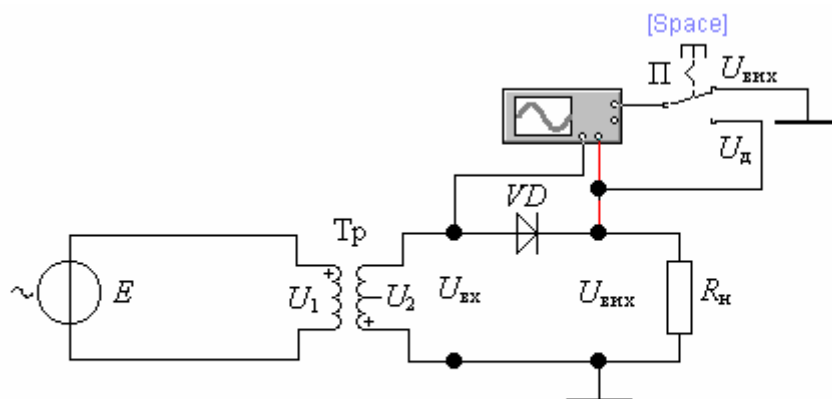


Рисунок 4.1 – Реалізація схеми дослідження випрямляча у програмному середовищі EWB

4.3 Установити розраховані параметри

4.3.1 Установити розраховану напругу, для чого установити курсор на умовному позначенні джерела напруги E (рис. 4.1) і клацнути правою клавішею миші. Відкриється вікно (рис. 4.2).

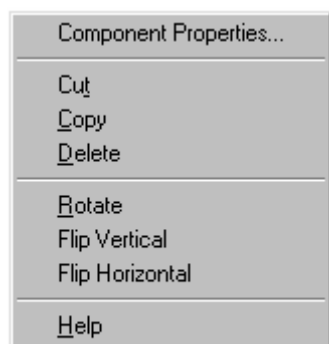


Рисунок 4.2

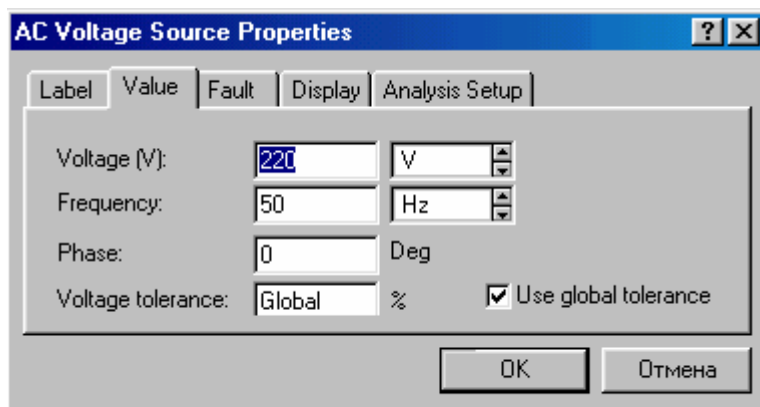


Рисунок 4.3

Установити курсор на **Component Properties...** і клацнути лівою клавішею миші. Відкриється панель (рис. 4.3), у відповідних віконцях якої треба установити розраховану напругу і частоту 50 Гц і підтвердити це кнопкою ОК.

4.3.2 Установити коефіцієнт трансформації $1/30$, для чого установити курсор на умовному позначенні трансформатора Tr (рис. 4.1) і клацнути правою клавішею миші. Відкриється вікно (рис. 4.2).

Установити курсор на **Component Properties...** і клацнути лівою клавішею миші. Відкриється панель **Transformer Properties**, на якій треба натиснути кнопку **Edit** лівою клавішею миші. З'явиться панель **Transformer Model 'ideal'**, у віконці **Primary-to-secondary turns ratio (N):** якої необхідно установити величину, зворотну коефіцієнту трансформації ($1/N$), тобто 30 і підтвердити це кнопкою ОК.

4.3.3 Установити опір навантаження, для чого установити курсор на умовному позначенні опору навантаження R_n (рис. 4.1) і клацнути правою клавішею миші. Відкриється вікно (рис. 4.2).

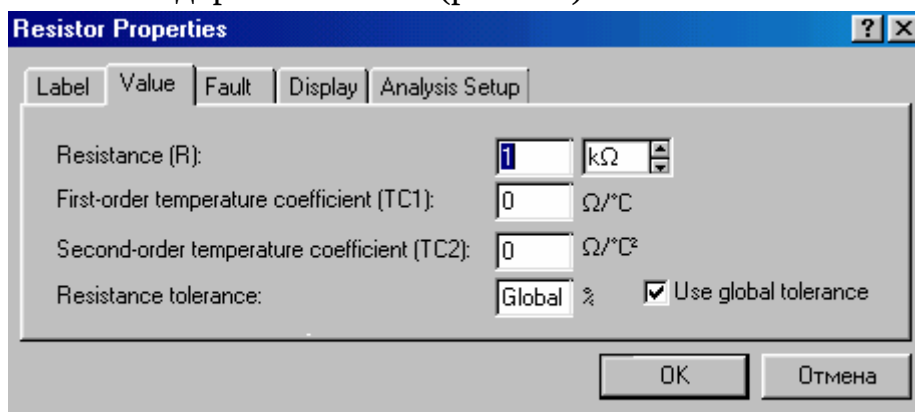


Рисунок 4.4

Установити курсор на **Component Properties...** і клацнути лівою клавiшею миші.

Вiдкриється панель (рис. 4.4), на якiй треба установити розрахований опiр навантаження i пiдтвердити це кнопкою ОК.

4.4 Дослiдити вхiдну i вихiдну напругу та напругу на дiодi

4.4.1 Включити стенд установкою курсора на цифру 1 тумблера  i клацанням лiвою клавiшею миші.

4.4.2 Пiдiмкнути канали A i B осцилографу вiдповiдно до входу i виходу випрямляча переводом перимикача П в положення $U_{\text{вих}}$ клавiшею Space.

 4.4.3 Розкрити осцилограф установленням курсора на його умовному позначеннi (рис. 4.5) i подвiйним клацанням лiвою клавiшею миші. На екранi будуть мерехтiти два променi: чорний – для вхiдної напруги та червоний – для вихiдної (рис. 4.6).

Рисунок 4.5

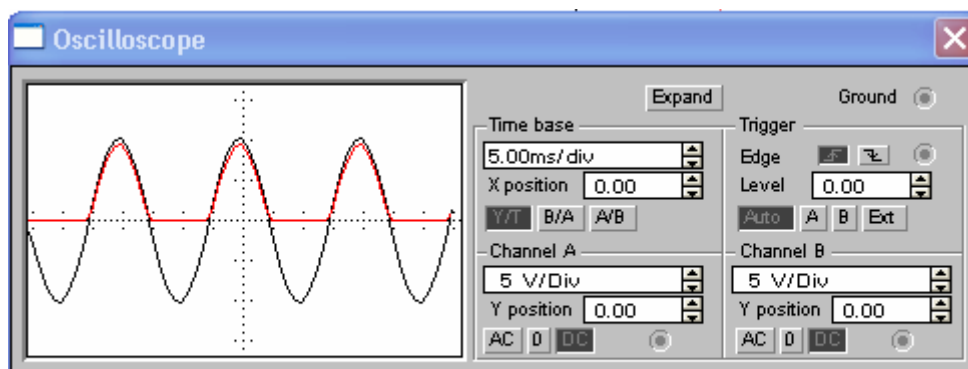


Рисунок 4.6

4.4.4 Вимiрити амплiтуди напруг вхiдної $U_{\text{мвх}}$, на дiодi $U_{\text{мд}}$ та вихiдної $U_{\text{мвих}}$ i навести в **масштабi** діаграму роботи випрямляча, розміщуючи **одну** пiд **одною** осцилограми у наступному порядку: $U_{\text{вх}}(t)$, $U_{\text{д}}(t)$, $U_{\text{вих}}(t)$.

Вимiрювання амплiтуд за п. 4.4.4 здiйснюється наступним чином:

- зупинити зображення клавiшею *Pause*;
- збiльшити зображення клавiшею *Expand* на осцилографi (рис. 4.7);
- розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою.

Амплiтуди $U_{\text{мвх}}$ та $U_{\text{мвих}}$ вимiрюються на збiльшеному екранi осцилографу установленням маркерiв 1 i 2 вiдповiдно на нульове i амплiтудне значення осцилограм (рис. 4.7).

Амплiтуди напруг можна вiдлiчити у правому вiконцi:

$$U_{\text{мвх}} = VA2 - VA1,$$

$$U_{\text{мвих}} = VB2 - VB1.$$

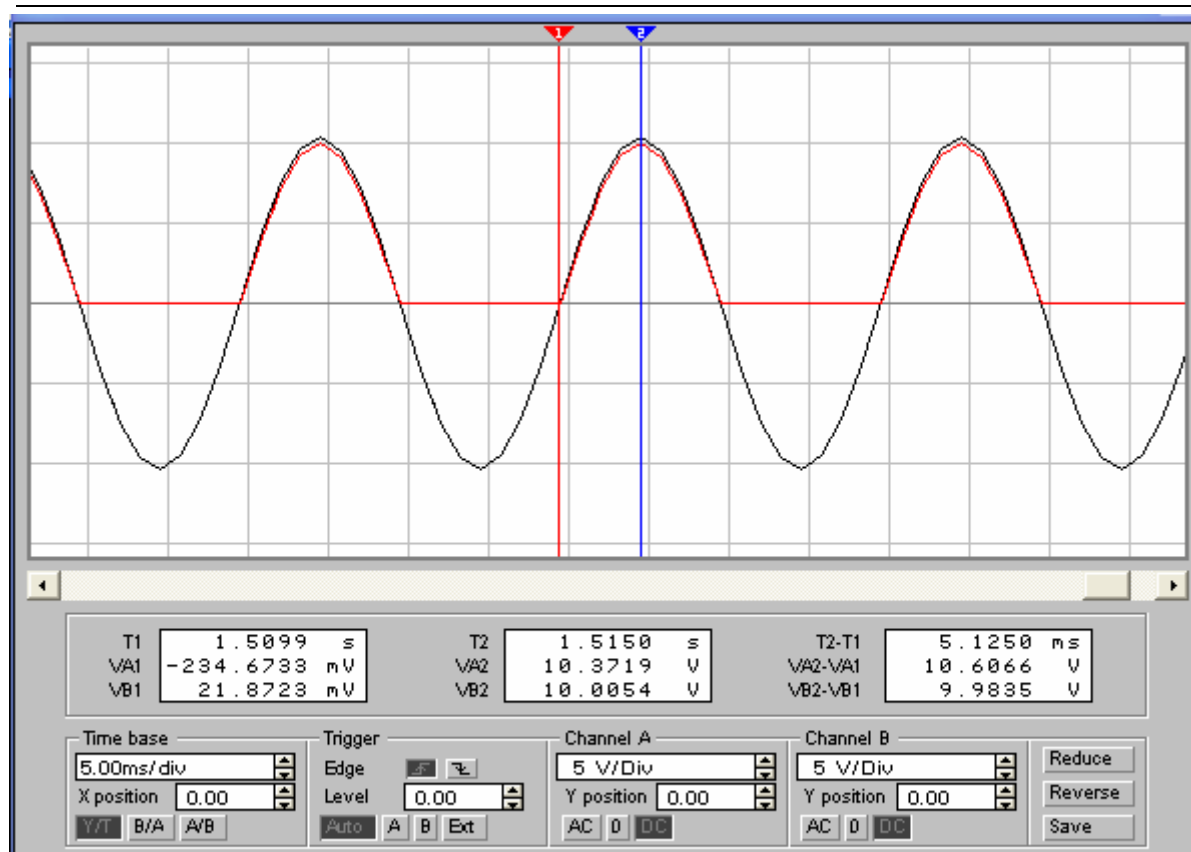


Рисунок 4.7

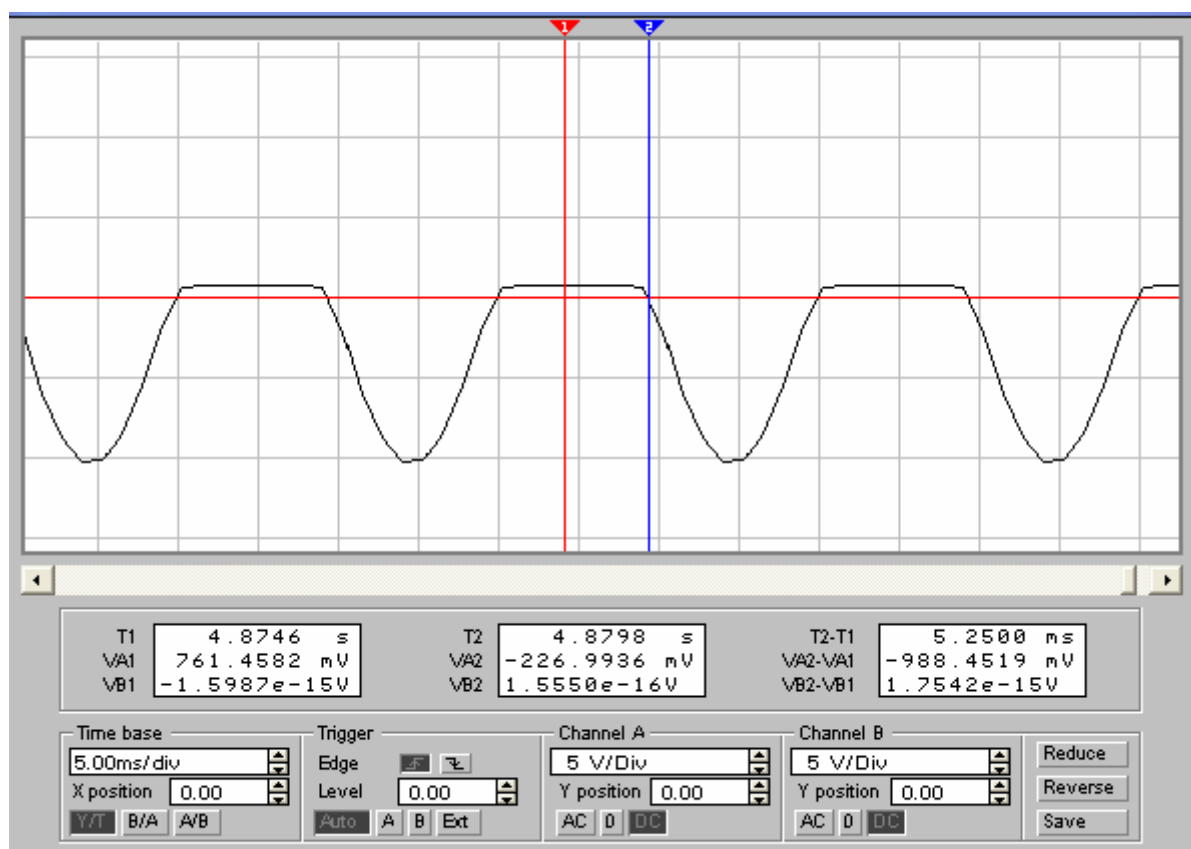


Рисунок 4.8

Для дослідження напруги на діоді підімкнути канал А осцилографа до діода переводом клавішею *Space* перемикача П в положення U_d . На збільшеному екрані буде осцилограма напруги на діоді (рис. 4.8). Установкою маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення можна відлічити амплітуду прямої напруги на діоді у правому віконці:

$$U_{mnp} = VA2 - VA1.$$

Для вимірювання зворотної напруги на діоді слід перенести маркер 2 на амплітудне значення негативної напівхвилі і відлічити у середньому віконці

$$U_{mzv} = VA2 - VA1.$$

4.4.6 Занести результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань

Величина	Розрах.	Вимір.	Похибка абсол.	Похибка, %
$U_{m1}, В$				
$U_{m2}, В$				
$U_{m\text{ вх}}, В$				

4.4.7 Зробити висновки щодо співвідношень амплітуд:

- первинної та вторинної напруг;
- вторинної та вхідної напруг;
- вхідної та вихідної напруг;
- прямої та зворотної напруг.

4.4.8 Зробити висновки щодо розбіжності (похибки вимірювань) між виміриними та розрахунковими величинами: $U_{m\text{ вх}}, U_{m\text{ вих}}, U_{mnp}, U_{mzv}$.

4.4.9 Дослідити вплив опору навантаження R_n на вихідну напругу, для чого вимірити амплітуду вихідної напруги за п. 4.4.4 при опорах навантаження

$$R_{n1} = 50 + 10n, \text{ Ом та}$$

$$R_{n2} = 5 + n, \text{ Ом,}$$

де n – номер лабораторного стола. (Змінення опору здійснюється за п. 4.3.3). Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

4.4.10 Зробити висновки щодо впливу опору навантаження на амплітуду вихідної напруги.

Таблиця 4.2

$R_n,$ Ом	$R_n,$ Ом	$U_{m\text{ вих}},$ В
50 +10N		
5 + N		

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

- 5.1.1 Схема дослідження.
- 5.1.2 Діаграма роботи за п. 3.2.
- 5.1.3 Розрахунки за пп. 3.3 – 3.6.
- 5.1.4 Форми табл. 4.1 та 4.2.

5.2 Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1 Діаграма роботи за п. 4.4.4.
- 5.2.2 Таблиця 4.1.
- 5.2.3 Висновки за п. 4.4.7 та 4.4.8.
- 5.2.4 Таблиця 4.2.
- 5.2.5 Висновки за п. 4.4.10.

6 Ключові питання

- 6.1 Принцип дії випрямляча.
- 6.2 Параметри трансформатора.
- 6.3 Співвідношення амплітуд вихідної та вхідної напруг випрямляча.
- 6.4 Змінення полярності випрямленої напруги.
- 6.5 Пряма та зворотна напруги на діоді.

Рекомендована література

- 1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина I. – С. 26 – 42.
- 2 Батушев В.А. Электронные приборы: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – С. 29 – 82.

Лабораторна робота № 4

Дослідження біполярного транзистора

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

1.1 Скласти схеми дослідження біполярного транзистора (БТ) для знімання вольтамперних характеристик (ВАХ).

1.2 Знімати та будувати вхідні та вихідні ВАХ у схемах зі спільним емітером та спільною базою.

1.3 Визначати статичні параметри транзисторів за їхніми ВАХ.

2 Загальні положення

Транзистор має три електроди (*емітер*, *базу* та *колектор*) і містить два *p-n*-переходи (*емітерний* та *колекторний*), які взаємодіють між собою.

Назва “Транзистор” перекладається на українську мову як “керований опір”.

