

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Ужгородський національний університет**  
**Інженерно-технічний факультет**

# **МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК**

**до виконання лабораторних робіт з курсу**

**ЕЛЕКТРОНІКА**

**Ужгород 2021**

УДК 621.38:681.14:621.396

Методичний посібник до лабораторних робіт з курсу „Електроніка”:  
Ужгород: УжНУ, 2021. – \_\_\_\_ с.

Укладачі: зав. каф приладобудування Чичура І.І.

Рецензент: зав каф. електронних систем Заяць Т.М.

Затверджено  
Засіданням кафедри  
приладобудування

---

Протокол № 4  
від 12.07.2021 р.

## Лабораторна робота № 1

### Дослідження резистивних подільників і регуляторів напруги

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:  
Складати схеми резистивних подільників і регуляторів напруги.

Розрахувати подільник напруги на заданий коефіцієнт передавання.

Аналітично та експериментально визначати коефіцієнт передавання подільників і регуляторів.

Аналітично і експериментально визначати припустимий опір навантаження подільника.

Змінювати межі регулювання вихідної напруги.

#### 2 Ключові положення

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

$$K \left\{ \frac{U_{m \text{ вих}}}{U_{m \text{ вх}}} \right. \quad (1)$$

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

$$K \left\{ \frac{R_2}{R_1 \parallel R_2} \right. \quad (2)$$

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 якоесь 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

$$K_{\text{н}} \left\{ \frac{R \parallel R_{\text{н2}}}{R \parallel R_{\text{н2}}} \right. \quad (4)$$

де  $R \parallel R_{н2} = \frac{R R_{н2}}{R + R_{н2}}$  – 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

Скласти схему дослідження подільника напруги.

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

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

### 4 Лабораторне завдання

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

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

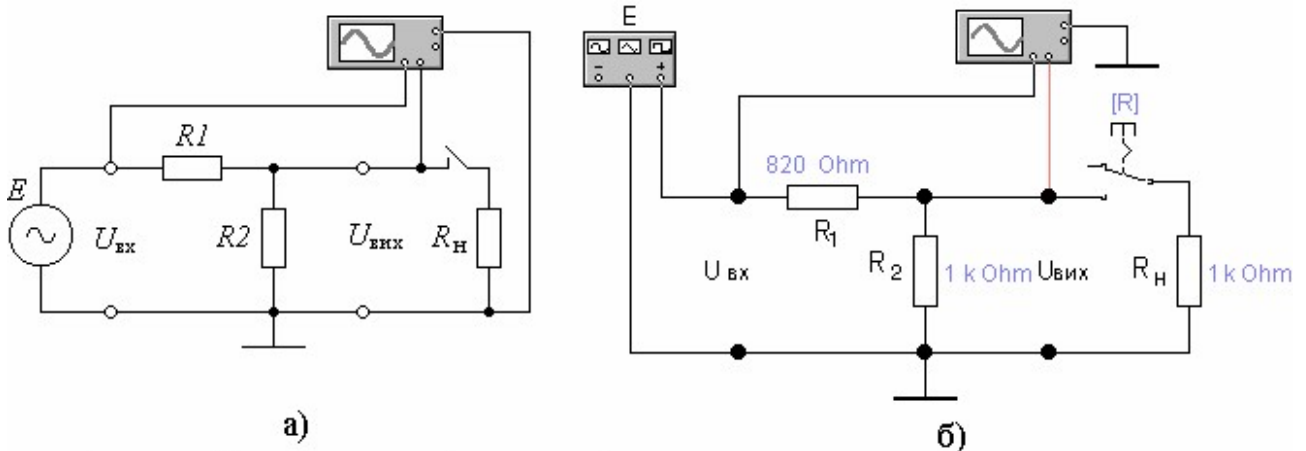


Рисунок 4.1 – Схема дослідження подільника напруги:

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.

Виділення та переміщення елементів.

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

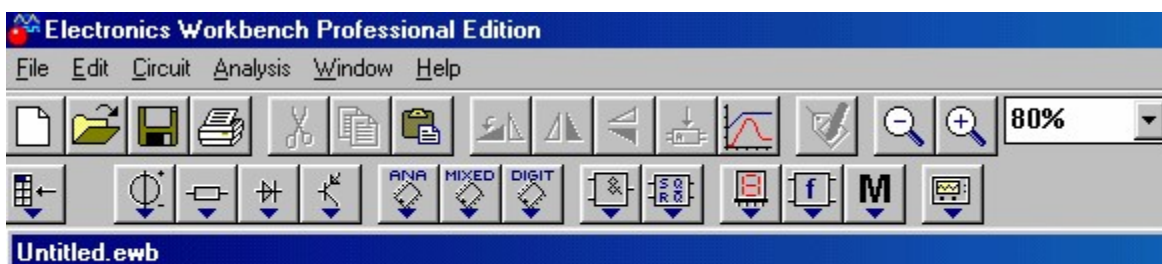


Рисунок 4.2 – Поле вибору елементів

Установити курсор на елемент і клацнути лівою клавiшею 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.

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.

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);

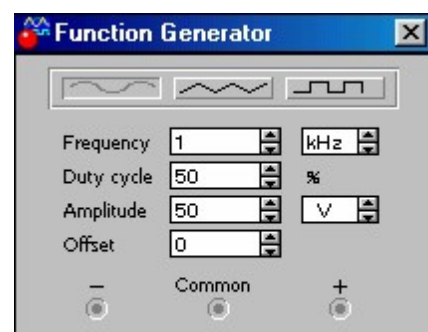


Рисунок 4.4

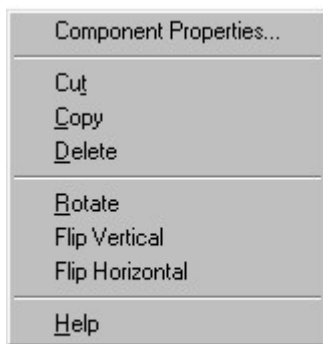


Рисунок 4.5

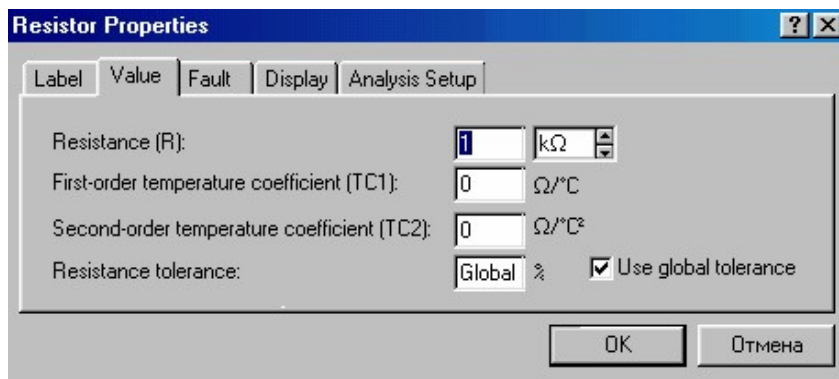


Рисунок 4.6

– 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 ОК.

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.

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

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.

### *Дослідити подільник напруги на холостому ході*

Установити режим *x.x*, відімкнувши опір навантаження клавішею *R*.

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

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).

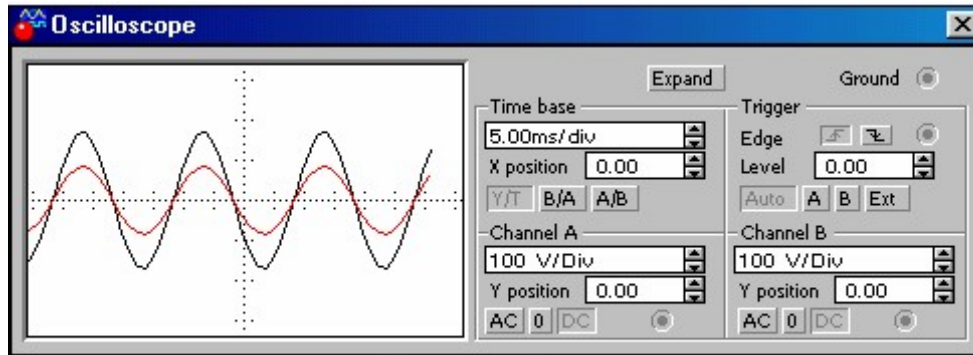


Рисунок 4.8

Вимірити амплітуди напруг вхідної  $U_{\text{мвх}}$  та вихідної  $U_{\text{мвих}}$  і навести **вмасштабі** діаграму роботи подільника, розміщуючи осцилограми **одну під одну** (зверху вхідна напруга, знизу – вихідна), звертаючи увагу на **нафазу** сигналів.