Емітерний перехід є вхідним колом, а колекторний – вихідним. Якщо джерело вхідного сигналу витрачає меншу потужність за ту, що розсіюється у вихідному колі, то вхідний сигнал підсилюється.

Розрахунок підсилювача неможливий без використання параметрів транзистора. Ці параметри не є однозначними і залежать від режиму (скупності напруг та струмів) транзистора, тобто кількість значень параметрів є нескінченною.

Щоб не наводити таку безліч даних у довідниках, використовують визначення параметрів за вольтамперними характеристиками транзистора. Хід ВАХ визначається *схемою включення* транзистора. Існують три схеми включення:

- зі спільним емітером (СЕ);
- зі спільною базою (СБ);
- зі спільним колектором (СК).

Відрізняють *вхідні* та *вихідні* ВАХ для кожної схеми ввімкнення транзистора.

Вхідними ВАХ є залежність вхідного струму від вхідної напруги при *завданій* вихідній напрузі.

Вихідними ВАХ є залежність вихідного струму від вихідної напруги при *завданому* вхідному струмі.

Оскільки *завдані* параметри режиму можуть мати не одне значення, то ВАХ транзистора являють із себе сім’ю.

Транзистор характеризується параметрами, формули і назви яких наведені в табл. 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – h -параметри транзистора з СЕ

Параметр	Умова сталості	Формула	Фізичні значення (назва) параметра
h_{11E}	$U_{KE} = \text{const}$	$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$	Вхідний опір
h_{12E}	$I_B = \text{const}$	$h_{12E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}}$	Коефіцієнт зворотного зв'язку
h_{21E}	$U_{KE} = \text{const}$	$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$	Коефіцієнт передавання струму бази
h_{22E}	$I_B = \text{const}$	$h_{22E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KB}}$	Вихідна провідність

Таблиця 2.2 – h -параметри транзистора з СБ

Параметр	Умова сталості	Формула	Фізичні значення (назва) параметра
h_{11B}	$U_{KB} = \text{const}$	$h_{11B} = \frac{\Delta U_{EB}}{\Delta I_E}$	Вхідний опір
h_{12B}	$I_E = \text{const}$	$h_{12B} = \frac{\Delta U_{EB}}{\Delta U_{KB}}$	Коефіцієнт зворотного зв'язку
h_{21B}	$U_{KB} = \text{const}$	$h_{21B} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E}$	Коефіцієнт передавання струму емітера
h_{22B}	$I_E = \text{const}$	$h_{22B} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KB}}$	Вихідна провідність

У даній роботі досліджується транзистор у схемах зі СЕ та СБ.

3 Домашнє завдання

3.1 Навести схеми дослідження БТ для зняття та побудови вхідних ВАХ у схемах зі СБ та СЕ.

3.2 Навести очікувані ВАХ за п. 3.1.

3.3 Навести формули для графо-аналітичного розрахунку h -параметрів.

4 Лабораторне завдання

4.1 Порівняти складені схеми дослідження (рис. 4.1), (рис. 4.2) з лабораторним стендом і знайти джерела живлення, органи керування та вимірювальні прилади.

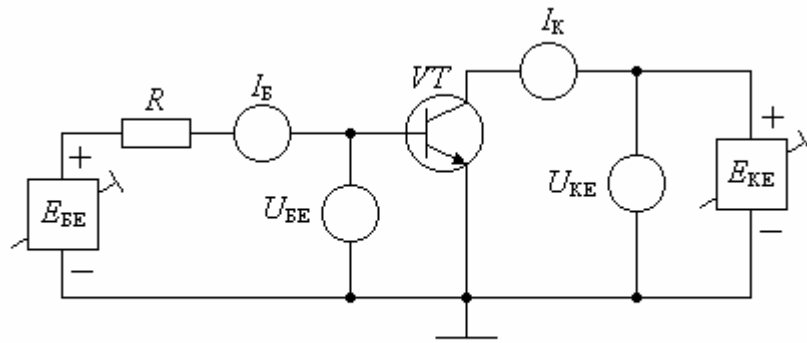


Рисунок 4.1 – Схема дослідження транзистора зі спільним емітером

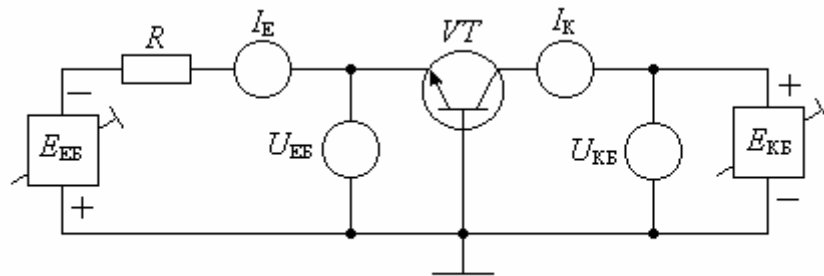


Рисунок 4.2 – Схема дослідження транзистора зі спільною базою

Джерелом вхідної напруги E_{BE} або E_{EB} на стенді є E_1 , а вихідної – джерело E_2 .

Включення транзистора зі СЕ або СБ здійснюється тумблером Π_6 .

Вхідний струм I_B або I_E змінюється регулятором R_6 , а вимірюється приладом I_1 .

Вихідна напруга U_{KE} змінюється регулятором R_{12} , а вимірюється приладом U_1 .

Вихідний струм I_K вимірюється приладом I_2 .

Межі шкал згаданих приладів для обох схем включення вказані на стенді.

4.2 Дослідити схему включення транзистора зі СЕ

4.2.1 Установити включення транзистора зі СЕ переведенням тумблера Π_6 в положення “ОЭ”.

4.2.2 Включити стенд тумблером “Общее включение стола” та подати живлення вхідного кола тумблером E_1 і вихідного – тумблером E_2 .

4.2.3 Установити статичний режим закорочуванням опору R_K у колекторному колі.

4.2.4 Заготовити та оцифрувати осі координат $I_B = f(U_{BE})$ так, щоб площа графіку була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.

4.2.5 Зняти та побудувати сім'ю вхідних характеристик для схеми зі СЕ

$$I_B = f(U_{BE})$$

при постійних напругах на колекторі

$$U_{KE} = 0,1\text{В}; 5\text{В},$$

змінюючи струм бази I_B (прилад I_1) регулятором R_6 , вимірюючи напругу бази U_{BE} (прилад U_1) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графіку $I_B = f(U_{BE})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *не дозволяється*.

Напруга U_{KE} змінюється регулятором R_{12} і вимірюється вольтметром U_2 .

4.2.6 Заготовити та *оцифрувати* осі залежності $I_K = f(U_{KE})$ так, щоб площа графіку була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.

4.2.7 Зняти та побудувати сім'ю вихідних характеристик для схеми зі СЕ

$$I_K = f(U_{KE})$$

при постійних струмах бази

$$I_B = 0,05\text{ мА}; 0,1\text{ мА}; 0,15\text{ мА},$$

змінюючи напругу колектора U_{KE} (прилад U_2) регулятором R_{12} , вимірюючи струм колектора I_K (прилад I_2) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графіку $I_K = f(U_{KE})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *не дозволяється*.

4.3 Дослідити включення транзистора зі СБ

4.3.1 Установити включення транзистора зі СБ переведенням тумблера Π_6 в положення "ОБ".

4.3.2 Установити статичний режим закорочуванням опору R_K у колекторному колі.

4.3.3 Заготовити та *оцифрувати* осі залежності $I_E = f(U_{EB})$ так, щоб площа графіку була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.

4.3.4 Зняти та побудувати сім'ю вхідних характеристик для схеми зі СБ

$$I_B = f(U_{EB})$$

при постійних напругах на колекторі

$$U_{KE} = 0,1\text{В}; 5\text{В},$$

змінюючи струм бази I_B (прилад I_1) регулятором R_6 , вимірюючи напругу бази U_{BE} (прилад U_1) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графіку $I_B = f(U_{BE})$.

Напруга U_{KE} змінюється регулятором R_{12} і вимірюється вольтметром U_2 .

4.3.5 Заготовити та *оцифрувати* осі $I_K = f(U_{KB})$ так, щоб площа графіку була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.

4.3.6 Зняти та побудувати сім'ю вихідних характеристик для схеми зі СБ

$$I_K = f(U_{KB})$$

при постійних струмах емітера

$$I_E = 1 \text{ мА}; 2 \text{ мА}; 3 \text{ мА},$$

змінюючи напругу колектора U_{KB} (прилад U_2) регулятором R_{12} , вимірюючи струм колектора I_K (прилад I_2) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графіку $I_K = f(U_{KB})$.

4.3.7 Зробити висновки про спосіб змінення струму колектора у схемах зі СЕ та СБ.

4.4 Визначити параметри транзистора

4.4.1 Визначити h_{11E} ; h_{21E} ; h_{22E} в робочій точці $I_B = 0,1 \text{ мА}$ індивідуально для кожного члена бригади

$$U_{KE1} = 4 \text{ В}; U_{KE2} = 5 \text{ В}; U_{KE3} = 6 \text{ В}.$$

4.4.2 Визначити h_{11B} ; h_{21B} в робочій точці при $I_E = 2 \text{ мА}$ та колекторній напрузі за п. 4.4.1.

4.4.3 Порівняти розраховані h -параметри для схем зі СЕ та зі СБ і зробити висновки щодо кількісного їхнього співвідношення.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схеми дослідження за п. 3.1.

5.1.2 Очікувані ВАХ за п. 3.2.

5.1.3 Формули за п. 3.3.

5.2 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 Зняті ВАХ за пп. 4.2.5 та 4.2.7.

5.2.2 Зняті ВАХ за пп. 4.3.4 та 4.3.6.

5.2.3 Висновки за пп. 4.3.7 та 4.4.3.

6 Ключові питання

6.1 Принцип дії біполярного транзистора.

6.2 Хід статичних вхідних характеристик.

6.3 Хід статичних вихідних характеристик.

6.4 Визначення h -параметрів за статичними характеристиками.

Рекомендована література

- 1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина І. – С.58 – 83.
- 2 Батушев В.А. Электронные приборы: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – С.93 – 166.
- 3 Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1981. – С. 166 – 248.

Лабораторна робота № 5

Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми підсилювачів на біполярних транзисторах.
- 1.2 Експериментально визначати коефіцієнт підсилення.
- 1.3 Змінювати коефіцієнт підсилення.
- 1.4 Установлювати активний режим роботи транзистора.
- 1.5 Вибирати положення робочої точки для мінімальних спотворень сигналу.
- 1.6 Експериментально визначати межі змінювання напруги живлення та опору навантаження.

2 Ключові положення

Транзисторний підсилювач, схема якого наведена на рис. 2.1, містить транзистор VT , опір колекторного навантаження R_K , резистор в колі бази R_B та джерело живлення $E_{\text{ж}}$.

$U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга, яку треба підсилити;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна підсилена напруга.

Опором резистора R_B установлюють робочу точку.

Щоб опір джерела вхідного сигналу не впливав би на режим транзистора VT , напруга $U_{\text{вх}}$ підводиться до підсилювача через розподільувальний конденсатор C_p .

При неспотвореному сигналі обидві його різнополярні напівхвилі мають однакові амплітуди. Для цього робоча точка має розміщуватись на середині робочої ділянки, тобто напруга колектора в робочій точці має становити

$$U_{0K} = 0,5(E_{\text{ж}} - U_{\text{КЕнас}}). \quad (1)$$

При цьому струм колектора визначиться як

$$I_K = \frac{E_{\text{ж}} - U_{0K}}{R_K}, \quad (2)$$

а струм бази як

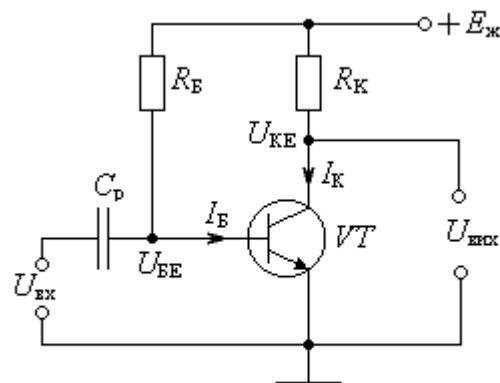


Рисунок 2.1 – Принципова схема підсилювача зі спільним емітером

$$I_B = \frac{I_K}{\beta}, \quad (3)$$

де β – коефіцієнт передавання струму в схемі зі спільним емітером.

Тоді опір резистора R_B для неспотвореного підсилення при максимальній амплітуді сигналу становитиме

$$R_B = \frac{E_{\text{ж}} - 0,7}{I_B}. \quad (4)$$

Щодо спотворень вихідної напруги, то вони визначаються положенням робочої точки, яке при рівних інших умовах задається струмом бази, тобто опором R_B (4).

При оптимальному R_B вихідна напруга сигналу розміщується у середині між $E_{\text{ж}}$ та $U_{\text{КЕнас}}$ (рис. 2.2,а).

При зменшеному R_B напругою $U_{\text{КЕнас}}$ обмежується негативна напівхвиля (рис. 2.2,б) а при збільшеному R_B напругою $E_{\text{ж}}$ обмежується позитивна напівхвиля (рис. 2.2,в).

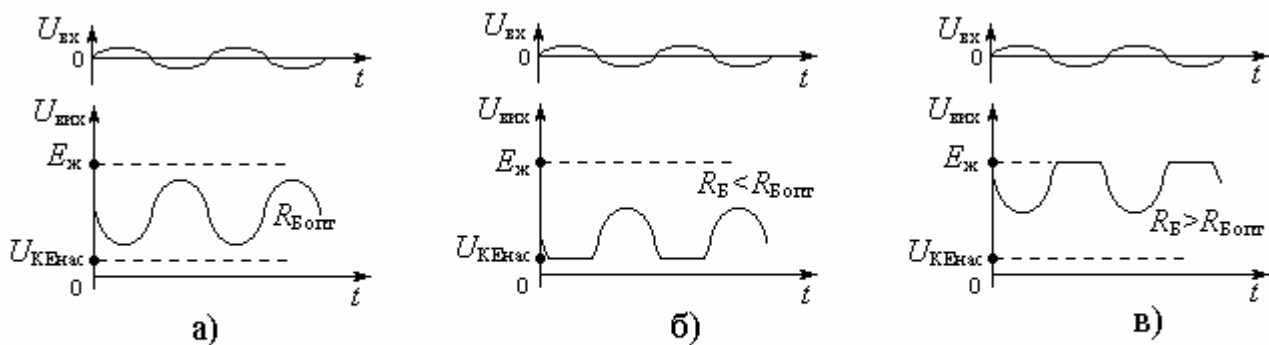


Рисунок 2.2 – Діаграма роботи підсилювача:

а – при $U_{0K} = 0,5(E_{\text{ж}} - U_{\text{КЕнас}})$; б – при $U_{0K} < 0,5(E_{\text{ж}} - U_{\text{КЕнас}})$; в – при $U_{0K} > 0,5(E_{\text{ж}} - U_{\text{КЕнас}})$

3 Домашнє завдання

3.1 Скласти схему дослідження підсилювача зі спільним емітером.

3.2 Навести очікувані епюри вхідної та вихідної напруг (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у **різних** стовпцях або на **різних** сторінках **не дозволяється**).

Визначити напругу живлення $E_{\text{ж}}$ для отримання амплітуди вихідної напруги $U_{\text{т вих}} = (15 + 0,5N)$, В. Тут N – номер робочого стола.

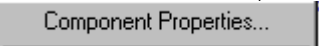
3.3 Визначити опір резистора в колі бази R_B , якщо $R_K = 1$ кОм, $U_{\text{КЕнас}} = 0,7$ В і $\beta = 25$.

3.4 Заготовити форму табл. 4.1.

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “Підсилювач” (рис. 4.1).

4.2 Установити розраховану напругу живлення $E_{\text{ж}}$ наступними діями.

4.2.1 Установити курсор на умовне позначення джерела живлення $E_{\text{ж}}$ так, щоб стрілка перетворилася на вказівний палець і клацнути правою клавішею миші. Відкриється віконце .

Підсилювач.ewb

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА

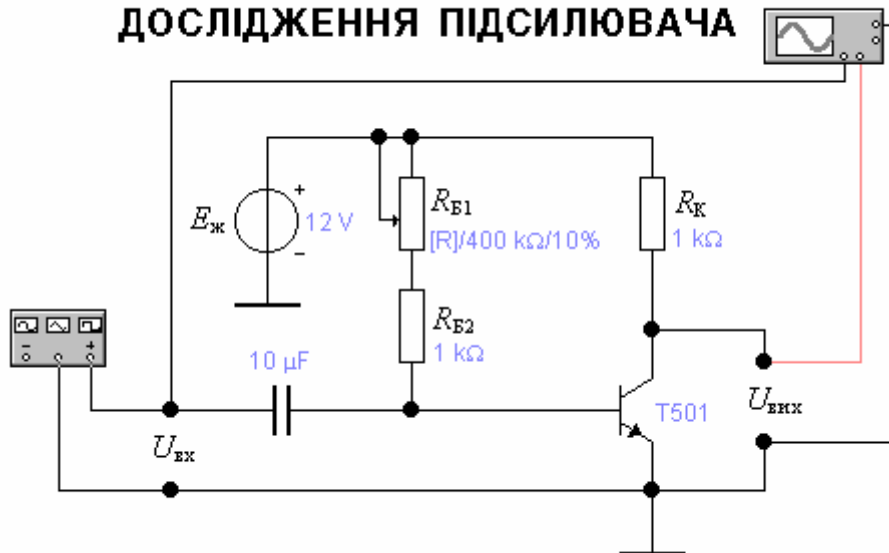
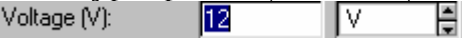


Рисунок 4.1 – Схема дослідження підсилювача

4.2.2 Установити курсор на це віконце і клацнути лівою клавішею. Відкриється вікно , в якому треба з клавіатури установити розраховане значення за п. 3.3.

4.2.3 Установити розрахований опір резистора $R_{\text{Б}}$ в колі бази клавішею R . Зменшення опору R здійснюється натисненням клавіші R , а збільшення – одночасним натисненням клавіш Shift і R .

4.3 Включити стенд, для чого установити курсор на цифру 1 тумблера  і клацнути лівою клавішею миші.

 4.4 Розкрити осцилограф (рис. 4.2) установленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтіти два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.

Рисунок 4.2

4.5 Зміненням опору $R_{\text{Б}}$ здійснити умову (1).