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  $U_{\text{мвх}}$  та  $U_{\text{мвих}}$  вимірюються на збільшеному екрані осцилографа установленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення осцилограм (рис. 4.9).

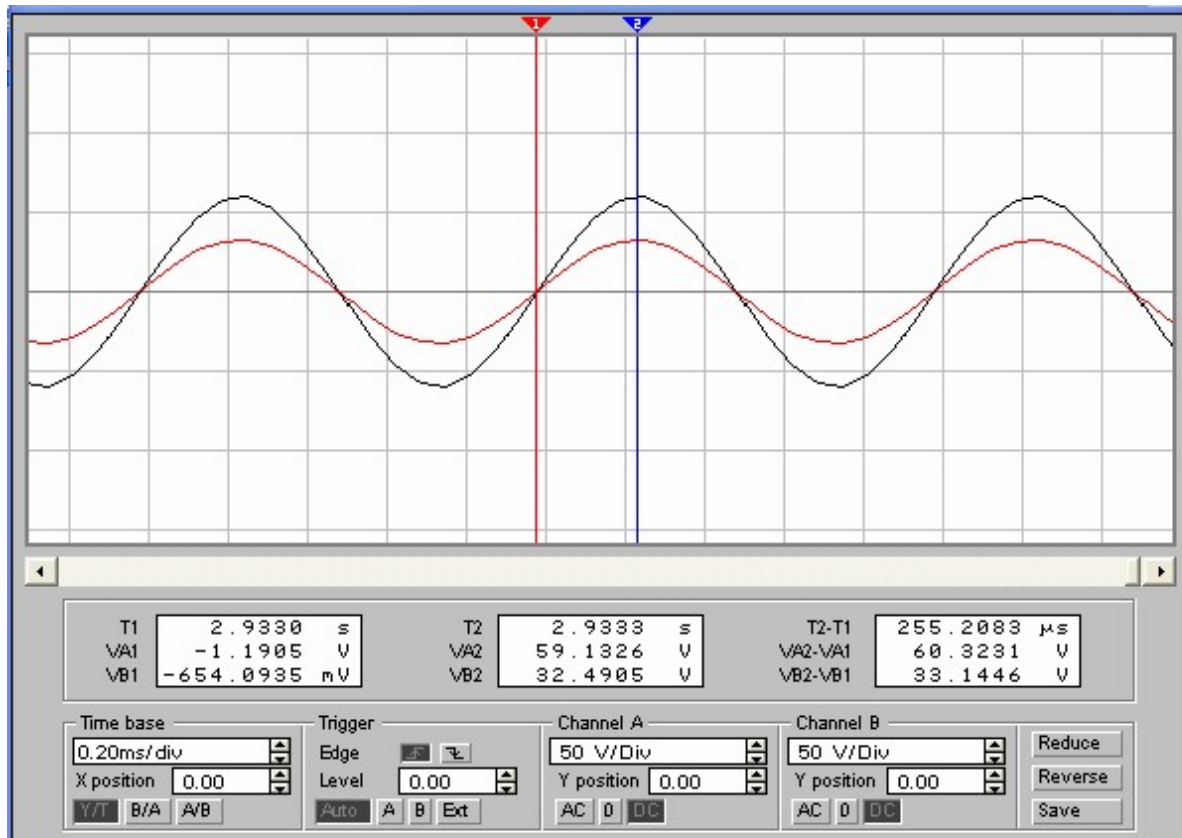


Рисунок 4.9

Відлічити значення амплітуд у правому віконці:

$$U_{\text{мвх}} = VA2 - VAI;$$

$$U_{\text{мвих}} = VB2 - VB1.$$

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

Визначити погрішність та зробити висновки щодо неї.

### *Дослідити регулятор напруги*

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

Таблиця 4.1

$\frac{R_1}{R_{\text{ном1}}}$	$R_1,$ кОм	$U_{\text{мвх}},$ В	$U_{\text{мвих}},$ В
0.0			
0.5			
1.0			
2.0			

Таблиця 4.2

$\frac{R_2}{R_{\text{ном2}}}$	$R_2,$ кОм	$U_{\text{мвх}},$ В	$U_{\text{мвих}},$ В
0.0			
0.5			
1.0			
2.0			

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.

Зробити висновки щодо впливу опорів плечей на вихідну напругу.

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

### *Дослідити подільник напруги під навантаженням*

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

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

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

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

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

Зробити висновки щодо впливу навантаження на вихідну напругу подільника.

Таблиця 4.3

Режим $U$	$U_{\text{мвих}},$ В
Хол. хід	
Навант.	

## 5 Зміст протоколу

### *Виконання домашнього завдання*

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.

### *Виконання лабораторного завдання*

Діаграма роботи подільника за п. 4.3.4.

Розрахунки за пп. 4.3.6 та 4.3.7.

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

Принцип дії резистивного подільника напруги.

Вплив опору плечей подільника на вихідну напругу.

Вплив опору навантаження на вихідну напругу подільника.

Принцип дії резистивного регулятора напруги.

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 трансформатора та діода у схемах однонапівперіодного випрямляча

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

Складати схеми однонапівперіодного випрямляча з трансформаторним входом.

Визначати та змінювати коефіцієнт трансформації.

Експериментально визначати амплітуди випрямленої, прямої та зворотної напруг у схемі випрямляча.

Змінювати полярність випрямленої напруги.

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:

$$U_{mвих} = U_{mвх} - U_{mпр},$$

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

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

### 3 Домашнє завдання

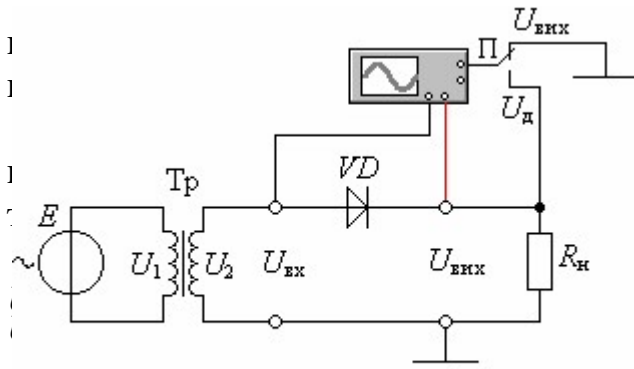


Рисунок 3.1 – Схема дослідження випрямляча

Навести схеми однонапівперіодним входом для одержання напруг.

Навести діаграму роботи (на вторинній обмотці за опорі навантаження).

Розрахувати напругу при напрузі первинної обмотки

$$\frac{N_1}{N_2} = 30$$

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

3.6 Розрахувати опір навантаження

$$R_{\text{н}} = 50 + 10 n, \text{ Ом,}$$

дел– 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).

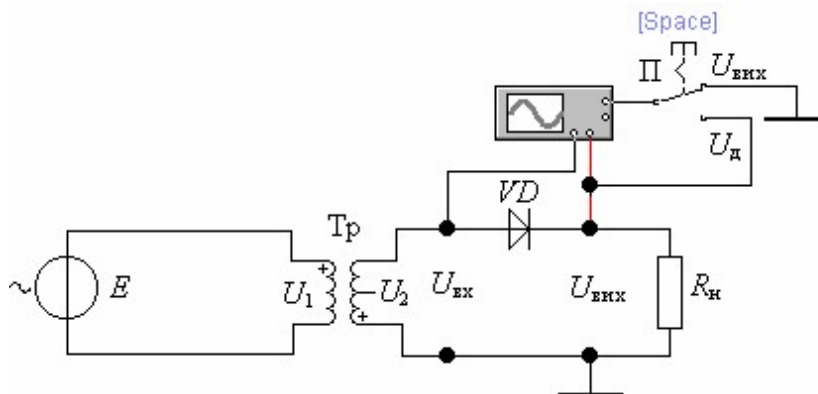


Рисунок 4.1 – Реалізація схеми дослідження випрямляча у програмному середовищі EWB

## Установити розраховані параметри

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).