4.6 Визначити коефіцієнт підсилення

4.6.1 Розкрити генератор сигналу, для чого установити курсор на мале зображення генератора (рис. 4.3) і двічі клацнути лівою клавішею миші. З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.4).

Рисунок 4.3

4.6.2 У віконці **Frequency** генератора установити розмірність KHz і частоту вхідної напруги 1 KHz .

4.6.3 У віконці **Amplitude** генератора установити розмірність *mV* і таку амплітуду вхідної напруги, при якій досягається максимальна неспотворена вихідна напруга.

4.6.4 Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

- зупинити зображення клавішею *Pause*;
- збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі;
- розгорнути зображення горизонтальною прокруткою (рис. 4.5).

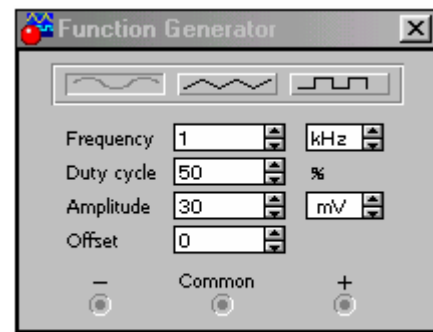


Рисунок 4.4

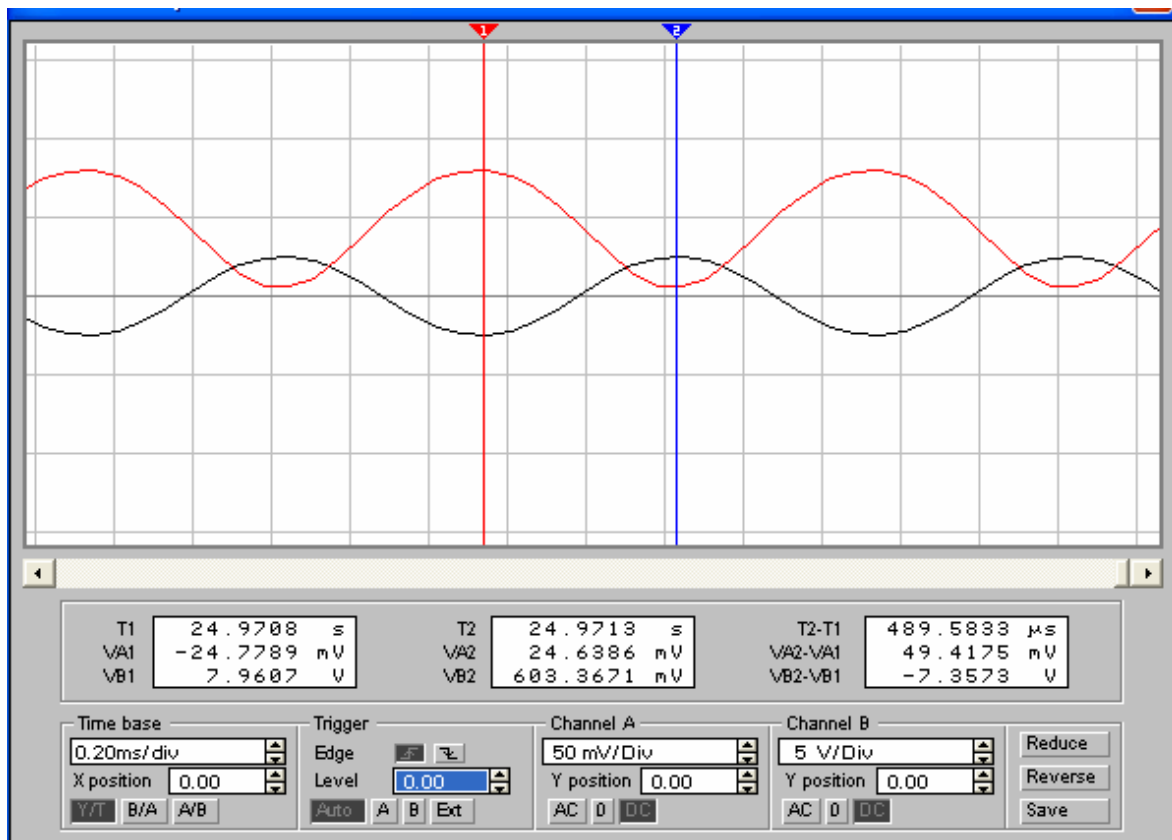


Рисунок 4.5

4.6.5 Зарисувати в *масштабі* осцилограми, зберігаючи *постійну складову* та звертаючи увагу на *фазу* сигналів (*зверху* вхідна напруга, *знизу* – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у *різних* стовпцях або на *різних* сторінках *не дозволяється*).

4.6.6 Вимірити постійну складову вихідної напруги U_{0K} , амплітуди вхідної U_{mvx} та вихідної U_{mvix} напруг, визначити коефіцієнт підсилення

$$K = \frac{U_{mvix}}{U_{mvx}}$$

і занести результати вимірювань та розрахунків до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення коефіцієнта підсилення

Номер вимірювання	Параметри			
	$U_{m\text{ вх}}, \text{ мВ}$	$U_{m\text{ вих}}, \text{ В}$	K	$U_{0к}, \text{ В}$
1				
2				

Амплітуди $U_{m\text{ вх}}$ та $U_{m\text{ вих}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 4.5) установленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди. Подвійні амплітуди сигналів можна відлічити у правому віконці:

$$2 U_{m\text{ вх}} = VA2 - VA1,$$

$$2 U_{m\text{ вих}} = VB2 - VB1.$$

4.6.7 Зробити висновки щодо складу (змінна та постійна складові) та полярності вхідної і вихідної напруг.

4.6.8 Зменшити амплітуду вхідної напруги удвічі і результати вимірювань за п. 4.6.6 занести до табл. 4.1.

4.6.9 Зробити висновки щодо впливу амплітуди вхідного сигналу на коефіцієнт підсилення, постійну і змінну складові вихідної напруги.

4.7 Дослідити вплив положення робочої точки на спотворення сигналу

4.7.1 Змінюючи в обидва боки від розрахованого опір R_b , зняти та навести в **масштабі** діаграми роботи підсилювача (рис. 2.2,б та рис. 2.2,в) з позначенням умов їхнього походження (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідні; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у **різних** стовпцях або на **різних** сторінках **не дозволяється**).

УВАГА !!!

Після роботи з **осцилографом** (рис. 4.4) або **генератором** (рис. 4.5) не діє жодна кнопка. Для уведення в дію кнопок треба установити курсор поза осцилографом та генератором і клацнути лівою клавішею миші. Кнопки почнуть діяти.

4.7.2 Зробити висновки щодо впливу опору R_b на постійну складову вихідної напруги та спотворення сигналу.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження підсилювача зі спільним емітером.

5.1.2 Очікувані діаграми роботи підсилювача.

5.1.3 Розрахунок напруги живлення.

5.1.4 Розрахунок опору резистора в колі бази.

5.1.5 Форма табл. 4.1.

5.2 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 Діаграми роботи за п. 4.6.5.

5.2.2 Таблиця 4.1.

5.2.3 Висновки за п. 4.6.9.

5.2.4 Діаграми роботи за п. 4.7.1.

5.2.5 Висновки за п. 4.7.2.

6 Ключові питання

6.1 Принцип дії підсилювача.

6.2 Зв'язок між напругою живлення та максимальною амплітудою вихідної напруги.

6.3 Зв'язок між струмами бази і колектора.

6.4 Вплив опору резистора в колі бази на спотворення сигналу.

6.5 Місце положення робочої точки для мінімальних спотворень сигналу.

Рекомендована література

1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина I. – С. 70 – 81.

2 Войшвилло Г.В. Усилительные устройства: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.

3 Остапенко Г.С. Усилительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 400 с.

4 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. – М.: Мир, 1982. – С. 28 – 39.

5 Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1983. – Т.1. С.111 – 121.

Лабораторна робота № 6

Дослідження підсилювача зі зворотним зв'язком

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми підсилювачів зі зворотним зв'язком (ЗЗ).
- 1.2 Експериментально визначати коефіцієнт підсилення.
- 1.3 Уводити зворотний зв'язок.
- 1.4 Експериментально визначати вхідний опір підсилювача.

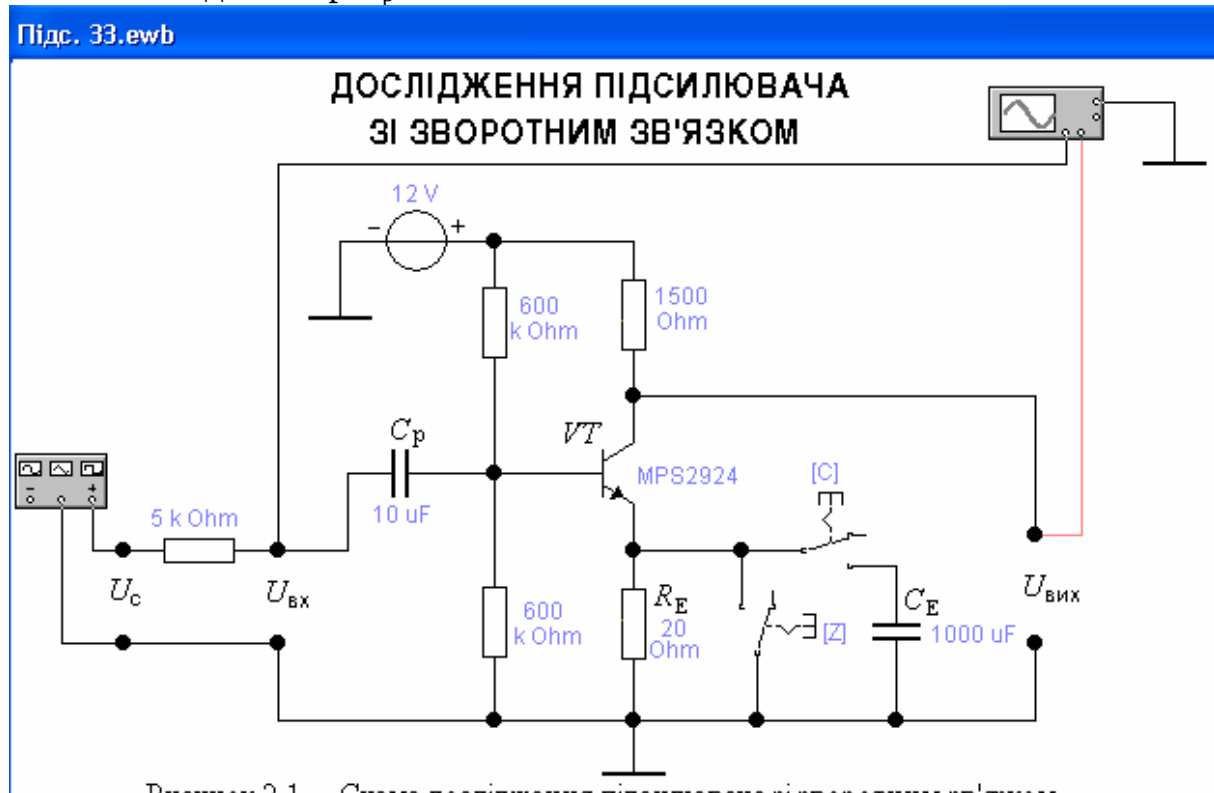
2 Ключові положення

Транзисторний підсилювач, схема якого наведена на рис. 2.1, має зворотний зв'язок, який створює резистор R_E в емітерному колі.

$U_{вх}$ – вхідна напруга, яку треба підсилити;

$U_{вих}$ – вихідна підсилена напруга.

Щоб опір джерела вхідного сигналу не впливав би на режим транзистора VT , напруга $U_{вх}$ підводиться до входу підсилювача через розподільвальний конденсатор C_p .



Перемикач Z установлює режим або зі зворотним зв'язком (праве положення), або без нього (ліве положення).

Перемикач C підмикає конденсатор C для вилучення зворотного зв'язку за змінним струмом.

Від'ємний зворотний зв'язок зменшує коефіцієнт підсилення, але поруч з цим покращує технічні показники підсилювача, зокрема, зменшує нелінійні спотворення, підвищує вхідний опір тощо.

Нелінійні спотворення характеризуються різним підсиленням різних миттєвих значень сигналу, через що різнополярні напівхвилі відрізняються за амплітудами (рис. 2.2,а), а саме: позитивна амплітуда обмежується напругою живлення $E_{ж}$, а негативна – напругою насичення $U_{KE\text{ нас}}$.

При неспотвореному сигналі обидві його різнополярні напівхвилі мають однакові амплітуди (рис. 2.2,б).

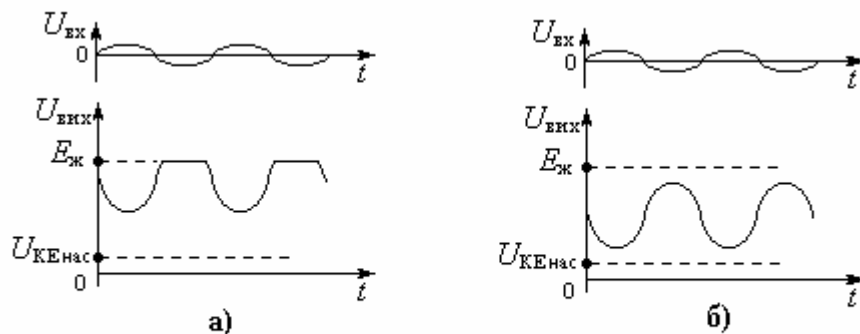


Рисунок 2.2 – Діаграма роботи підсилювача:

а – без ЗЗ; б – за наявності ЗЗ

Крім поліпшення лінійних властивостей зворотний зв'язок підвищує вхідний опір підсилювача $R_{ВХ}$. Для його визначення знайдемо напругу $U_{ВХ}$ з подільника напруги, який створюють R_c та $R_{ВХ}$:

$$U_{mВХ} = U_{мс} \frac{R_{ВХ}}{R_c + R_{ВХ}}, \quad (1)$$

де $U_{мс}$ – амплітуда ЕРС джерела сигналу, а R_c – його внутрішній опір;
 $U_{mВХ}$ – амплітуда вхідної напруги саме підсилювача.

З формули (1) знаходимо вхідний опір

$$R_{ВХ} = \frac{U_{mВХ}}{U_{мс} - U_{mВХ}} R_c. \quad (2)$$

3 Домашнє завдання

3.1 Скласти схему дослідження підсилювача зі спільним емітером зі зворотним зв'язком.

3.2 Навести очікувані епюри вхідної та вихідної напруг зі зворотним зв'язком та без нього, додержуючись масштабу (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у **різних** стовпцях або на **різних** сторінках **не дозволяється**).

3.3 Заготовити форму табл. 4.1 та 4.2.

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “Підс. 33” (рис. 2.1).

4.2 Включити стенд установкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою кlawішею миші.



Рисунок 4.1

4.3 Розкрити осцилограф (рис. 4.1) установленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою кlawішею миші. На екрані будуть мерехтати два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.

4.4 Визначити коефіцієнт підсилення підсилювача без зворотного зв'язку



Рисунок 4.2

4.4.1 Розкрити генератор сигналу установкою курсора на мале зображення генератора (рис. 4.2) і подвійним клацанням лівою кlawішею миші. З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.3).

4.4.2 У віконці **Frequency** генератора установити розмірність *KHz* і частоту вхідної напруги 1 *KHz*.

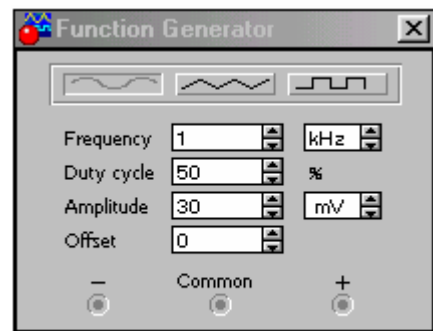


Рисунок 4.3

4.4.3 Усунути 33 закорочуванням резистора R_E в емітерному колі кlawішею Z.

УВАГА !!!

Після роботи з **осцилографом** (рис. 4.4) або **генератором** (рис. 4.3) не діє жодна кlawіша. Для уведення в дію кlawіш треба установити курсор поза осцилографом та генератором і клацнути лівою кlawішею миші. Кlawіші почнуть діяти.

4.4.4 У віконці **Amplitude** генератора установити розмірність *mV* і таку амплітуду вхідної напруги, при якій досягається максимальна вихідна напруга з найменшими спотвореннями.

4.4.5 Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

- зупинити зображення кlawішею *Pause*;
- збільшити зображення кlawішею *Expand* на осцилографі;
- розгорнути зображення горизонтальною прокруткою (рис. 4.4).