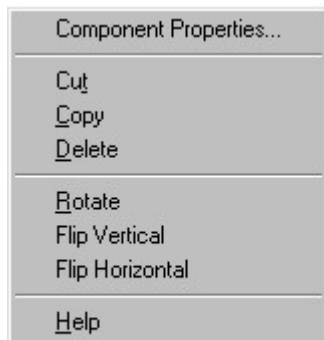


Рисунок 4.2

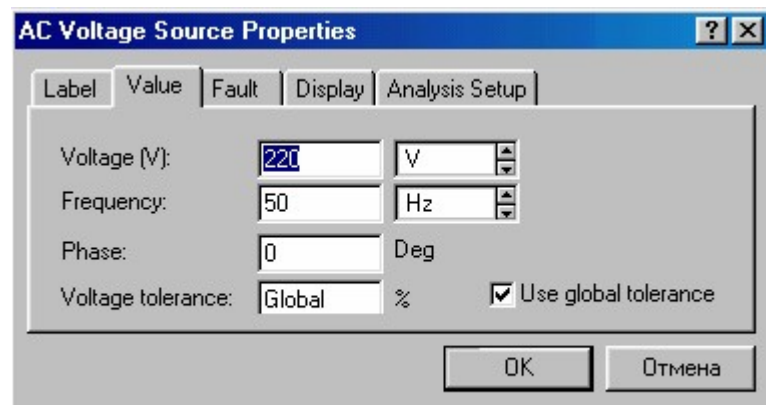


Рисунок 4.3

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.

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):** 10, якої необхідно установити величину, зворотну коефіцієнту трансформації ( $1/N$ ), тобто 30 і підтвердити це кнопкою ОК.

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).

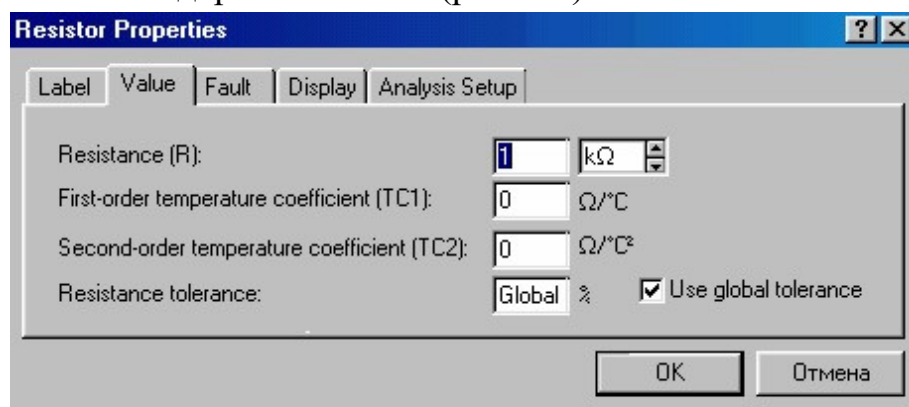



Рисунок 4.4


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

Відкриється панель (рис. 4.4), на якій треба установити розрахований опір навантаження і підтвердити це кнопкою ОК.

### *Дослідити вхідну і вихідну напруги та напругу на діоді*

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

Підімкнути канали *A* і *B* осцилографу відповідно до входу і виходу випрямляча переводом перимикача П в положення  $U_{\text{вих}}$  клавiшею *Space*.

 Розкрити осцилограф установленням курсора на його умовному позначенні (рис. 4.5) і подвійним клацанням лівою клавiшею миші. На екрані будуть мерехтити два промені: чорний – для вхідної напруги та червоний – для вихідної (рис. 4.6).

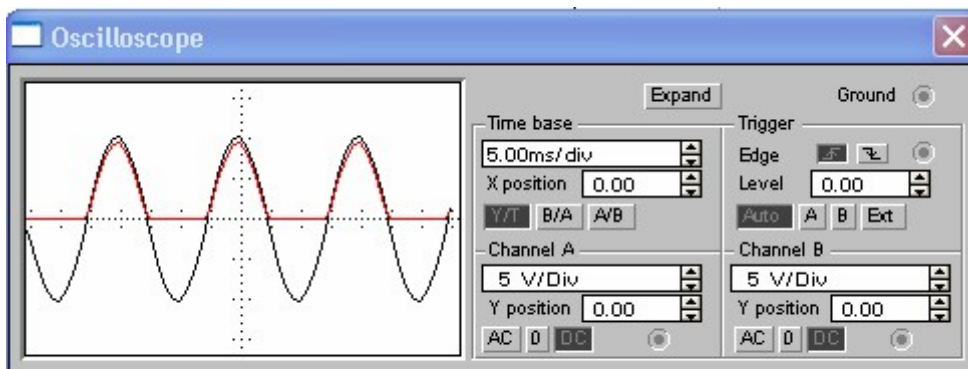


Рисунок 4.6

Вимірити амплітуди напруг вхідної  $U_{\text{mvx}}$ , на діоді  $U_{\text{мд}}$  та вихідної  $U_{\text{mvix}}$  і навести **вмасштабі** діаграму роботи випрямляча, розміщуючи **одну підодну** осцилограми у наступному порядку:  $U_{\text{vx}}(t), U_{\text{д}}(t), U_{\text{vix}}(t)$ .

Вимірювання амплітуд за п. 4.4.4 здійснюється наступним чином:

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

Амплітуди  $U_{\text{mvx}}$  та  $U_{\text{mvix}}$  вимірюються на збільшеному екрані осцилографу установленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення осцилограм (рис. 4.7).

Амплітуди напруг можна відлічити у правому віконці:

$$U_{\text{mvx}} = VA2 - VA1,$$

$$U_{\text{mvix}} = VB2 - VB1.$$

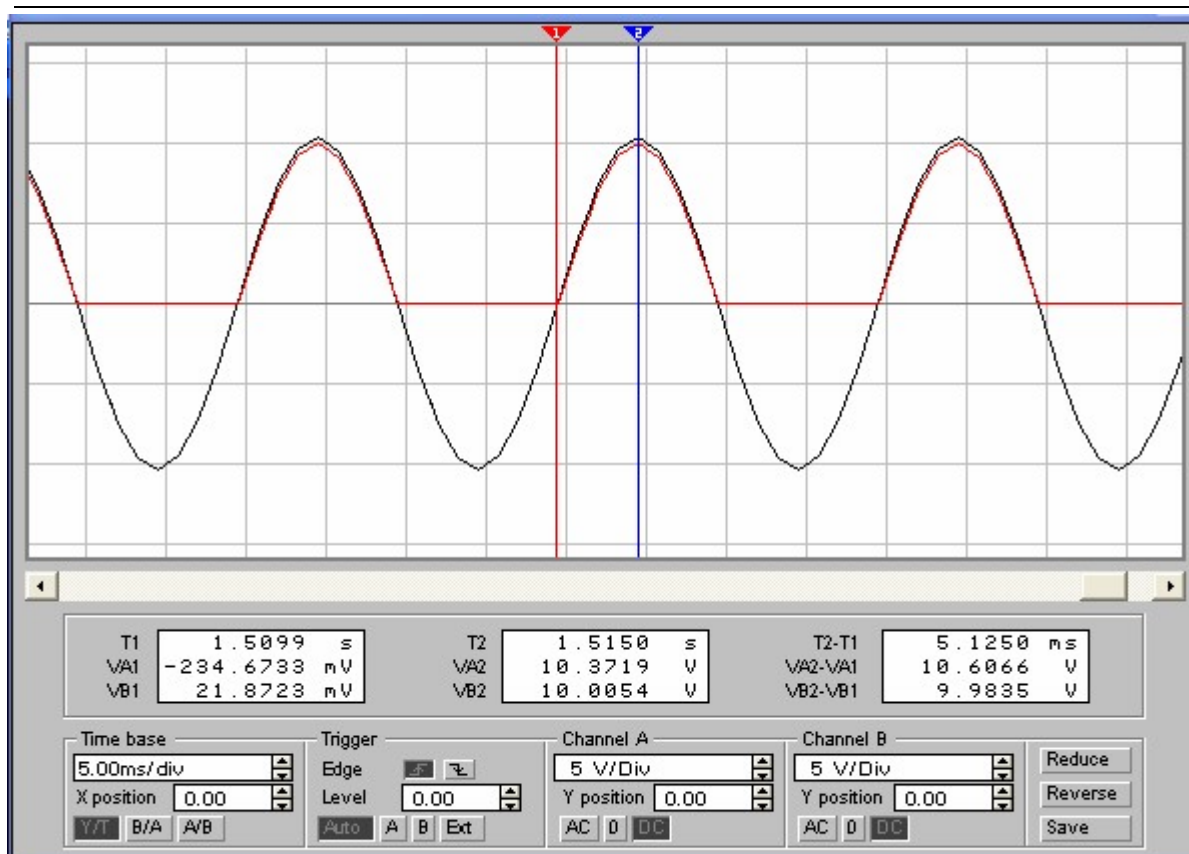


Рисунок 4.7

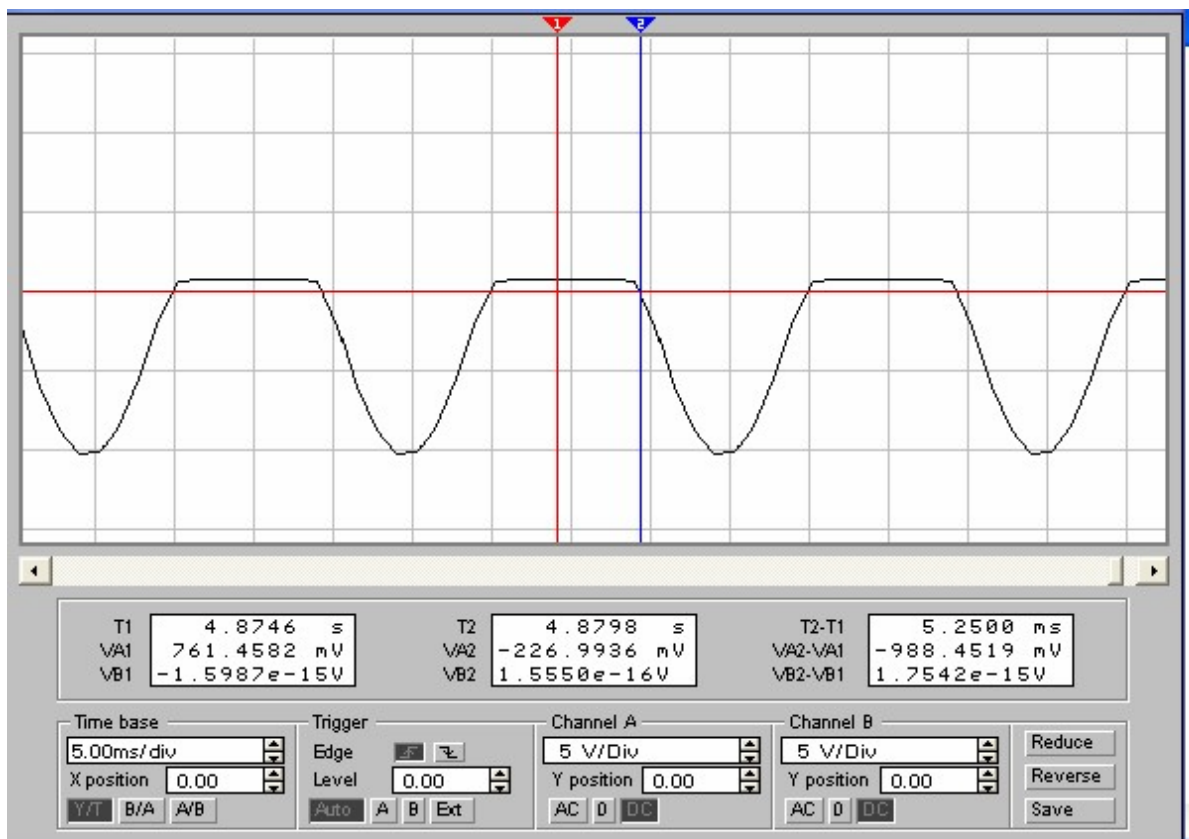


Рисунок 4.8

Для дослідження напруги на діоді підімкнути канал А осцилографа до діода переводом клавішею *Sрасе* перемикача П в положення  $U_{д}$ . 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:

$$U_{mпр} = VA2 - VA1.$$

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

$$U_{mзв} = VA2 - VA1.$$

Занести результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань

Величина	Розрах.Вимір.	Похибка абсол.	Похибка, %
$U_{m1}, В$			
$U_{m2}, В$			
$U_{mвх}, В$			

Зробити висновки щодо співвідношень амплітуд:

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

Зробити висновки щодо розбіжності (похибки вимірювань) між вимірними та розрахунковими величинами:  $U_{mвх}, U_{mвих}, U_{mпр}, U_{mзв}$ .

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.

Зробити висновки щодо впливу опору навантаження на амплітуду вихідної напруги.

Таблиця 4.2

$R_n,$ Ом	$R_n,$ Ом	$U_{mвих},$ В
50		
+10N		
5 +N		

---

## 5 Зміст протоколу

### ***Виконання домашнього завдання***

Схема дослідження.

Діаграма роботи за п. 3.2.

Розрахунки за пп. 3.3 – 3.6.

Форми табл. 4.1 та 4.2.

### ***Виконання лабораторного завдання***

Діаграма роботи за п. 4.4.4.

Таблиця 4.1.

Висновки за п. 4.4.7 та 4.4.8.

Таблиця 4.2.

Висновки за п. 4.4.10.

## 6 Ключові питання

Принцип дії випрямляча.

Параметри трансформатора.

Співвідношення амплітуд вихідної та вихідної напруг випрямляча.

Змінення полярності випрямленої напруги.

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 № 3

### Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:  
 Складати схеми підсилювачів на біполярних транзисторах.  
 Експериментально визначати коефіцієнт підсилення.  
 Змінювати коефіцієнт підсилення.  
 Установлювати активний режим роботи транзистора.

Вибирати положення робочої точки для мінімальних спотворень сигналу.

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  $E_{ж}$ .

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

$U_{вих}$  – вихідна підсилена напруга.

Опором резистора  $R_B$  установлюють робочу точку.

Щоб опір джерела вхідного сигналу не впливав би на режим транзистора  $VT$ , напруга  $U_{вх}$  підводиться до підсилювача через розподілювальний 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

$$U_{OK} = 0,5(E_{ж} - U_{KEнас}). \quad (1)$$

При цьому струм колектора визначиться як

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

а струм бази як

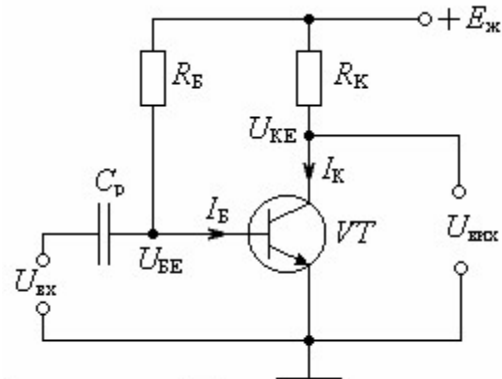


Рисунок 2.1 – Принципова схема підсилювача зі спільним емітером

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

де  $\beta$  – коефіцієнт передавання струму в схемі зі спільним емітером.

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

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

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  $E_{ж}$  та  $U_{КЕнас}$  (рис. 2.2,а).

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

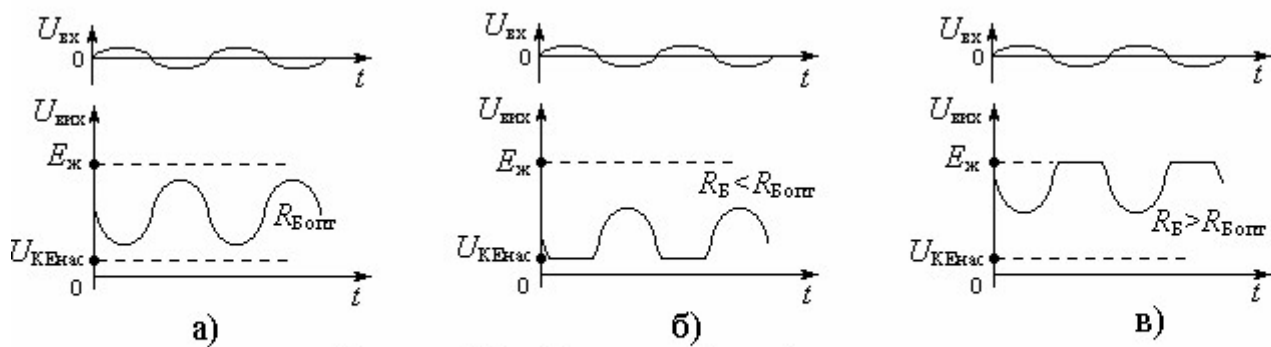


Рисунок 2.2 – Діаграма роботи підсилювача:

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

### 3 Домашнє завдання

Скласти схему дослідження підсилювача зі спільним емітером.

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

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

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

Заготовити форму табл. 4.1.

### 4 Лабораторне завдання

Відкрити файл “Підсилювач” (рис. 4.1).

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

Установити курсор на умовне позначення джерела живлення  $E_{ж}$  так, щоб стрілка перетворилася на вказівний палець і клацнути правою клавшею миші. Відкриється віконце **Component Properties...**.

Підсилювач.ewb

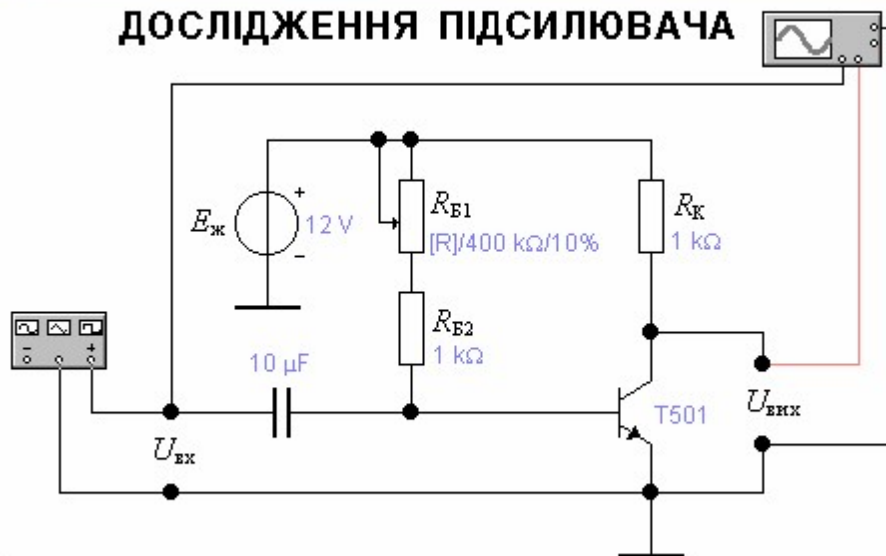




Рисунок 4.1 – Схема дослідження підсилювача

Установити курсор на це віконце і клацнути лівою клавшею. Відкриється вікно **Voltage (V):**  **V**, в якому треба з клавіатури установити розраховане значення за п. 3.3.

Установити розрахований опір резистора  $R_B$  в колі бази клавшею  $R$ . Зменшення опору  $R$  здійснюється натисненням клавші  $R$ , а збільшення – одночасним натисненням клавш *Shift*  $R$ .

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

 Розкрити осцилограф (рис. 4.2) установленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавшею миші.

На екрані будуть мерехтати два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.

Зміненням опору  $R_B$  здійснити умову (1).

### **Визначити коефіцієнт підсилення**

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

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

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

Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

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

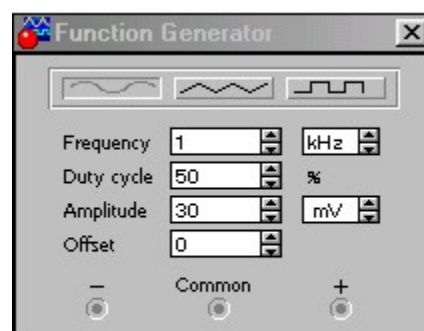


Рисунок 4.4

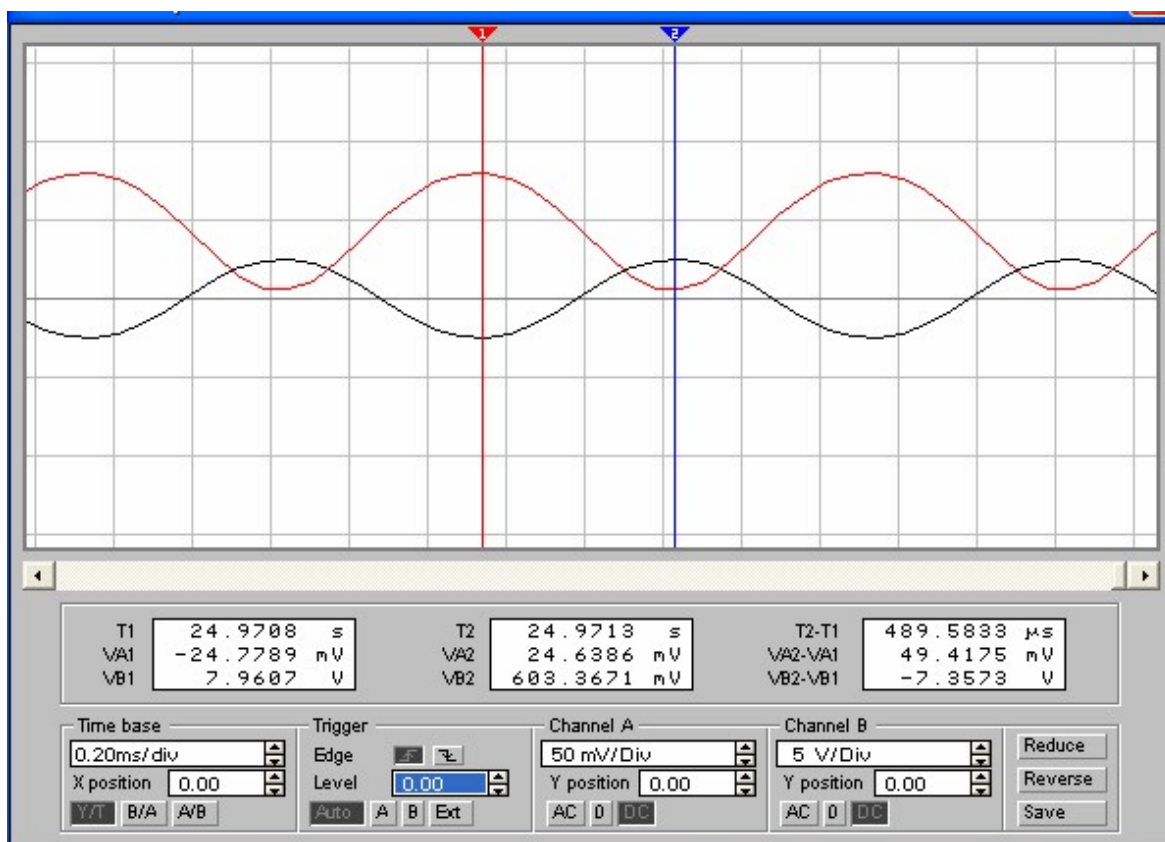


Рисунок 4.5

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

Вимірити постійну складову вихідної напруги  $U_{0K}$ , амплітуди вхідної  $U_{m_{вх}}$  та вихідної  $U_{m_{вих}}$  напруг, визначити коефіцієнт підсилення

$$K = \frac{U_{m_{вих}}}{U_{m_{вх}}}$$

і занести результати вимірювань та розрахунків до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення коефіцієнта підсилення

Номер вимірювання	Параметри		
	$U_{mвх}, мВU$	$U_{mвих}, ВКУ$	оК, В
1			
2			

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

$$2 U_{mвх} = VA2 - VA1,$$

$$2 U_{mвих} = VB2 - VB1.$$

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

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

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

### ***Дослідити вплив положення робочої точки на спотворення сигналу***

Змінюючи в обидва боки від розрахованого опір  $R_B$ , зняти та навести **вмасштабі** 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 **урізних** стовпцях або **нарізних** 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.*

Зробити висновки щодо впливу опору  $R_B$  на постійну складову вихідної напруги та спотворення сигналу.

## **5 Зміст протоколу**

### ***Виконання домашнього завдання***

Схема дослідження підсилювача зі спільним емітером.

Очікувані діаграми роботи підсилювача.