4.4.6 Вимірити постійну складову вихідної напруги U_{0K} , амплітуди вхідної U_{mvx} та вихідної U_{mvix} напруг, визначити коефіцієнт підсилення

$$K = \frac{U_{mvix}}{U_{mvx}}$$

і занести результати вимірювань та розрахунків до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення коефіцієнта підсилення

Наявність 33	Параметри			
	$U_{m\text{ вх}}, \text{ мВ}$	$U_{m\text{ вих}}, \text{ В}$	K	$U_{0K}, \text{ В}$
Без 33				
Із 33				

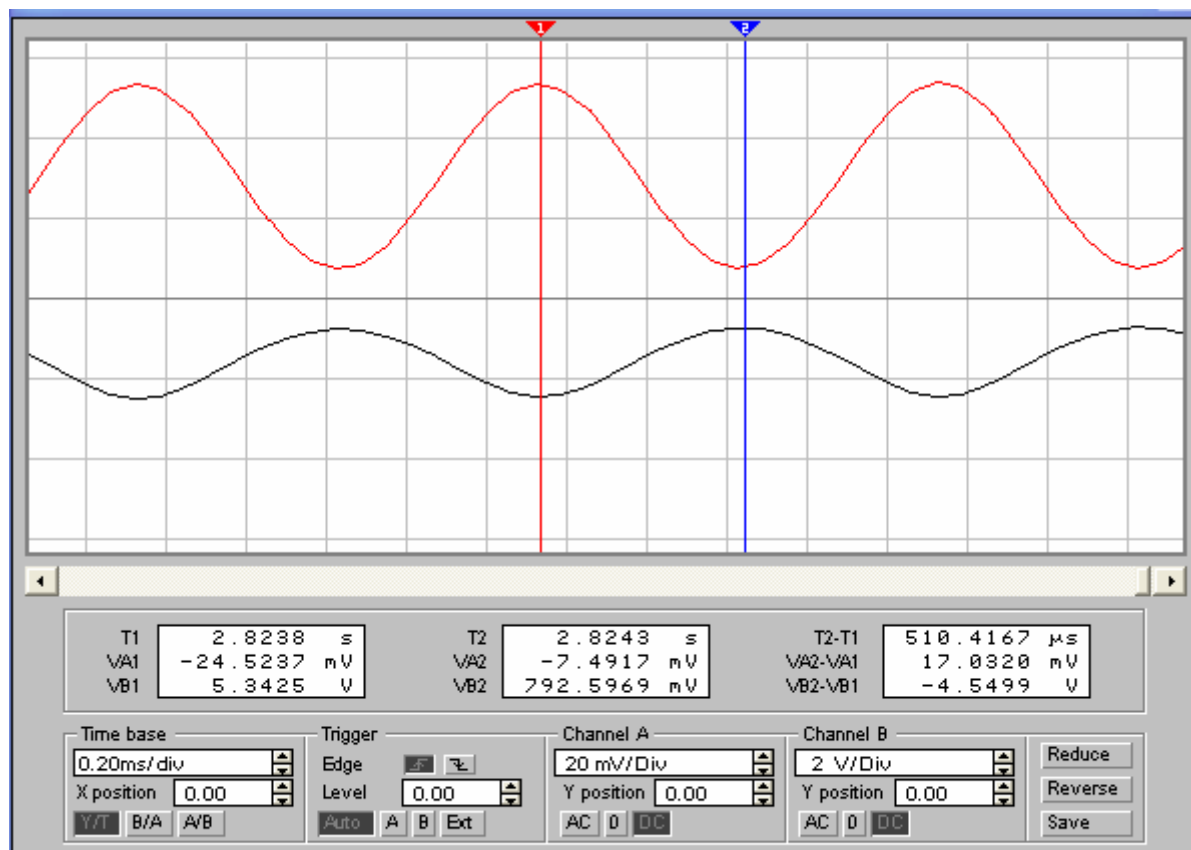


Рисунок 4.4

Амплітуди $U_{m\text{ вх}}$ та $U_{m\text{ вих}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 4.4) установленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди. Подвійні амплітуди сигналів можна відлічити у правому віконці:

$$U_{m\text{ вх}} = VA2 - VA1,$$

$$U_{m\text{ вих}} = VB2 - VB1.$$

4.7 Дослідити вплив зворотного зв'язку на коефіцієнт підсилення та спотворення сигналу

4.7.1 Увести зворотний зв'язок розкорочуванням резистора R_E в емітерному колі клавішею Z.

4.7.2 У віконці **Amplitude** генератора установити розмірність mV і таку амплітуду вхідної напруги, при якій досягається максимальна вихідна напруга при найменших спотвореннях.

4.7.3 Вимірити постійну складову вихідної напруги U_{0K} , амплітуди вхідної U_{mvx} та вихідної U_{mvix} напруг і визначити коефіцієнт підсилення за методикою п. 4.4.6 і занести результати вимірювань та розрахунків до табл. 4.1.

4.7.4 Зробити висновки щодо впливу від'ємного ЗЗ на коефіцієнт підсилення.

4.7.5 Зарисувати в **масштабі** осцилограми за наявності ЗЗ, зберігаючи **постійну складову** (зверху вхідна напруга, **знизу** – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у **різних** стовпцях або на **різних** сторінках **не дозволяється**).

4.7.6 Вилучити ЗЗ клавішею Z.

4.7.7 Зарисувати в **масштабі** під осцилограмами за п. 4.7.5 осцилограму U_{mvix} , зберігаючи **постійну складову**.

4.7.8 Зробити висновки щодо впливу від'ємного ЗЗ на спотворення сигналу.

4.8 Дослідити вплив зворотного зв'язку на вхідний опір

4.8.1 Виконати маніпуляції за пп. 4.7.1 та 4.7.2.

4.8.2 Вимірити осцилографом U_{mvx} та відлічити U_{mc} у віконці **Amplitude** генератора і визначити вхідний опір за формулою (2). Результати занести до табл. 4.2.

4.8.3 Виконати маніпуляції за пп. 4.7.6 і повторити вимірювання за п. 4.8.2.

4.8.4 Зробити висновки щодо впливу від'ємного зворотного зв'язку на вхідний опір підсилювача.

Таблиця 4.2 – Визначення вхідного опору

Наявність ЗЗ	Параметри		
	U_{mc} , мВ	U_{mvx} , мВ	R_{vx} , кОм
Із ЗЗ			
Без ЗЗ			

Факультативно

Дослідити вплив конденсатора C_E на коефіцієнт підсилення, вимірюючи коефіцієнт підсилення за наявності ЗЗ без конденсатора C_E та з ним і зробити з цього висновки. Конденсатор C_E вмикається клавішею C.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження підсилювача зі зворотним зв'язком.

5.1.2 Очікувані діаграми роботи підсилювача зі зворотним зв'язком та без нього.

5.1.3 Форми табл. 4.1 та 4.2.

5.2 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 Таблиця 4.1.

5.2.2 Висновки за п. 4.7.4.

5.2.3 Осцилограми за п. 4.7.5; 4.7.7.

5.2.4 Висновки за п. 4.7.8.

5.2.5 Таблиця 4.2.

5.2.6 Висновки за п. 4.8.4.

6 Ключові питання

6.1 Види зворотного зв'язку (ЗЗ) за напругою та струмом.

6.2 Додатний та від'ємний ЗЗ.

6.3 Коефіцієнт підсилення за наявності ЗЗ.

6.4 Вплив від'ємного ЗЗ на коефіцієнт підсилення.

6.5 Вплив від'ємного ЗЗ на спотворення сигналу.

6.6 Вплив від'ємного ЗЗ на вхідний опір підсилювача.

Рекомендована література

1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина 1. – С. 114 – 135.

2 Войшвилло Г.В. Усилительные устройства: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.

3 Остапенко Г.С. Усилительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 400 с.

4 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. – М.: Мир, 1982. – С. 32 – 34.

5 Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1983, – Т.1. С.154.

Лабораторна робота № 7

Дослідження транзисторного ключа

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми ключів.
- 1.2 Розраховувати та експериментально визначати коефіцієнт насичення.
- 1.3 Установлювати необхідний коефіцієнт насичення транзистора.
- 1.4 Експериментально визначати тривалість перехідних процесів.
- 1.5 Експериментально визначати максимально припустиму частоту.

2 Ключові положення

У схемі ключа транзистор використовується наче контакти реле. У відкритому стані транзистор пропускає колекторний струм, замикаючи коло, а в закритому – він не пропускає струм, розриваючи коло. В наслідку цього через опір навантаження в колекторі струм або тече, або ні, через що вихідна напруга має прямокутну форму. Її високий рівень забезпечує режим відсікання транзистора, а низький – режим насичення.

В режимі відсікання обидва переходи транзистора (емітерний і колекторний) знаходяться під зворотними напругами, а в режимі насичення – під прямими.

В режимі насичення колекторний струм I_K практично не залежить від струму бази I_B і однозначно визначається опором колекторного навантаження

$$I_K = \frac{E_{KE} - U_{KEнас}}{R_K}, \quad (1)$$

де E_{KE} – напруга живлення колекторного кола;

$U_{KEнас}$ – напруга колектора в режимі насичення, яка не перевищує прямої напруги на $p-n$ -переході і наводиться в довідниках.

Щоб забезпечити струм I_K , через базу має протікати струм бази

$$I_{B1} = \frac{I_K}{h_{21E}}, \quad (2)$$

де h_{21E} – коефіцієнт передавання струму в схемі зі спільним емітером.

Отже I_{B1} – це такий *найменший* струм бази, який забезпечує насичення і є *межею* між режимами насичення й активним. Зменшення I_B в порівнянні з I_{B1} заводить транзистор в активний режим і тому тут не розглядається, а збільшення I_B підвищує так званий *коефіцієнт насичення*

$$S = \frac{I_B}{I_{B1}}. \quad (3)$$

При $I_B = I_{B1}$ коефіцієнт насичення $S = 1$. На практиці використовують $I_B > I_{B1}$, тобто $S > 1$. Це пояснюється тим, що збільшення насичення підвищує завадостійкість ключа.

Однак, поруч з підвищенням завадостійкості, глибоке насичення зменшує швидкодію ключа, з-за чого знижується верхня межа частот, на яких може працювати ключ.

Тому при виборі коефіцієнта насичення S треба приймати компромісне рішення.

В даній роботі визначається коефіцієнт насичення в залежності від струму бази.

Досліджується тривалість перехідних процесів в залежності від коефіцієнта насичення та швидкодія ключа.

Визначається верхня межа частот, на яких може працювати ключ.

Досліджується завадостійкість ключа в залежності від коефіцієнта насичення.

3 Домашнє завдання

3.1 Скласти схему дослідження ключа для визначення вихідної напруги в залежності від струму бази.

3.2 Скласти схему дослідження ключа для визначення завадостійкості в залежності від струму бази.

3.3 Скласти схему дослідження ключа для визначення тривалості перехідних процесів в залежності від струму бази.

3.4 Заготовити форму табл. 4.1 і 4.2.

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “Ключ стат” (рис. 4.1).

4.2 Включити стенд установкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою кlawішею миші.

4.3 Розкрити осцилограф (рис. 4.2) установленням на ньому курсора і  подвійним клацанням лівою кlawішею миші. На екрані будуть мерехтіти два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.

Рисунок 4.2

4.4 Розкрити генератор сигналу установкою курсора на мале зображення генератора (рис. 4.3) і подвійним клацанням лівою кlawішею миші.



Рисунок 4.3

З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.4).

Ключ стат.ewb

ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЮЧА В СТАТИЦІ

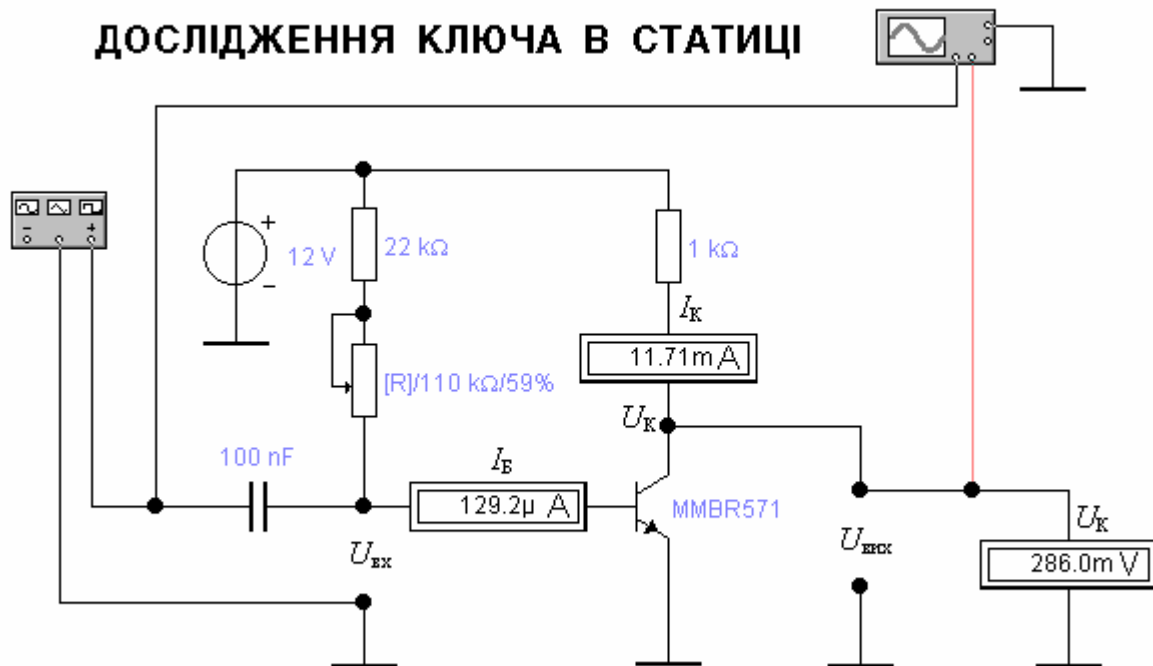


Рисунок 4.1 – Дослідження транзисторного ключа в статичі

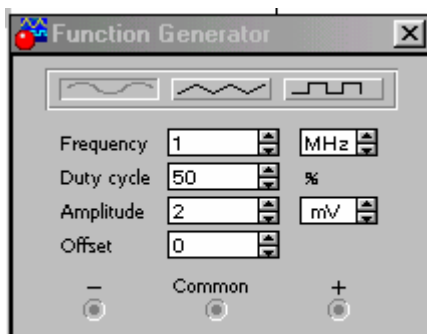


Рисунок 4.4

4.5 У віконці **Frequency** генератора установити розмірність *MHz* і частоту вхідної напруги 1 *MHz*.

4.6 У віконці **Amplitude** генератора установити розмірність *mV* і амплітуду вхідної напруги 2 *mV*.

4.7 Дослідити вплив струму бази I_B на струм колектора I_K , коефіцієнт насичення S , постійну вихідну напругу U_{0K} та амплітуду завади $U_{твих}$.

4.7.1 Зняти залежності струму колектора I_K , коефіцієнта насичення S , постійної вихідної напруги U_{0K} та амплітуди завади $U_{твих}$ від струму бази I_B , змінюючи його за допомогою резистора R . Зменшення опору R здійснюється натисненням клавіші R , а збільшення – одночасним натисненням клавіш $Shift$ і R (не доводить опір R до 100 %).

УВАГА !!!

Після роботи з **осцилографом** (рис. 2.3) або **генератором** (рис. 4.4) не діє жодна клавіша. Для уведення в дію клавіш треба установити курсор-розрахунок осцилографом та генератором і клацнути лівою клавішею миші.

Клавіші почнуть діяти.

Струми I_B , I_K та постійна вихідна напруга U_{OK} вимірюються одиницями приладами. Амплітуда завади $U_{твих}$ вимірюється осцилографом (рис. 4.5).

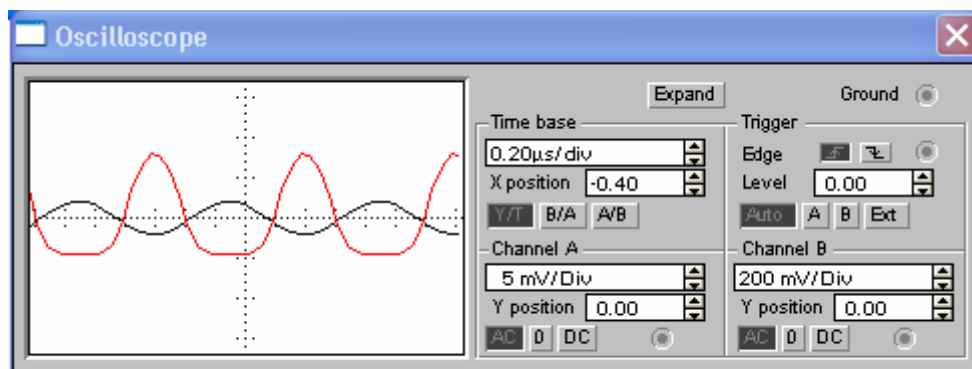


Рисунок 4.5

Результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Дослідження ключа

I_B , мкА	I_K , мА	S	U_{OK} , В	$U_{твих}$, В
100		1		
200				
300				
400				
500				

4.7.2 Зробити висновки про вплив коефіцієнта насичення S на струм колектора I_K , постійну вихідну напругу U_{OK} та амплітуду завади $U_{твих}$.

4.8 Дослідити вплив коефіцієнта насичення на тривалість перехідних процесів

4.8.1 Відкрити файл “Ключ дин” (рис. 4.6).

4.8.2 Розкрити осцилограф і генератор за пп. 4.3 та 4.4.

4.8.3 У віконці **Frequency** генератора установити розмірність MHz і частоту вхідної напруги 1 MHz (рис. 4.7).

4.8.4 У віконці **Amplitude** генератора установити розмірність V, амплітуду вхідної напруги 2,5 V і постійну напругу **Offset** 2,5 V.

Ключ дин.ewb

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА В ДИНАМІЦІ

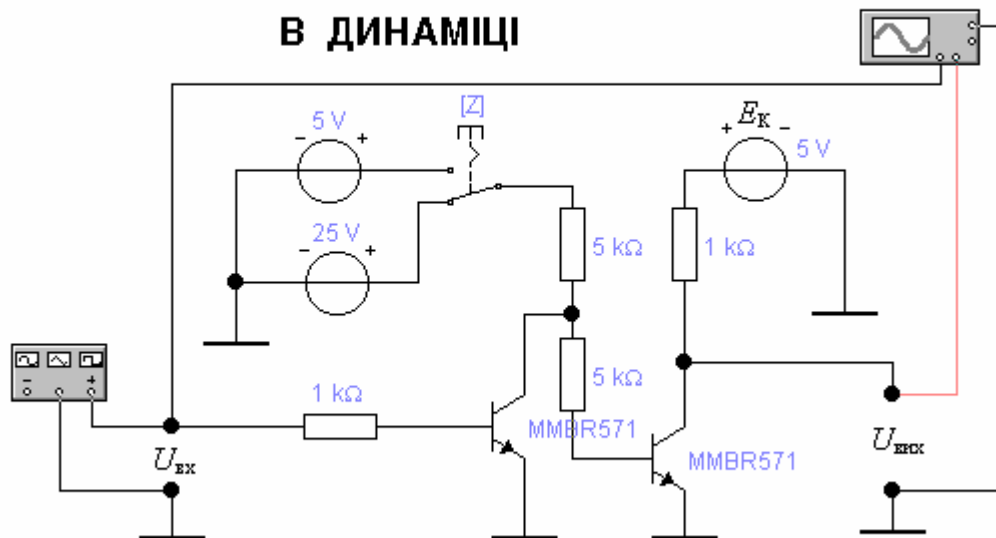


Рисунок 4.6 – Схема дослідження транзисторного ключа в динаміці

4.8.5 Вибрати сигнал прямокутної форми (рис. 4.7).

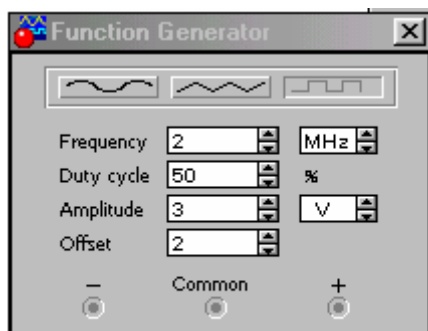


Рисунок 4.7

4.8.6 Установити найменше насичення, підімкнувши джерело напруги 5 V клавішею Z.