Розрахунок напруги живлення.

Розрахунок опору резистора в колі бази.

Форма табл. 4.1.

***Виконання лабораторного завдання***

Діаграми роботи за п. 4.6.5.

Таблиця 4.1.

Висновки за п. 4.6.9.

Діаграми роботи за п. 4.7.1.

Висновки за п. 4.7.2.

## **6 Ключові питання**

Принцип дії підсилювача.

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

Зв'язок між струмами бази і колектора.

Вплив опору резистора в колі бази на спотворення сигналу.

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 № 4

### Дослідження підсилювача зі зворотним зв'язком

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:  
 Скласти схеми підсилювачів зі зворотним зв'язком (ЗЗ).  
 Експериментально визначати коефіцієнт підсилення.  
 Уводити зворотний зв'язок.  
 Експериментально визначати вхідний опір підсилювача.

#### 2

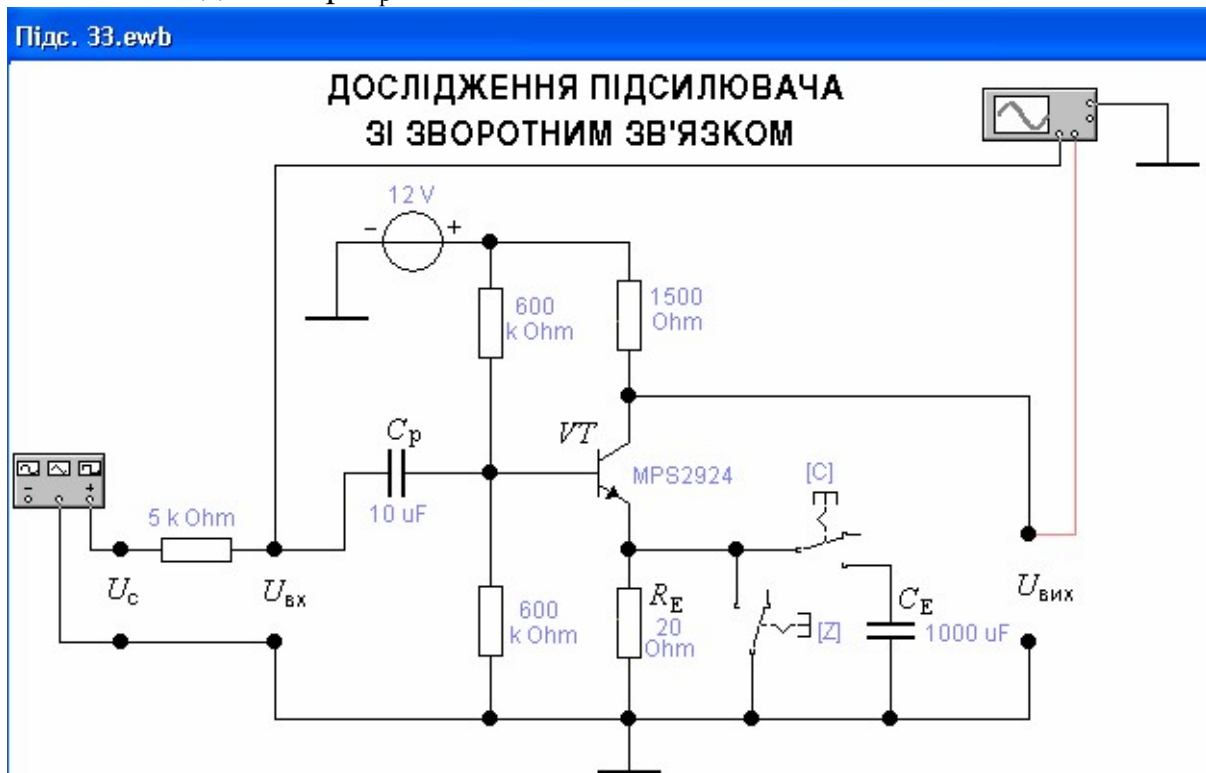
#### Ключові положення

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  $Z$  устанавлює 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  $U_{KEнас}$ .

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

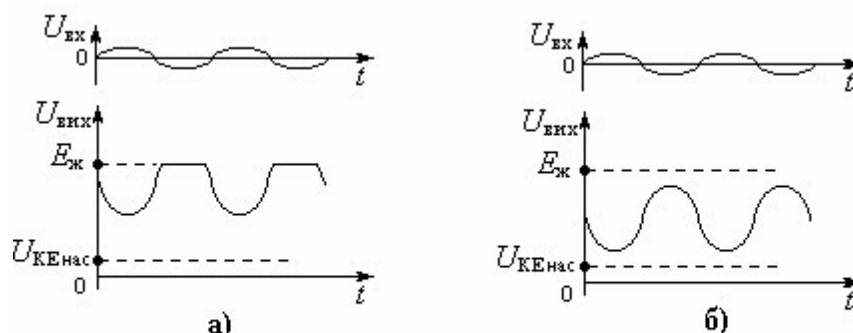


Рисунок 2.2 – Діаграма роботи підсилювача:

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  $R_{вх}$ :

$$U_{mвх} = U_{мс} \frac{R_{вх}}{R + R_{вх}}, \quad (1)$$

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

$$R_{вх} = \frac{U_{mвх}}{U_m} R_c. \quad (2)$$

### 3 Домашнє завдання

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

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 *урізних* стовпцях або *нарізних* сторінках *не дозволяється*).

Заготовити форму табл. 4.1 та 4.2.

## 4 Лабораторне завдання

Відкрити файл “Підс. 33” (рис. 2.1).

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




Рисунок 4.1

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

### **Визначити коефіцієнт підсилення підсилювача без зворотного зв’язку**



Розкрити генератор тановкою курсора на мале  генератора (рис.4.2) і подвійним клацанням лівою клавішею миші. З’явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.3).

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

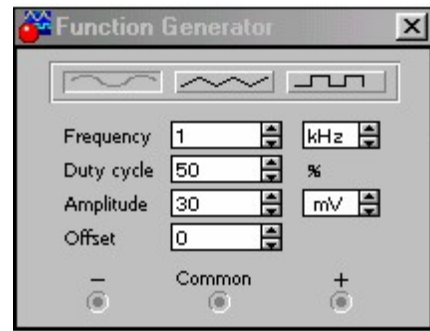


Рисунок 4.3

Усунути 33 закорочуванням резистора  $R_E$  в емітерному колі клавішею *Z*.

### **УВАГА !!!**

Після роботи з **осцилографом** (рис. 4.4) або **генератором** (рис. 4.3) не діє жодна клавіша. Для уведення в дію клавіш треба установити курсор поза осцилографом та генератором і клацнути лівою клавішею миші. Клавіші почнуть діяти.

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

Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

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

Вимірити постійну складову вихідної напруги  $U_{ок}$ , амплітуди вхідної  $U_{mвх}$  та вихідної  $U_{mвих}$  напруг, визначити коефіцієнт підсилення

$$K = \frac{U_{mвих}}{U_{mвх}}$$

і занести результати вимірювань та розрахунків до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення коефіцієнта підсилення