4.8.7 Зарисувати у **часовому масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна).

Для витримки масштабу рекомендується забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

- зупинити зображення клавішею **Pause**;
- збільшити зображення клавішею **Expand**

на осцилографі;

– розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою (рис. 4.8);

– часом розгортки **Time base** установити лише один період на всьому екрані.

4.8.8 Вимірити тривалість перехідного процесу наступними діями:

- установити маркер 1 на початок висхідного фронту, а маркер 2 – на кінець перехідного процесу;
- відлічити у правому вікні тривалість перехідного процесу $T_2 - T_1$;
- результати вимірювань звести до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Насичення	Тривалість перех. процесу, нс	Верхня межа робочої частоти, МГц
S_1		
$5 S_1$		

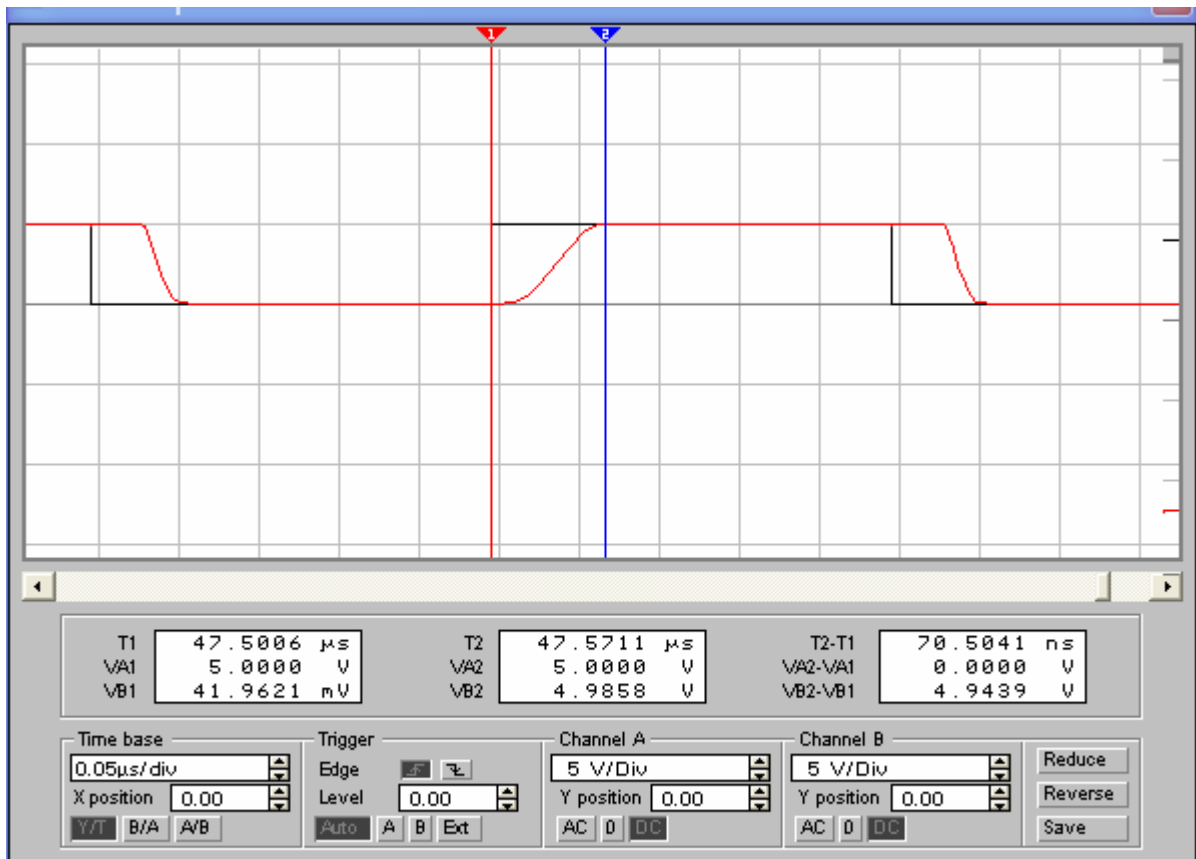


Рисунок 4.8

4.8.9 Збільшити насичення у п'ять разів, підімкнувши джерело напруги 25 V клавішею Z та повторити вимірювання за п. 4.8.8.

4.8.10 Зробити висновки щодо впливу коефіцієнта насичення на тривалість перехідного процесу.

4.9 Дослідити вплив коефіцієнта насичення на верхню межу робочої частоти

4.9.1 За умов 4.8.6 та 4.8.9 збільшувати частоту вхідного сигналу у вікні **Frequency** генератора до такої величини, при якій тривалість імпульсів скоротиться до тривалості перехідних процесів (рис. 4.9).

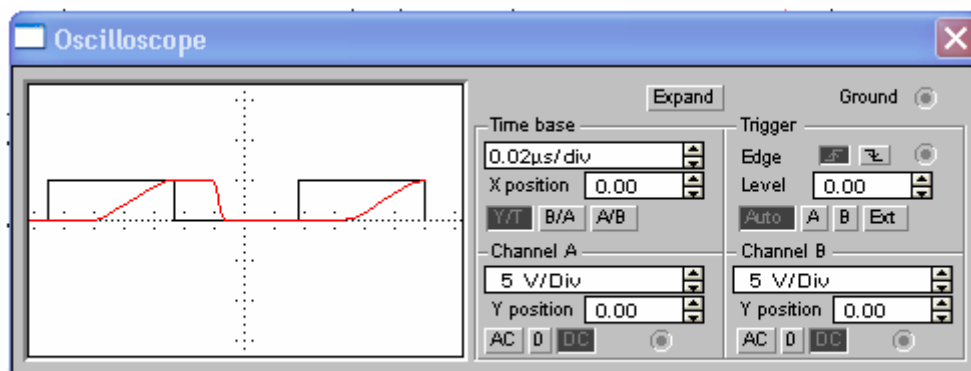


Рисунок 4.9

Попередження: після кожного устанавлення частоти треба обов'язково **вимкнути**, а потім **ввімкнути** схему щоб вхідні імпульси мали прямокутну форму.

4.9.2 Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

4.9.3 Зробити висновки щодо впливу коефіцієнта насичення на верхню межу робочої частоти.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження ключа для визначення вихідної напруги в залежності від коефіцієнта насичення.

5.1.2 Схема дослідження ключа для визначення завадостійкості в залежності від коефіцієнта насичення.

5.1.3 Схема дослідження ключа для визначення тривалості перехідних процесів в залежності від коефіцієнта насичення.

5.1.4 Форма табл. 4.1 і 4.2.

5.2 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 Таблиця 4.1.

5.2.2 Висновки за п. 4.7.2.

5.2.3 Осцилограми за п. 4.8.7.

5.2.4 Таблиця 4.2.

5.2.5 Висновки за п. 4.8.10.

6 Ключові питання

6.1 Наведіть схему ключа.

6.2 Наведіть діаграму роботи ключа.

6.3 Поясніть вплив коефіцієнта насичення на вихідну напругу ключа.

6.4 Поясніть вплив коефіцієнта насичення на завадостійкість ключа.

6.5 Поясніть критерії вибору робочої точки для здійснення ключового режиму.

6.6 Дайте пояснення щодо високого ККД ключа.

Рекомендована література

1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина I. – С. 104 – 110.

2 Войшвилло Г.В. Усилительные устройства: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.

3 Остапенко Г.С. Усилительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 400 с.

4 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. – М.: Мир, 1982. – С. 93 – 95.

Лабораторна робота № 8

Дослідження диференційного каскаду

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми диференційних каскадів з резистивним та динамічним навантаженням.
- 1.2 Експериментально установлювати режим для неспотвореного підсилення.
- 1.3 Вимірювати амплітуди вхідної та вихідної напруг.
- 1.4 Визначати коефіцієнт підсилення.

2 Ключові положення

Диференційні каскади підсилюють протифазні сигнали та придушують синфазні.

Основною перевагою диференційних каскадів є придушення наводок та синфазних сигналів.

Диференційні каскади бувають з резистивним колекторним навантаженням та динамічним колекторним навантаженням.

За динамічне колекторне навантаження використовують опір джерел струму, який у випадку ідеального джерела є нескінченно великим. Через це коефіцієнт підсилення диференційного каскаду з динамічним навантаженням набагато більше за резистивний.

У даній роботі досліджується проходження протифазних та синфазних сигналів і наводок через диференційні каскади, експериментально визначаються та зіставляються коефіцієнти підсилення диференційних каскадів з резистивним та динамічним колекторним навантаженням.

3 Домашнє завдання

3.1 Скласти схему дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням.

3.2 Скласти схему дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням.

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “ДК рез” (рис. 4.1).

ДК рез.ewb

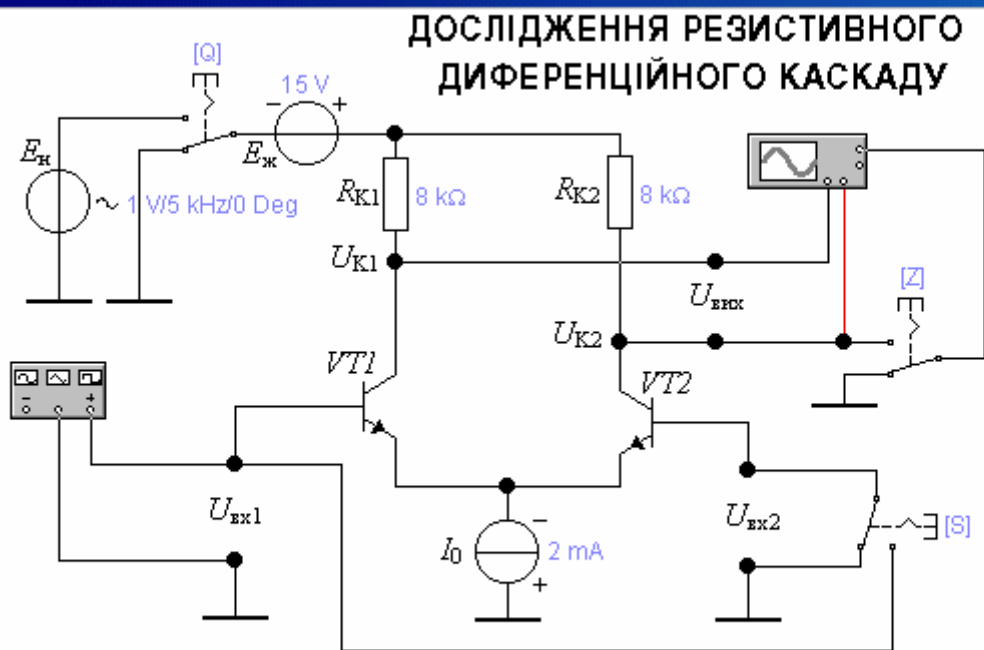


Рисунок 4.1 — Схема дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням

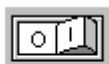


Рисунок 4.2

4.2 Включити схему установкою курсора на цифру 1 тумблера (рис. 4.2) і клацанням лівою клавішею миші.

4.3 Розкрити осцилограф установленням на його зображенні (рис. 4.3) курсора і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтіти два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.



Рисунок 4.3



Рисунок 4.4

4.4 Розкрити генератор сигналу установкою курсора на зображення генератора (рис. 4.4) і подвійним клацанням лівою клавішею миші.

З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.5), у віконцях **Frequency** якого треба установити розмірність **kHz** і частоту вхідної напруги **10 kHz**.

4.5 Підімкнути вхід осцилографа до виходу $U_{\text{вих}}$ переведенням перемикача **Z** у верхнє положення клавішею **Z**.

4.6 Установити у віконці **Amplitude** розмірність "mV".

4.7 Визначити коефіцієнт підсилення диференційного сигналу

4.7.1 Підвести диференційний сигнал закорочуванням входу $U_{\text{вх2}}$ клавішею **S** (ліве положення).

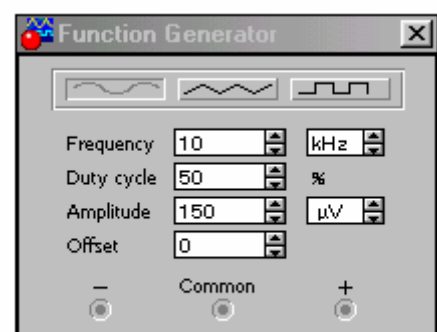


Рисунок 4.5

4.7.2 Відімкнути джерело наводок E_n , для чого підімкнути джерело живлення $E_{ж}$ до корпусу клавішею Q (нижнє положення).

4.7.3 Установити якомога більшу, але **неспотоворену** амплітуду вихідної напруги зміненням вхідної напруги у віконці **Amplitude** генератора (рис. 4.5).

4.7.4 Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

- зупинити зображення клавішею **Pause**;
- збільшити зображення клавішею **Expand** на осцилографі;
- розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою (рис. 4.6).

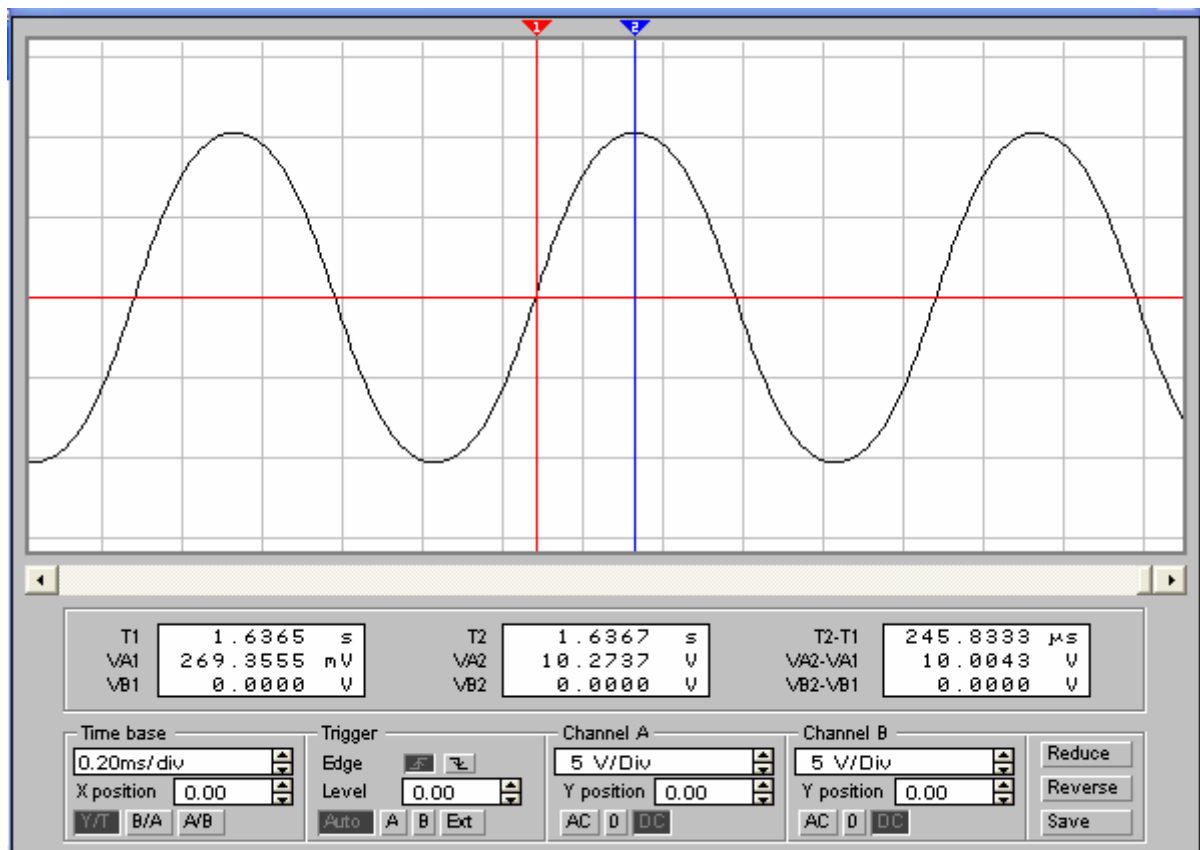


Рисунок 4.6

4.7.5 Вимірити амплітуду $U_{m\text{вих}}$ на збільшеному екрані осцилографа установленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення (рис. 4.6).

Амплітуду вихідної напруги можна відлічити у середньому віконці:

$$U_{m\text{вих}} = VA2.$$

Коефіцієнт підсилення диференційного резистивного каскаду становитиме

$$K_{\text{рез}} = \frac{U_{m\text{вих}}}{U_{m\text{вх}}},$$

де $U_{m\text{вх}}$ – амплітуда вхідної напруги, яка відлічується у віконці **Amplitude** генератора (рис. 4.5).

Результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення коефіцієнта підсилення

Каскад	Параметри		
	$U_{m\text{ вх}}$, мВ	$U_{m\text{ вих}}$, В	K
Резист.			
Динам. без R_H			
Динам. з R_H			

4.8 Дослідити придушення синфазних сигналів

4.8.1 Відімкнути джерело наводок E_H переведенням перемикача Q у нижнє положення клавішею Q .

4.8.2 Підвести диференційні сигнали закорочуванням входу $U_{\text{вх}2}$ перемикачем S (ліве положення) за допомогою клавіші S .

4.8.3 Підвести напруги U_{K1} та U_{K2} до входів осцилографа переведенням перемикача Z у нижнє положення.

4.8.4 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** напруги U_{K1} та U_{K2} , **знизу** – вихідна напруга каскаду $U_{\text{вих}}$, яка спостерігається у верхньому положенні клавіші Z), звертаючи увагу на **фазу** сигналів та **постійну** складову.

4.8.5 Підвести синфазні сигнали з'єднанням входу $U_{\text{вх}2}$ зі входом $U_{\text{вх}1}$ перемикачем S (праве положення) за допомогою клавіші S .

4.8.6 Виконати п. 4.8.4.

4.8.7 Зробити висновки щодо:

- підсилення (придушення) диференційних чи синфазних сигналів;
- співвідношення між амплітудами вихідних напруг плечей (U_{K1} ; U_{K2}) та каскаду в цілому ($U_{\text{вих}}$).

4.9 Дослідити придушення наводок

4.9.1 Підімкнути джерело наводок E_H переведенням перемикача Q у верхнє положення клавішею Q .

4.9.2 Виконати п. 4.8.4.

4.9.3 Зробити висновки щодо придушення наводок диференційним каскадом та його плечима.