Наявність 33	Параметри		
	$U_{mвх}, мВU$	$U_{mвих}, ВKU$	оК, В
Без 33			
Із 33			

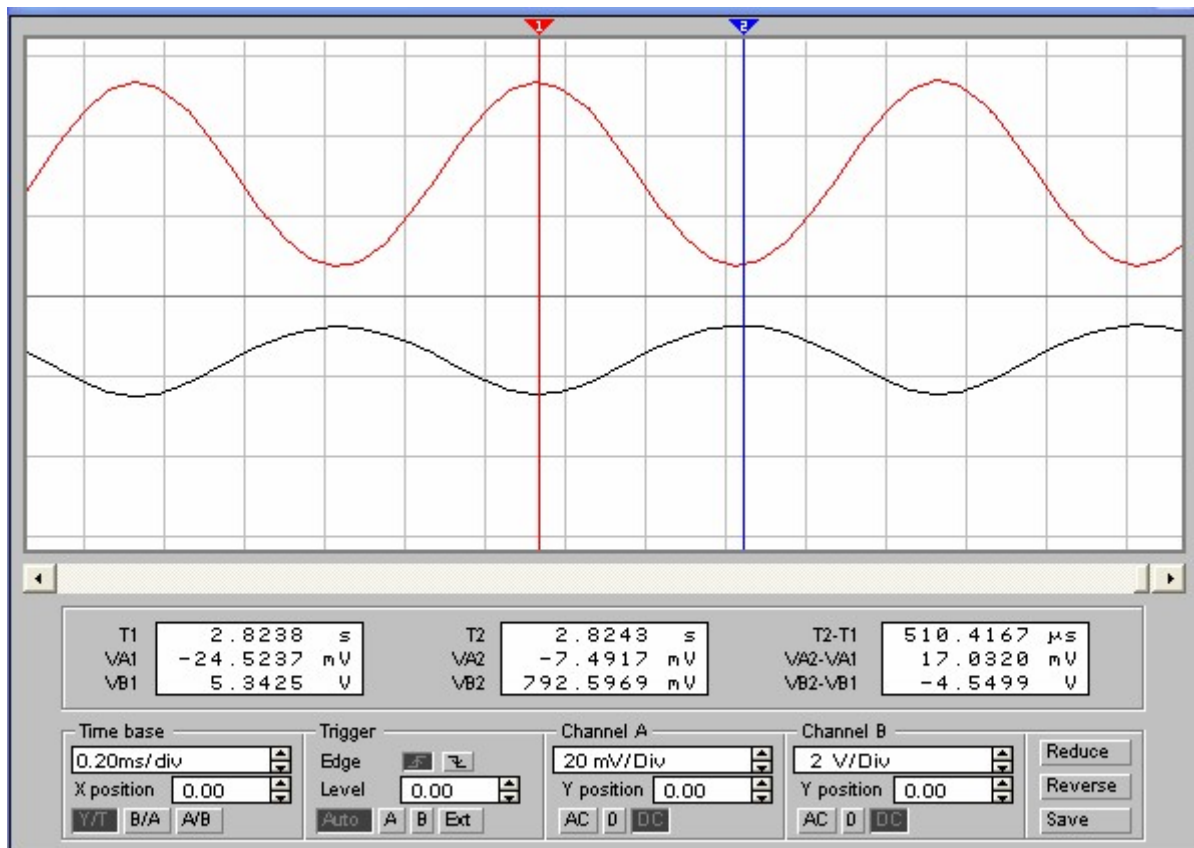


Рисунок 4.4

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

$$U_{mвх} = VA2 - VA1,$$

$$U_{mвих} = VB2 - VB1.$$

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

Увести зворотний зв'язок розкорочуванням резистора  $R_E$  в емітерному колі клавшею Z.

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

Вимірити постійну складову вихідної напруги  $U_{ок}$ , 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.

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

Зарисувати *вмасштабі* осцилограми за наявності ЗЗ, зберігаючи *постійну складову* (зверху вхідна напруга, знизу – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг *урізних* стовпцях або *нарізних* сторінках *не дозволяється*).

Вилучити ЗЗ клавішею Z.

Зарисувати *вмасштабі* під осцилограмами за п. 4.7.5 осцилограму  $U_{mvix}$ , зберігаючи *постійну складову*.

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

### ***Дослідити вплив зворотного зв'язку на вхідний опір***

Виконати маніпуляції за пп. 4.7.1 та 4.7.2.

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

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

Таблиця 4.2 – Визначення вхідного опору

Наявність ЗЗ	Параметри		
	$U_{мс}$ , мВ	$U_{mvx}$ , мВ	$R_{вх}$ , кОм
Із ЗЗ			
Без ЗЗ			

Зробити

висновки щодо

впливу від'ємного зворотного зв'язку на вхідний опір підсилювача.

### ***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**

### ***Виконання домашнього завдання***

Схема дослідження підсилювача зі зворотним зв'язком.

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

Форми табл. 4.1 та 4.2.

### **Виконання лабораторного завдання**

Таблиця 4.1.

Висновки за п. 4.7.4.

Осцилограми за п. 4.7.5; 4.7.7.

Висновки за п. 4.7.8.

Таблиця 4.2.

Висновки за п. 4.8.4.

### **6 Ключові питання**

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

Додатний та від'ємний ЗЗ.

Коефіцієнт підсилення за наявності ЗЗ.

Вплив від'ємного ЗЗ на коефіцієнт підсилення.

Вплив від'ємного ЗЗ на спотворення сигналу.

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 № 5

### Дослідження транзисторного ключа

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:  
Складати схеми ключів.

Розраховувати та експериментально визначати коефіцієнт насичення.

Установлювати необхідний коефіцієнт насичення транзистора.

Експериментально визначати тривалість перехідних процесів.

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

$$I_K = \frac{E_{KE} \setminus U_{KEнасК E}}{R_K}, \quad (1)$$

де  $E_{KE}$  – напруга живлення колекторного кола;

$U_{KEнас}$  – напруга колектора в режимі насичення, яка не перевищує прямої напруги нар-*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  $I_{B1}$  заведе транзистор в активний режим і тому тут не розглядається, а збільшення  $I_B$  підвищує так званий *коефіцієнт насичення*

$$S = \frac{I_B}{I_{1B}}. \quad (3)$$

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 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

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


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

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

Заготовити форму табл. 4.1 і 4.2.

### 4 Лабораторне завдання

Відкрити файл “Ключ стат” (рис. 4.1).

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


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

Рисунок 4.2

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).

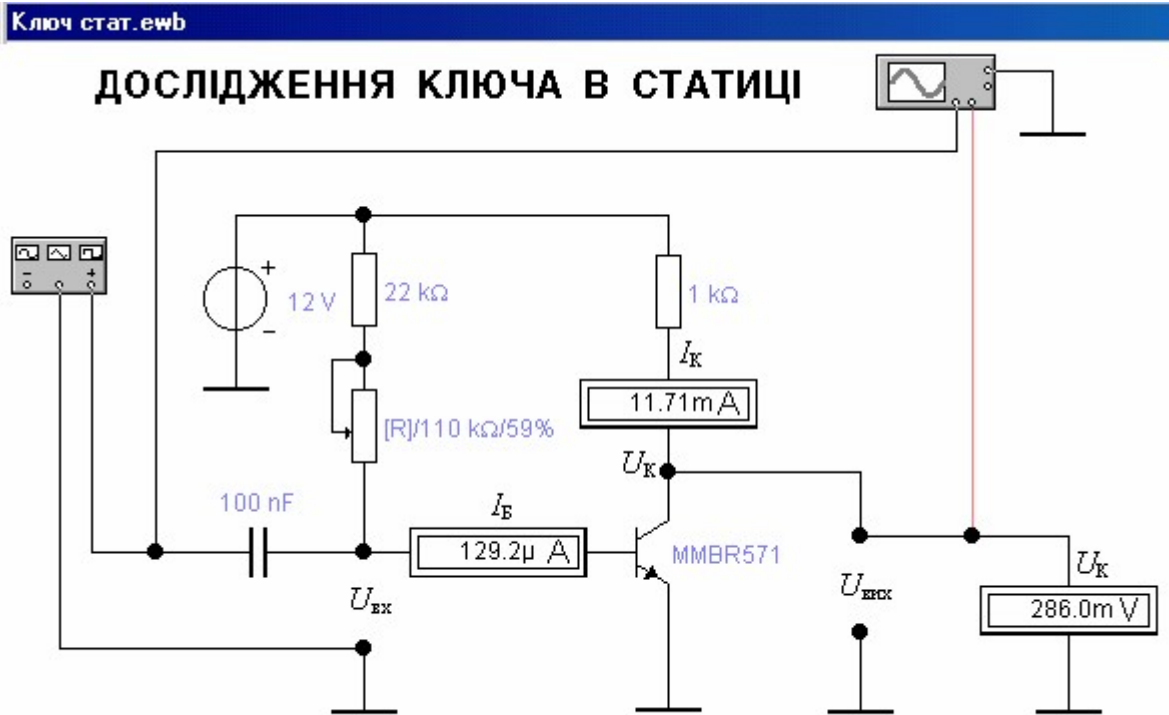


Рисунок 4.1 – Дослідження транзисторного ключа в статичі

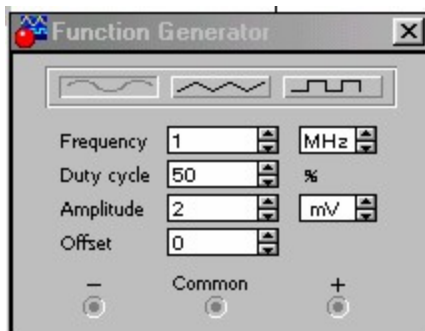


Рисунок 4.4

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

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

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

Зняти залежності струму колектора  $I_K$ , коефіцієнта насичення  $S$ , постійної вихідної напруги  $U_{OK}$  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 доводити 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 курсороза 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  $U_{mвих}$  вимірюється осцилографом (рис. 4.5).