4.10 Визначити коефіцієнт підсилення диференційного каскаду з динамічним навантаженням

4.10.1 Відкрити файл “ДК дин” (рис. 4.7).

4.10.2 Установити у віконці **Amplitude** розмірність “ μV ”. Підвищити вхідну напругу у віконці **Amplitude** до появи на осцилографі вихідного сигналу з амплітудою 4...5 В.

ДК дин.ewb

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО КАСКАДУ З ДИНАМІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

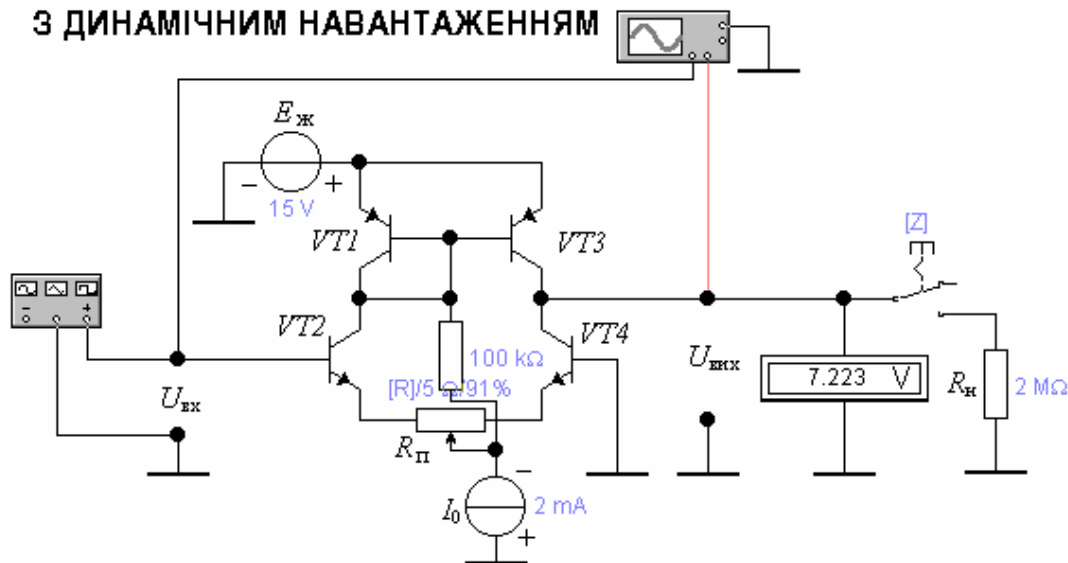


Рисунок 4.7 – Схема дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням

4.10.3 Вибрати положення робочої точки для появи на осцилографі зображення неспотвореного сигналу. Установлення робочої точки здійснюється зміщенням повзунка R_{Π} (рис. 4.7). Натиснення клавіші R на клавіатурі зміщує повзунок праворуч, а одночасний натиск клавіш $Shift$ та R – ліворуч.

4.10.4 Установити амплітуду вихідної напруги $U_{\text{твих}} = 6,5$ В зміненням вхідної напруги у віконці **Amplitude** генератора (рис. 4.5).

4.10.5 Відімкнути опір навантаження $R_{\text{н}}$ перемикачем (клавішею) Z (верхнє положення).

4.10.6 Визначити коефіцієнт підсилення, для чого вимірити амплітуди $U_{\text{твих}}$ та $U_{\text{твх}}$ на збільшеному екрані осцилографа (рис. 4.6) установленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди (рис. 4.8).

Подвійні амплітуди сигналів можна відлічити у правому віконці:

$$2U_{\text{твх}} = VA2 - VA1,$$

$$2U_{\text{твих}} = VB2 - VB1.$$

Тоді коефіцієнт підсилення становитиме

$$K_{\text{дин}} = \frac{U_{\text{т вих}}}{U_{\text{т вх}}} = \frac{VB2 - VB1}{VA2 - VA1}.$$

4.10.7 Результати вимірювань та розрахунків занести до табл. 4.1.

4.10.8 Порівняти $K_{\text{дин}}$ та $K_{\text{рез}}$ і зробити з цього висновки.

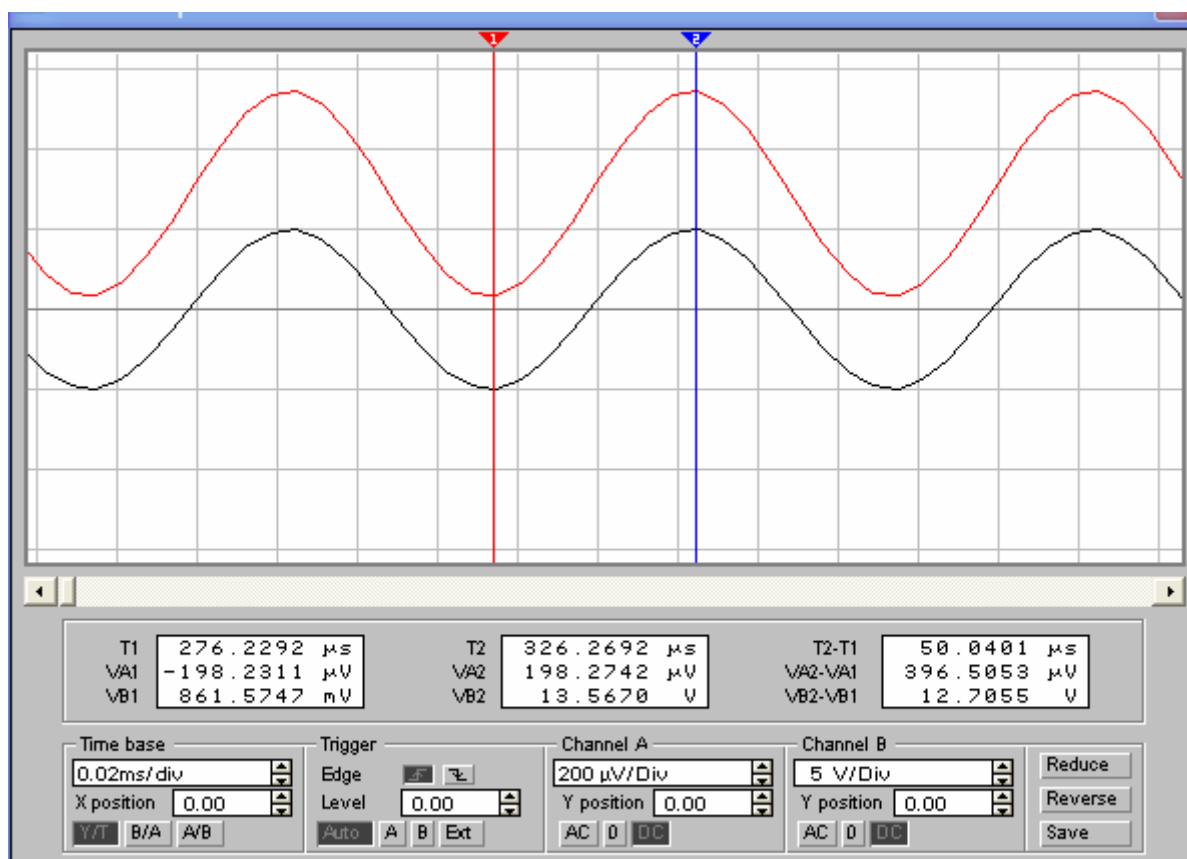


Рисунок 4.8

4.11 Дослідити вплив опору навантаження на коефіцієнт підсилення

4.11.1 Підімкнути до виходу опір навантаження R_n перемикачем (клавішею) Z.

4.11.2 Визначити коефіцієнт підсилення за методикою п. 4.10.6 і результати розрахунків занести до таблиці 4.1.

4.11.3 Порівняти знайдені коефіцієнти підсилення без R_n та з R_n і зробити висновки щодо впливу опору навантаження на коефіцієнт підсилення.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням.

5.1.2 Схема дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням.

5.1.3 Форма табл. 4.1.

5.2 Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1 Розрахунки за п. 4.7.5.
- 5.2.2 Таблиця 4.1.
- 5.2.3 Осцилограми за п. 4.8.4.
- 5.2.4 Висновки за п. 4.8.7.
- 5.2.5 Осцилограми за п. 4.9.2.
- 5.2.4 Висновки за п. 4.9.3.
- 5.2.5 Розрахунки за п. 4.10.6.
- 5.2.4 Висновки за п. 4.10.8.
- 5.2.5 Розрахунки за п. 4.11.2
- 5.2.6 Висновки за п. 4.11.3

6 Ключові питання

- 6.1 Принцип дії каскадів з динамічним та резистивним навантаженням.
- 6.2 Зіставлення коефіцієнтів підсилення каскадів з динамічним та резистивним навантаженням.
- 6.3 Вплив опору навантаження на вихідну напругу.
- 6.4 Придушення наводок диференційним каскадом.
- 6.5 Підсилення (придушення) диференційних чи синфазних сигналів.

Рекомендована література

- 1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. Частина 1. – С. 138 – 144.
- 2 Войшвилло Г.В. Усилительные устройства: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – С. 192, 194.
- 3 Остапенко Г.С. Усилительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1980. – С. 404 – 407.

Лабораторна робота № 9

Дослідження каскадів на операційних підсилювачах

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми каскадів на операційних підсилювачах (ОП).
- 1.2 Розраховувати коефіцієнт підсилення каскадів на ОП.
- 1.3 Підмикати джерело сигналу.
- 1.4 Підмикати навантаження.
- 1.5 Визначати та забезпечувати необхідний коефіцієнт підсилення.

2 Ключові положення

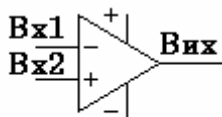


Рисунок 2.1

Операційний підсилювач (ОП), умовне позначення якого наведено на рис. 2.1, має вихід $V_{\text{вих}}$ та диференціальні входи *інвертуючий* $V_{x1} (-)$ і *неінвертуючий* $V_{x2} (+)$, які забезпечують підсилення відповідно з поворотом фази або без нього.

ОП є близьким до ідеального, тобто має:

- великий коефіцієнт підсилення (мільйон і навіть вище);
- великий вхідний опір;

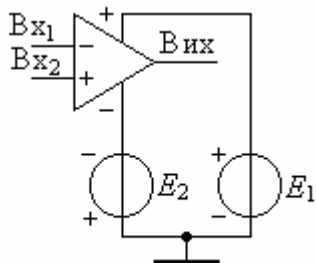


Рисунок 2.2

- малий вихідний опір;
- нульову постійну вихідну напругу в робочій точці.

Останній показник зумовлений наявністю двох *різнополярних* джерел живлення E_1 та E_2 (рис. 2.2).

Амплітуда вихідного сигналу $U_{\text{твих}}$ не може перевищувати напруги живлення і при

$U_{\text{твих}} \geq |E_1| = |E_2|$ буде обмеженою.

Для інвертуючого підсилювача коефіцієнт підсилення становить

$$K_i = \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

а для неінвертуючого

$$K_n = \frac{R_2}{R_1} + 1, \quad (2)$$

де R_1 та R_2 – опори резисторів у колах відповідно інвертуючого входу та зворотного зв'язку (див. рис. 4.4 та рис. 4.11).

Щодо позначення на схемах, то дозволяється джерела живлення E_1 і E_2 та їхні кола не показувати (рис. 2.3).

Тому далі використовуються позначення і рис. 2.2, і рис. 2.3.

У даній роботі досліджуються *інвертуючий* та *неінвертуючий* підсилювачі і *повторювач* на ОП.

Визначаються, установлюються і порівнюються їхні коефіцієнти підсилення.

Досліджуються співвідношення між напругою живлення та максимальною вихідною напругою. Експериментально визначаються припустимі амплітуди сигналу для неспотвореного підсилення.

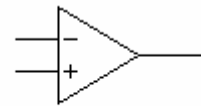


Рисунок 2.3

3 Домашнє завдання

- 3.1 Скласти схему дослідження інвертуючого каскаду на ОП.
- 3.2 Скласти схему дослідження неінвертуючого каскаду на ОП.
- 3.3 Скласти схему дослідження повторювача на ОП.
- 3.4 Розрахувати коефіцієнти підсилення інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів за опорами резисторів

$$R_1 = 1 \text{ кОм},$$

$$R_2 = 2 + 0,1N, \text{ кОм}$$

де N – номер стенда.

Результати розрахунків занести до табл. 4.1 та 4.2.

4 Лабораторне завдання

- 4.1 Відкрити файл “ОП інв” (рис. 4.4).

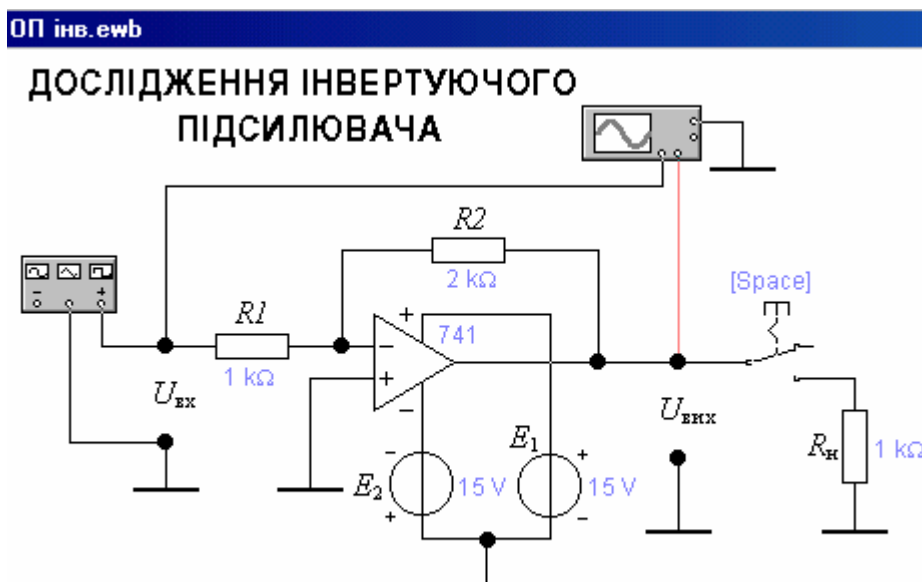


Рисунок 4.4 – Схема дослідження інвертуючого підсилювача

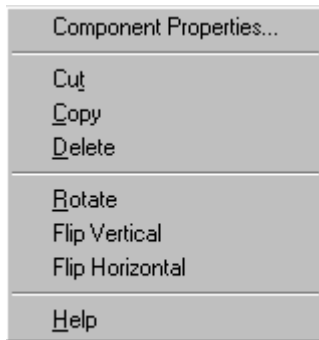


Рисунок 4.5

4.2 Установити розраховані опори резисторів, для чого:

- установити курсор на позначення резистора так, щоб стрілка перетворилася на пальці;
- клацнути правою клавішею миші, після чого з'явиться меню (рис. 4.5);
- установити курсор на ,

в якому треба установити потрібне значення опору курсором та клавіатурою і увести його клацанням по кнопці ОК лівою клавішею миші.

4.3 Включити схему установкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою клавішею миші.



Рисунок 4.6

4.4 Розкрити осцилограф (рис. 4.6) установленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтати два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.



Рисунок 4.7

4.5 Розкрити генератор сигналу, для чого установити курсор на мале зображення генератора (рис. 4.7) і двічі клацнути лівою клавішею миші.

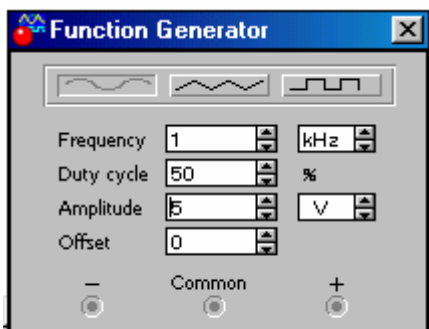


Рисунок 4.8

З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.8), у віконцях **Frequency** якого треба установити розмірність *kHz* і частоту вхідної напруги 1 *kHz*.

4.6 Установити у віконці **Amplitude** розмірність *V* і якомога більшу амплітуду сигналу, але таку, щоб спотворень вихідної напруги не було б (рис. 4.9).

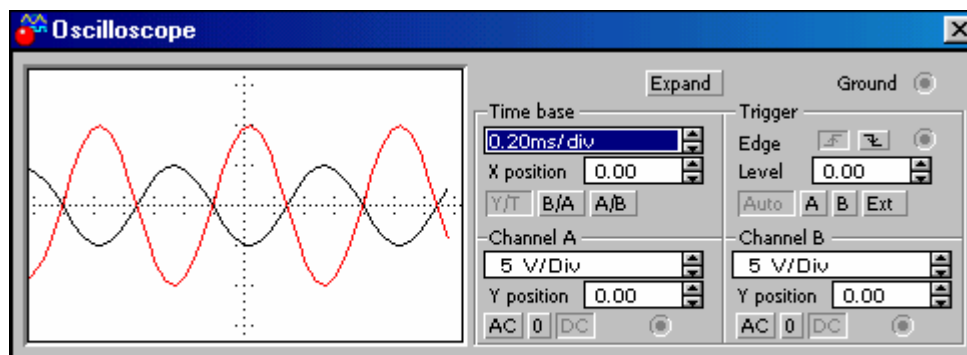


Рисунок 4.9

4.7 Визначити коефіцієнт підсилення інвертуючого каскаду

$$K_i = \frac{U_{m_{\text{вих}}}}{U_{m_{\text{вх}}}}.$$

4.7.1 Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

- зупинити зображення клавішею **Pause**;
- збільшити зображення клавішею **Expand** на осцилографі;
- розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою (рис. 4.10).

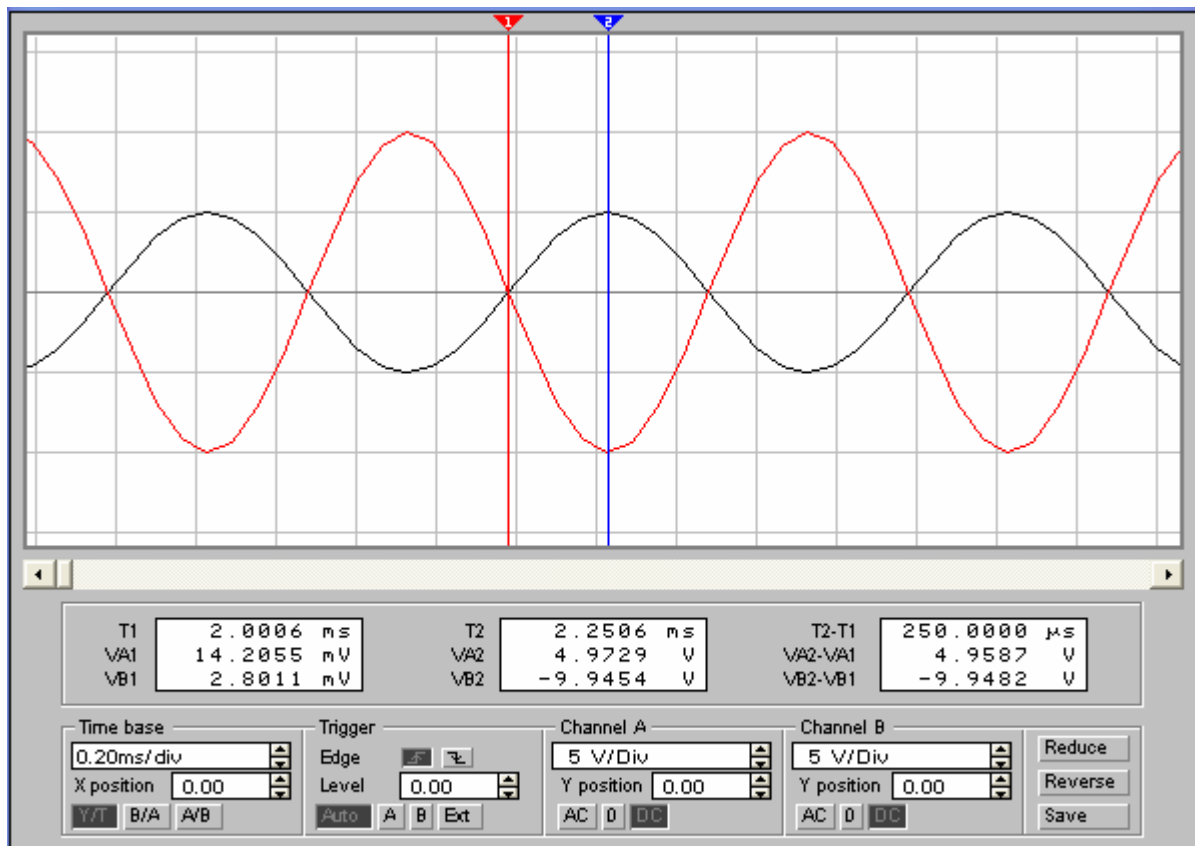


Рисунок 4.10

Амплітуди $U_{m_{\text{вих}}}$ та $U_{m_{\text{вх}}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 4.10) установленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення.

Амплітуди сигналів можна відлічити у середньому віконці:

$$U_{m_{\text{вх}}} = VA2,$$

$$U_{m_{\text{вих}}} = VB2.$$

Коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача становитиме

$$K_i = \frac{U_{m_{\text{вих}}}}{U_{m_{\text{вх}}}}.$$

Результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

R_1 , кОм	R_2 , кОм	Коефіцієнт підсилення K_i	
		Експерим.	Розрахунк.

4.7.2 Зарисувати в **масштабі** (зверху вхідна напруга, знизу – вихідна) осцилограми, звертаючи увагу на **фазу** сигналів, та відзначити для них напруги живлення E_1 та E_2 .

4.7.3 Збільшити опір R_2 у 5 разів та повторити маніпуляції за пп 4.6 та 4.7.1.

4.7.4 Зробити висновки щодо впливу опорів резисторів на коефіцієнт підсилення.

4.8 Визначити коефіцієнт підсилення неінвертуючого каскаду

$$K_H = \frac{U_{m\text{вих}}}{U_{m\text{вх}}}.$$

4.8.1 Відкрити файл “ОП неінв” (рис. 4.11).

4.8.2 Виконати маніпуляції за п. 4.7.

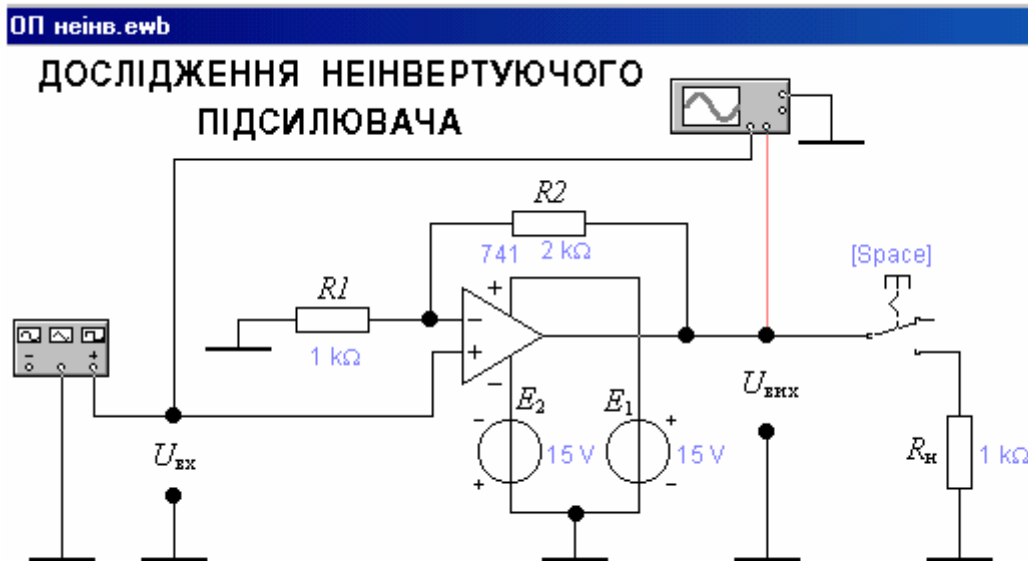


Рисунок 4.11 – Схема дослідження неінвертуючого підсилювача

Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

R_1 , кОм	R_2 , кОм	Коефіцієнт підсилення K_H	
		Експерим.	Розрахунк.

4.8.3 Зарисувати в **масштабі** осцилограми вхідної та вихідної напруг, звертаючи увагу на **фазу** сигналів.

4.8.4 Порівняти K_i та K_n і зробити висновки щодо співвідношення їхніх величин.

4.9 Дослідити вплив напруги живлення ОП на амплітуду вихідної напруги

4.9.1 Зменшити удвічі напруги живлення E_1 та E_2 (рис. 4.11), для чого:

– установити курсор на позначення джерела так, щоб стрілка перетворилася на пальці;

– клацнути правою клавішею миші, після чого з'явиться меню (рис. 4.5);

– установити курсор на **Component Properties...** і клацнути лівою клавішею миші, після чого з'явиться вікно , в якому треба установити половинне значення напруг E_1 та E_2 курсором і клавіатурою та увести його клацанням по кнопці ОК лівою клавішею миші.

4.9.2 Не змінюючи амплітуди вхідної напруги, зарисувати в **масштабі** осцилограми та відзначити для них напруги живлення E_1 та E_2 .

4.9.3 Зробити висновки про співвідношення напруг живлення та амплітуди вихідної напруги.

4.10 Дослідити навантажувальну здатність повторювача

4.10.1 Відкрити файл “Повт” (рис. 4.12).

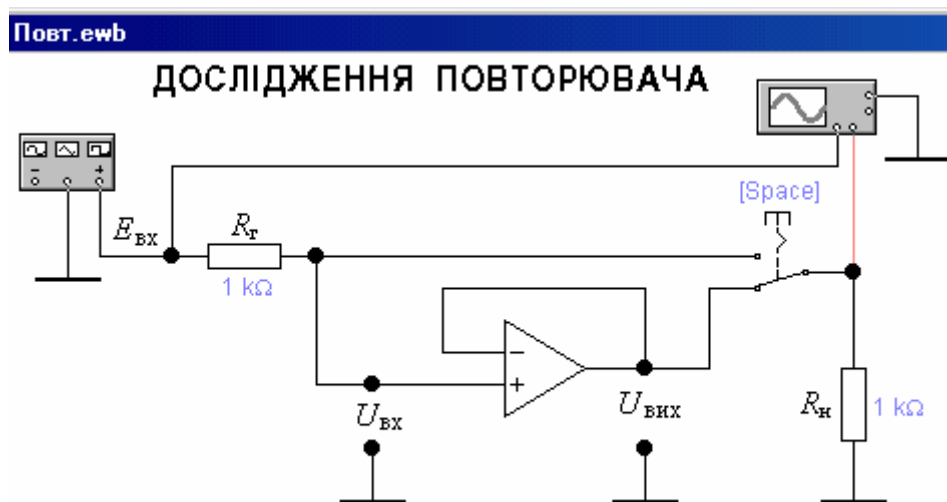


Рисунок 4.12 – Схема дослідження повторювача

4.10.2 Виконати маніпуляції за пп. 4.3 ... 4.6.

4.10.3 Підімкнути опір навантаження R_n до виходу високоомного генератора R_T клавішею **Space** (пропуск).

4.10.4 Вимірити амплітуду ЕРС генератора E_{BX} та вихідну напругу на опорі навантаження і результати вимірювань занести до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

$E_{\text{вх}}, \text{В}$	$U_{\text{вих}}, \text{В}$	
	Генератора	Повторювача

4.10.5 Підімкнути опір навантаження $R_{\text{н}}$ до виходу повторювача клавішею *Space* (пропуск).

4.10.6 Вимірити амплітуду ЕРС генератора $E_{\text{вх}}$ та вихідну напругу на опорі навантаження (виході повторювача) $U_{\text{вих}}$ за методикою п. 4.7.1 і результати вимірювань занести до таблиці 4.3.

4.10.7 Зробити висновки щодо навантажувальної здатності повторювача.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження інвертуючого каскаду на ОП.

5.1.2 Схема дослідження неінвертуючого каскаду на ОП.

5.1.3 Схема дослідження повторювача на ОП.

5.1.4 Розрахунок коефіцієнтів підсилення інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів.

5.1.5 Форми табл. 4.1, 4.2, 4.3.

5.1 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 Розрахунки за п. 4.7.

5.2.2 Таблиця 4.1.

5.2.3 Осцилограми за п. 4.7.2 та 4.8.3.

5.2.4 Висновки за п. 4.7.4.

5.2.5 Розрахунки за п. 4.8.

5.2.6 Таблиця 4.2.

5.2.7 Висновки за п. 4.8.4.

5.2.8 Осцилограми за п. 4.9.2.

5.2.9 Висновки за п. 4.9.3.

5.2.10 Таблиця 4.3.

5.2.11 Висновки за п. 4.10.7.

6 Ключові питання

6.1 Наведіть схему інвертуючого підсилювача та поясніть, чим визначається його коефіцієнт підсилення.

6.2 Наведіть схему неінвертуючого підсилювача та поясніть, чим визначається його коефіцієнт підсилення.

6.3 Наведіть схему повторювача на ОП і поясніть його роботу.

Рекомендована література

- 1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. Частина 1. – С. 145 – 171.
- 2 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
- 3 Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1983, – Т.1. 598 с.
- 4 Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС. – М.: Мир, 1985. – 572 с.

Лабораторна робота № 10

Дослідження кіл живлення операційних підсилювачів

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

- 1.1 Скласти схеми каскадів на операційних підсилювачах (ОП).
- 1.2 Розраховувати та експериментально визначати коефіцієнт підсилення каскадів на ОП.
- 1.3 Скласти схеми каскадів на ОП із живленням від двох джерел та від одного.
- 1.4 З'єднувати каскадно операційні підсилювачі.
- 1.5 Установлювати робочу точку каскадів для неспотвореного підсилення.

2 Ключові положення

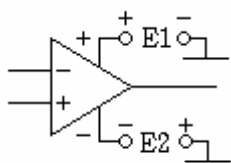


Рисунок 2.1

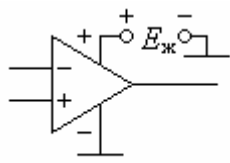


Рисунок 2.2

Операційні підсилювачі можуть живитися від двох різнополярних джерел напруги E_1 та E_2 (рис. 2.1), а також від одного $E_{\text{ж}}$ (рис. 2.2).

При живленні від одного джерела його напруга не повинна перевищувати суму припустимих напруг E_1 і E_2 , тобто $E_{\text{ж}} \leq |E_1| + |E_2|$.

Постійна вихідна напруга $U_{\text{вих1}}$ в робочій точці при живленні від двох джерел дорівнює нулю, тобто не має постійної складової. Тому при каскадному з'єднанні підсилювачів сигнал не зазнає спотворень (рис. 2.3), тобто форми вхідної напруги (чорний промінь) та вихідної (червоний промінь) збігаються.

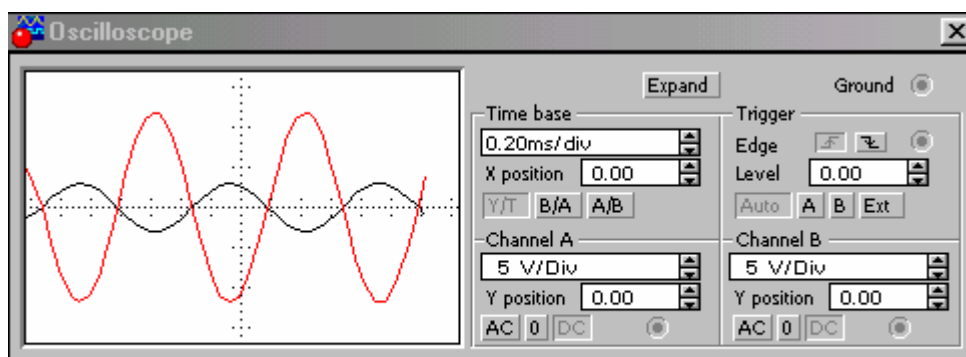


Рисунок 2.3

У тому ж випадку, коли живлення здійснюється від одного джерела (рис. 2.2), то вихідна напруга $U_{\text{вих1}}$ в робочій точці має постійну складову.

Ця складова, підсилюючись наступним каскадом, наближає сигнал до порогу обмеження, через що виникають спотворення сигналу: форми вхідної напруги (чорний промінь) та вихідної (червоний промінь) різні (рис. 2.4).

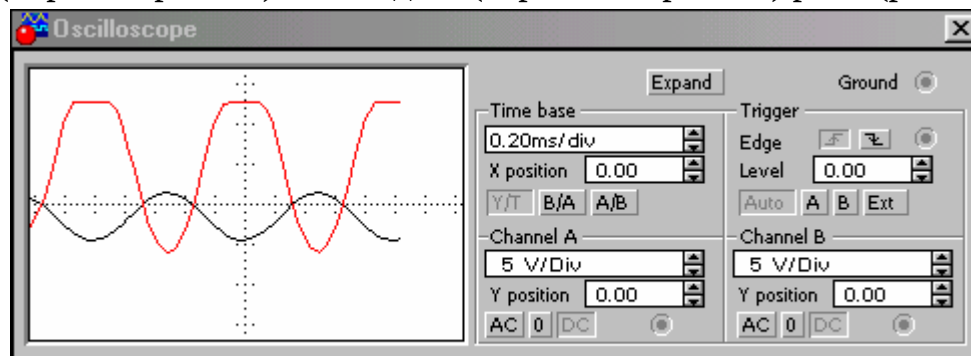


Рисунок 2.4

Щоб уникнути цього недоліку, треба компенсувати постійну складову попереднього каскаду.

Через це при живленні від одного джерела каскадне з'єднання підсилювачів здійснюється важче, ніж при живленні від двох різнополярних джерел. Тому живлення від одного джерела доцільно для підсилювачів тільки змінного струму.

Щодо коефіцієнтів підсилення каскадів K_1 та K_2 , то вони при каскадному з'єднанні ОП помножуються:

$$K_3 = K_1 K_2. \quad (1)$$

В даній роботі досліджуються спотворення сигналу в двокаскадному підсилювачі при живленні ОП від двох різнополярних джерел та від одного.

Досліджуються засоби компенсації постійної складової попереднього каскаду.

Визначаються співвідношення між рівнями обмеження та напругами живлення ОП.

3 Домашнє завдання

3.1 Скласти схему дослідження двокаскадного підсилювача на ОП з живленням від двох різнополярних джерел напруги.

3.2 Скласти схему дослідження двокаскадного підсилювача на ОП з живленням від одного джерела напруги.

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “Живл ОП 2” (рис. 4.1).

ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ ЖИВЛЕННЯ ОП ВІД ДВОХ ДЖЕРЕЛ

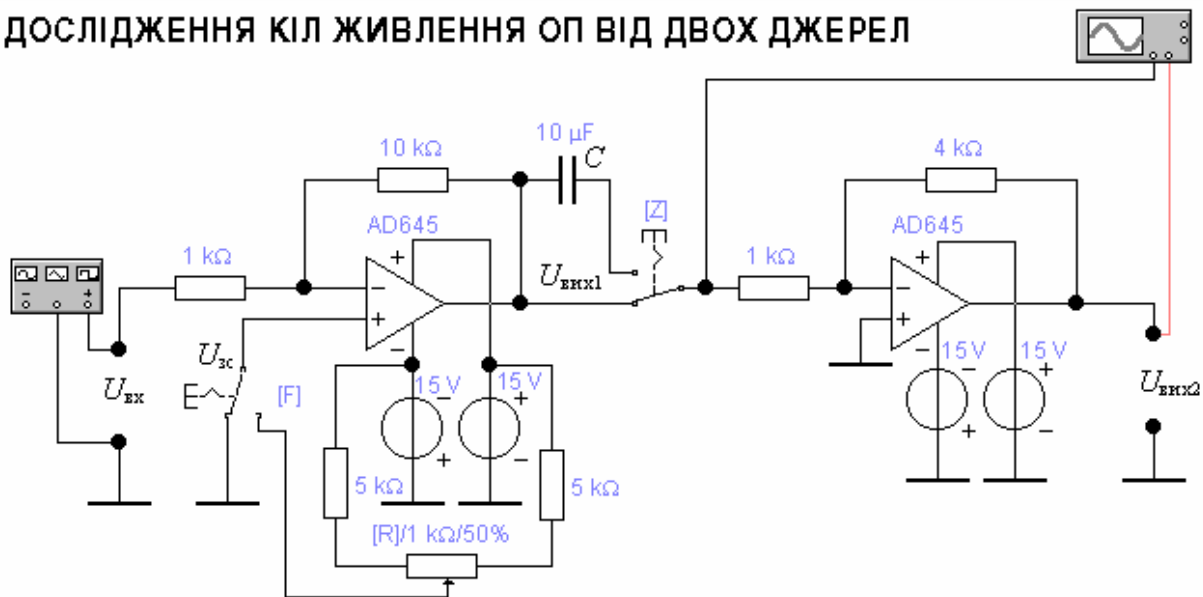


Рисунок 4.1 – Схема дослідження кіл живлення ОП від двох джерел

4.2 Включити стенд установкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою клавiшею миші.

4.3 Розкрити осцилограф (рис. 4.2) установленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавiшею миші. На екрані будуть мерехтiти два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного (рис. 2.3).

4.4 Розкрити генератор сигналу, для чого установити курсор на мале зображення генератора (рис. 4.3) і двічі клацнути лівою клавiшею миші. З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.4).

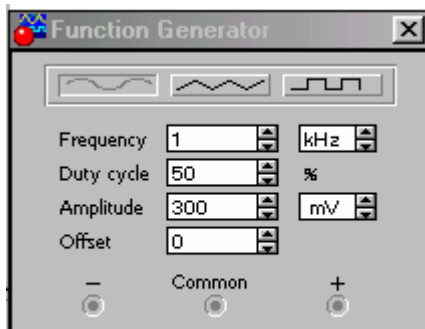


Рисунок 4.4

4.5 У віконці **Frequency** генератора установити розмірність kHz і частоту вхідної напруги 1 kHz.

4.6 Дослідити вплив постійної складової попереднього каскаду на спотворення сигналу при живленні ОП від двох джерел

4.6.1 Установити напругу зсуву $U_{зс} = 0$ підключенням неінвертуючого входу (+) до нуля клавiшею F.

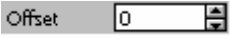
УВАГА !!!

Після роботи з **осцилографом** (рис. 2.3) або **генератором** (рис. 4.4) не діє жодна клавiша. Для уведення в дію клавiш треба установити курсор поза осцилографом та генератором і клацнути лівою клавiшею миші. Клавiші почнуть діяти.

4.6.2 Установити між каскадами зв'язок за постійним струмом клавішею Z (нижнє положення).

4.6.3 Установити у віконці **Amplitude** генератора (рис. 4.4) розмірність mV і якомога більшу амплітуду сигналу, але таку, щоб у вихідній напрузі $U_{вих2}$ спотворень не було б.

4.6.4 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна), звертаючи увагу на **фазу** сигналів.

4.6.5 Увести постійну складову у віконці  генератора величиною 0,5 від показань віконця **Amplitude**.

4.6.6 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна), звертаючи увагу на **фазу** сигналів та наявність постійної складової $U_{0вих1}$ попереднього каскаду.

4.6.7 Зробити висновки щодо спотворень при наявності постійної складової $U_{0вих1}$ попереднього каскаду.

4.7 Дослідити можливість компенсації напруги зсуву (балансування) в каскадах на ОП

4.7.1 Підключити неінвертуючий вхід (+) до схеми компенсації зсуву (балансування) клавішею F .

4.7.2 Змінюючи напругу зсуву змінним резистором R за допомогою клавіші R при одночасно натиснутій клавіші $Shift$ або без неї ліквідувати спотворення.

4.7.3 Зарисувати в **масштабі** осцилограму лише $U_{вих2}$ та відзначити умови її походження.

4.7.4 Зробити висновки щодо впливу компенсації постійної складової $U_{вих1}$ попереднього каскаду на спотворення.

4.8 Дослідити вплив постійної складової попереднього каскаду на спотворення сигналу при живленні ОП від одного джерела

4.8.1 Відкрити файл “Живл ОП 1” (рис. 4.6).

4.8.2 Установити напругу зсуву $U_{зс} = 0$, підімкнувши неінвертуючий вхід (+) до нуля клавішею F .

4.8.3 Установити у віконці **Amplitude** генератора (рис. 4.4) таку амплітуду, щоб на виході $U_{вих1}$ з'явився б помітний сигнал.

4.8.4 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна), зберігаючи постійну складову.

4.8.5 Зробити висновки щодо непроходження сигналу за наявності постійної вихідної напруги попереднього каскаду $|U_{0вих1}| \neq |U_{зс}|$.

4.8.6 Підключити неінвертуючий вхід (+) до схеми компенсації зсуву (балансування) клавішею F .

Живл ОП 1.ewb

ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ ЖИВЛЕННЯ ОП ВІД ОДНОГО ДЖЕРЕЛА

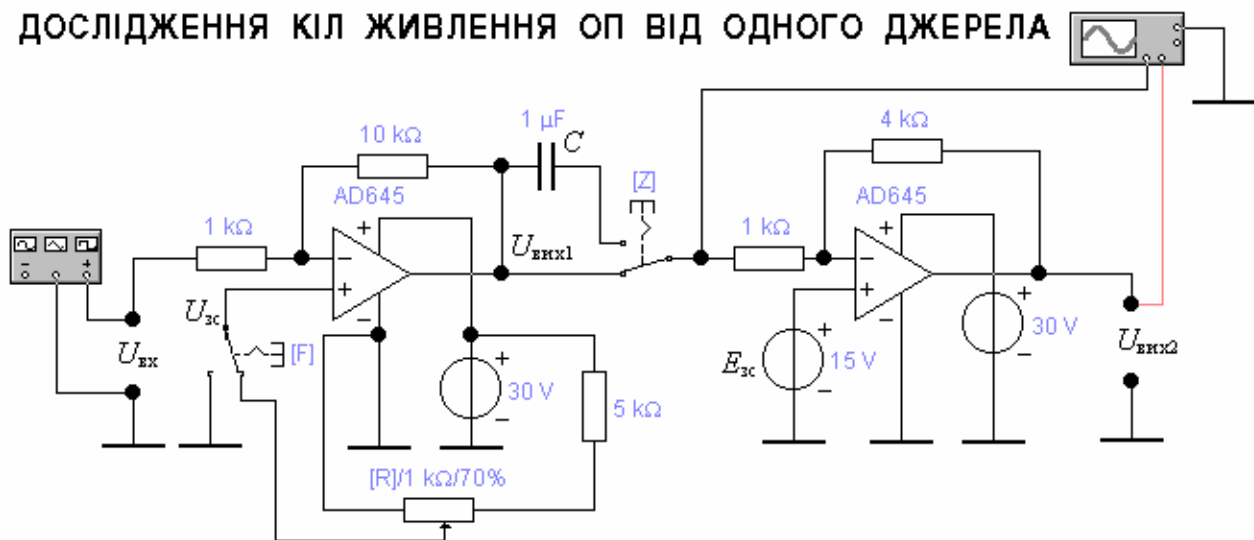


Рисунок 4.6 – Схема дослідження кіл живлення ОП від одного джерела

4.8.7 Змінюючи напругу зсуву $U_{зс}$ змінним резистором R за допомогою клавіші R при одночасно натиснутій клавіші *Shift* або без неї мінімізувати спотворення вихідного сигналу $U_{вих2}$.

4.8.8 Зменшити амплітуду $U_{вх}$ у віконці **Amplitude** генератора так, щоб спотворення були б якомога малими.

4.8.9 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна), зберігаючи постійну складову $U_{0вих}$.

4.8.10 Зробити висновки про співвідношення постійної складової $U_{0вих1}$ та напруги живлення для неспотвореного сигналу.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

5.1.1 Схема дослідження за п. 3.1.

5.1.2 Схема дослідження за п. 3.2.

5.2 Виконання лабораторного завдання

5.2.1 Епюри за пп. 4.6.4 та 4.6.6.

5.2.2 Висновки за пп. 4.6.7.

5.2.3 Епюра за п. 4.7.3.

5.2.4 Висновки за п. 4.7.4.

5.2.5 Епюри за п. 4.8.4, 4.8.9.

5.2.6 Висновки за п. 4.8.5.

5.2.7 Висновки за п. 4.8.10.

Рекомендована література

- 1 Воробйова О.М., Іванченко В.Д. Основи схемотехніки: У двох частинах. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. Частина 1. – С. 166 – 168.
- 2 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
- 3 Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1983, – Т.1. 598 с.
- 4 Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС. – М.: Мир, 1985. – 572 с.

УСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ

1 Для установлення (змінення) параметрів будь-якого елемента необхідно підвести курсор до зображення елемента так, щоб стрілка перетворилася на пальці, а елемент став червоного кольору.

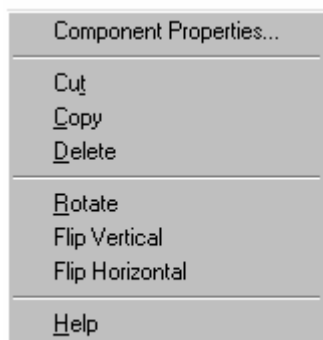


Рисунок 1.1

2 Клацнути клацнути правою клавiшею миші. З'явиться вікно (рис. 1.1).

3 Установити стрілку курсора на **Component Properties...** і клацнути лівою клавiшею миші. Відкриється вікно (рис. 1.2), в якому за допомогою миші та клавіатури слід установити необхідний параметр і увести його клацанням по кнопці ОК лівою клавiшею миші.

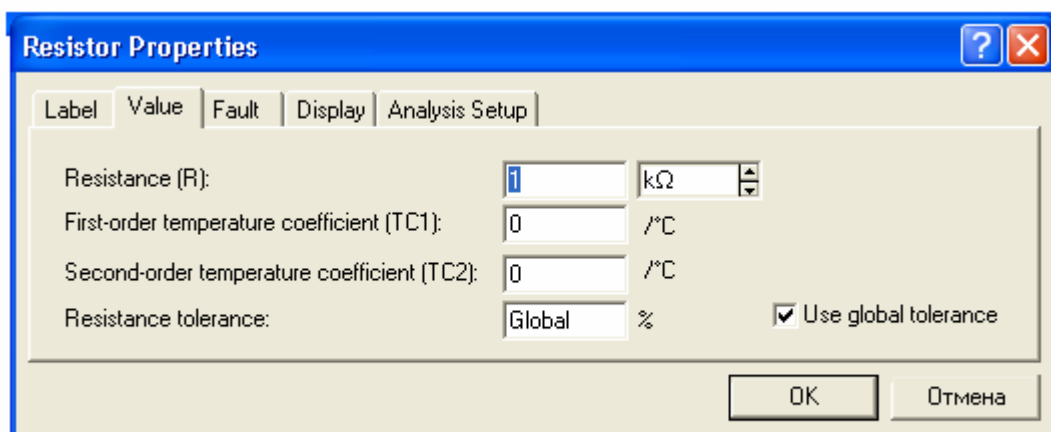


Рисунок 1.2

РОБОТА З ОСЦИЛОГРАФОМ

1 Осцилограф призначений для перетворення залежності від часу електричної напруги у візуальне зображення і в даному випадку має два незалежних канали: **Channel A** і **Channel B**. Тому є можливість одночасно спостерігати часові процеси у двох різних колах, якщо виділити промінь кольором (рис. 2.1).

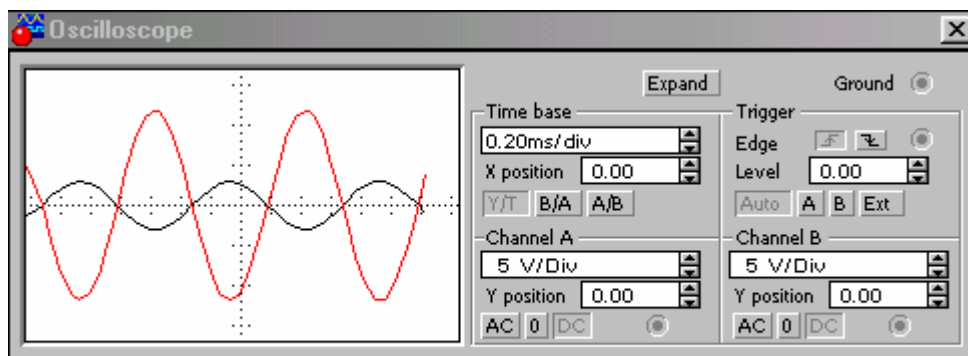


Рисунок 2.1

2 Органи настройки осцилографа дозволяють змінювати горизонтальний та вертикальний параметри зображення.

2.1 Часом розгортки **Time base** змінюють період зображення: чим менше **Time base**, тим більше період (рис. 2.2, а і б).

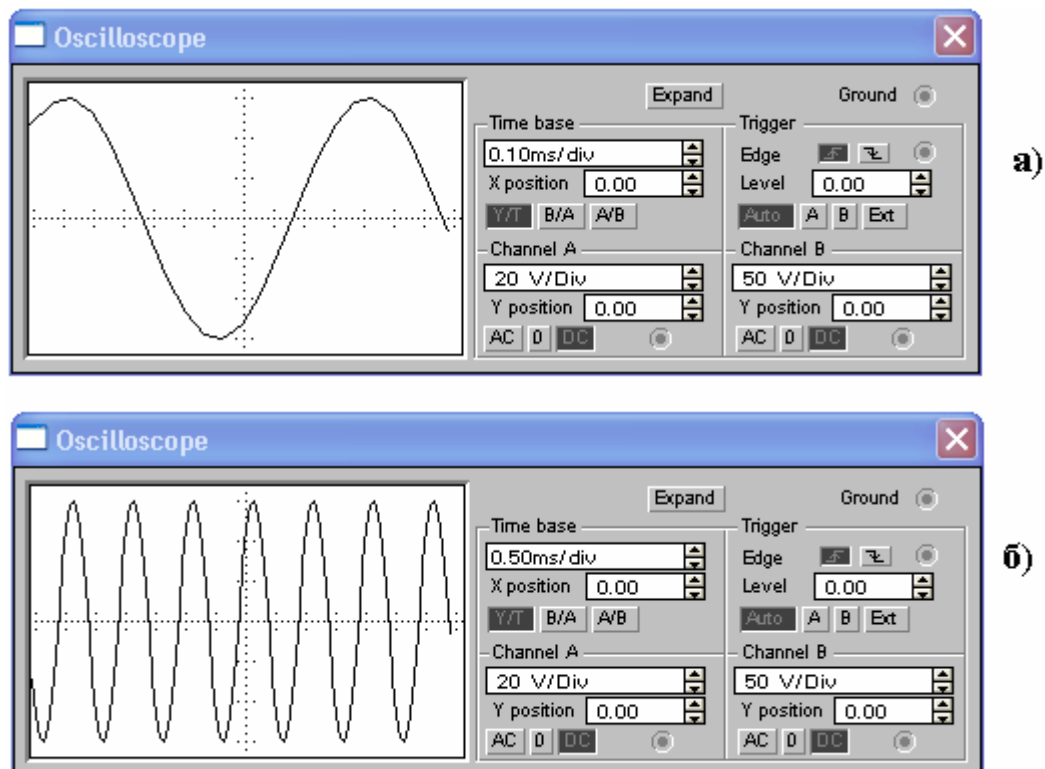


Рисунок 2.2

2.2 Ціною поділки установлюють вертикальний розмір зображення. Чим менше , тим більше вертикальний розмір (рис. 2.3, а і б).

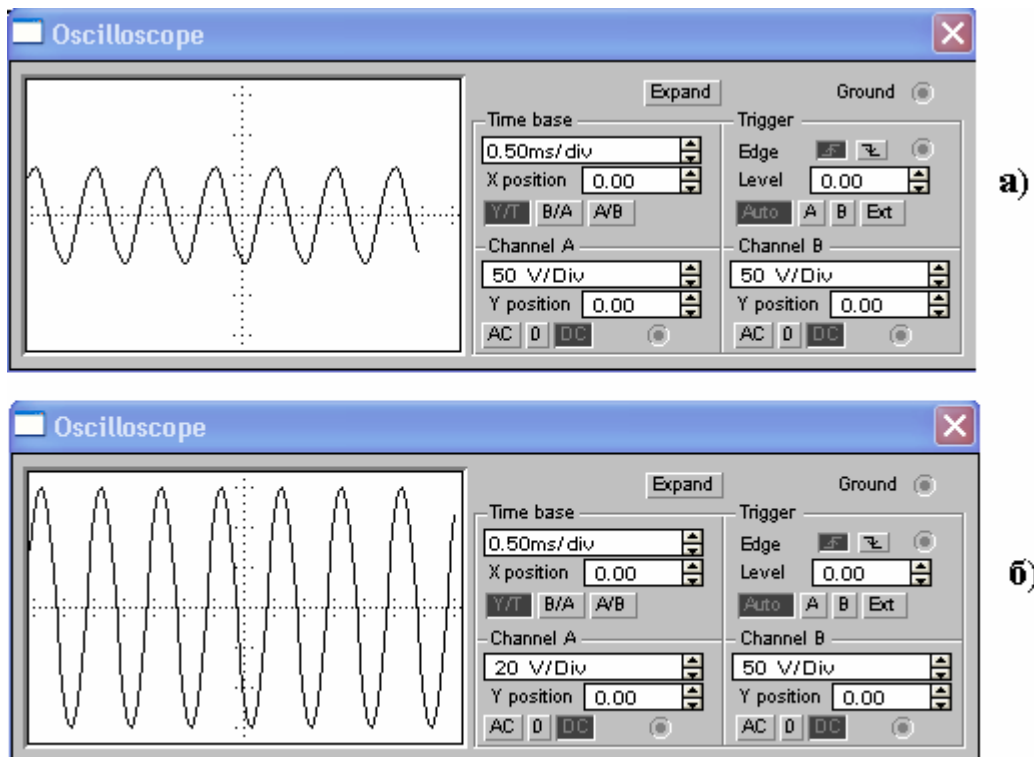


Рисунок 2.2

2.3 Установки за пп. 2.1 і 2.2 в каналах **Channel A** і **Channel B** діють незалежно одне від одного.

2.4 Колір променя співпадає з кольором проводу, що підключений до входу відповідного каналу.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1

Дослідження резистивних подільників і регуляторів напруги 3

Лабораторна робота № 2

Дослідження напівпровідникових діодів 11

Лабораторна робота № 3

Дослідження трансформатора та діода у схемах однонапівперіодного випрямляча 15

Лабораторна робота № 4

Дослідження біполярного транзистора 22

Лабораторна робота № 5

Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі 28

Лабораторна робота № 6

Дослідження підсилювача зі зворотним зв'язком 34

Лабораторна робота № 7

Дослідження транзисторного ключа 40

Лабораторна робота № 8

Дослідження диференційного каскаду 47

Лабораторна робота № 9

Дослідження каскадів на операційних підсилювачах 54

Лабораторна робота № 10

Дослідження кіл живлення операційних підсилювачів 62

Додаток А 68

Додаток Б 69

Редактор

Кодрул Л.А.

Комп'ютерна верстка
та макетування

Гардиман Ж.А.