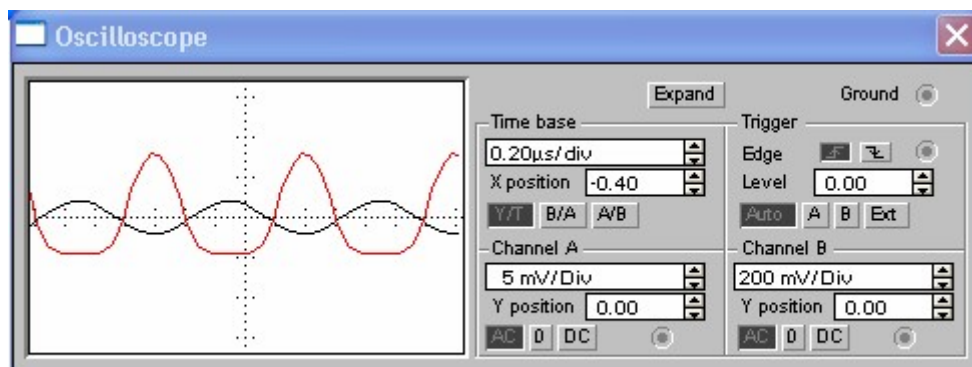


Рисунок 4.5

Результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Дослідження ключа

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

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

**Дослідити вплив коефіцієнта насичення на тривалість перехідних процесів**

Відкрити файл “Ключ дин” (рис. 4.6).

Розкрити осцилограф і генератор за пп. 4.3 та 4.4.

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

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА В ДИНАМІЦІ

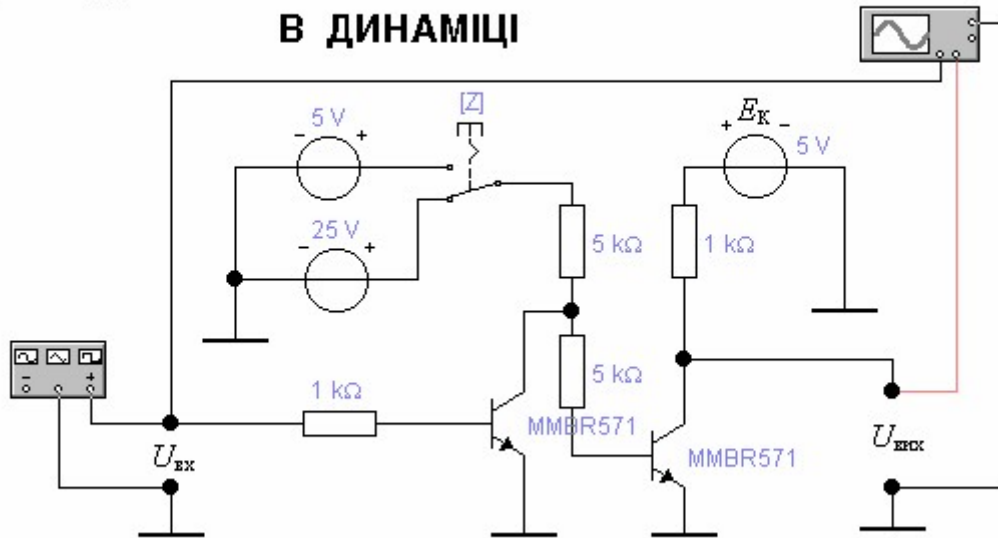


Рисунок 4.6 – Схема дослідження транзисторного ключа в динаміці

Вибрати сигнал прямокутної форми (рис. 4.7).

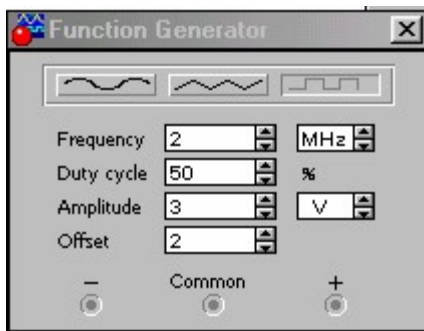


Рисунок 4.7

Установити найменше насичення, підікнувши джерело напруги 5V клавішею Z.

Зарисувати *учасовому масштабі* осцилограми (*зверху*хідна 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.

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, $\mu\text{с}$	Верхня межа робочої частоти, $\text{МГц}$
$S_1$		
$5 S_1$		

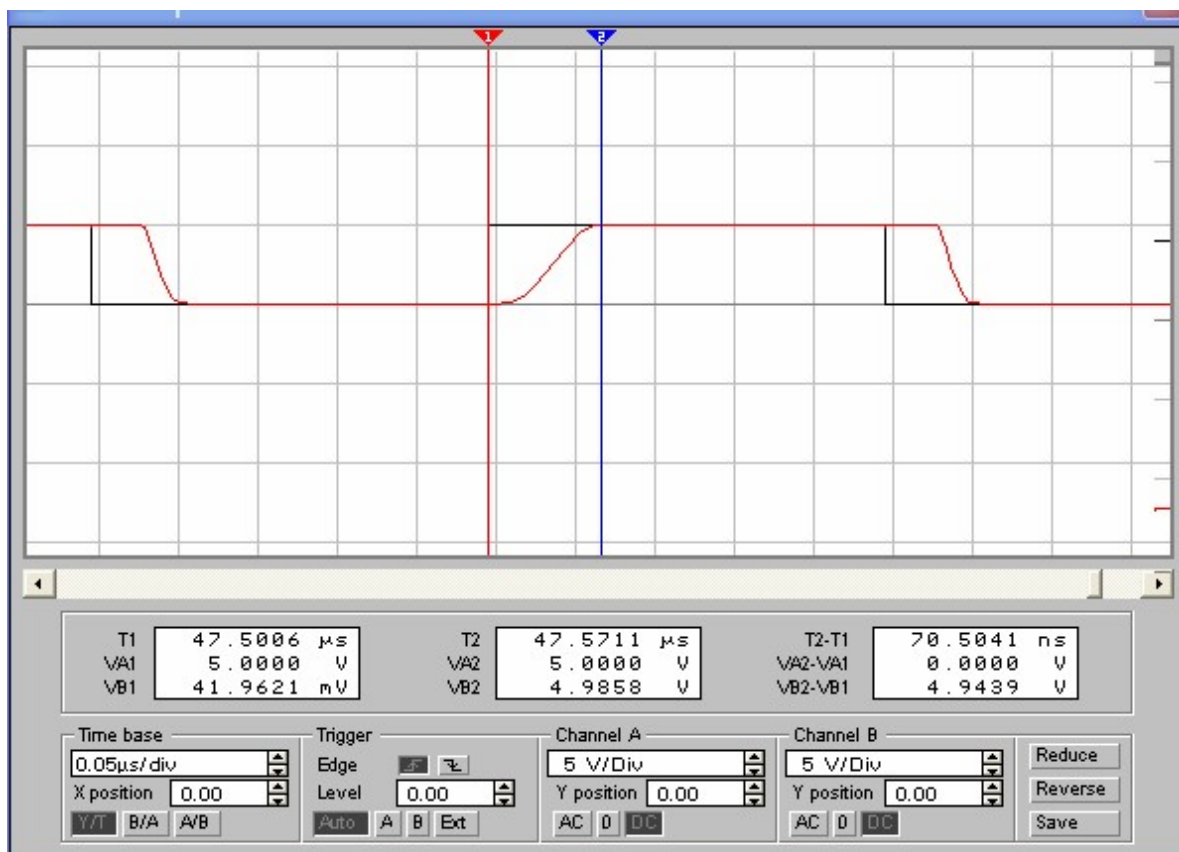


Рисунок 4.8

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

Зробити висновки щодо впливу коефіцієнта насичення на тривалість перехідного процесу.

### *Дослідити вплив коефіцієнта насичення на верхню межу робочої частоти*

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

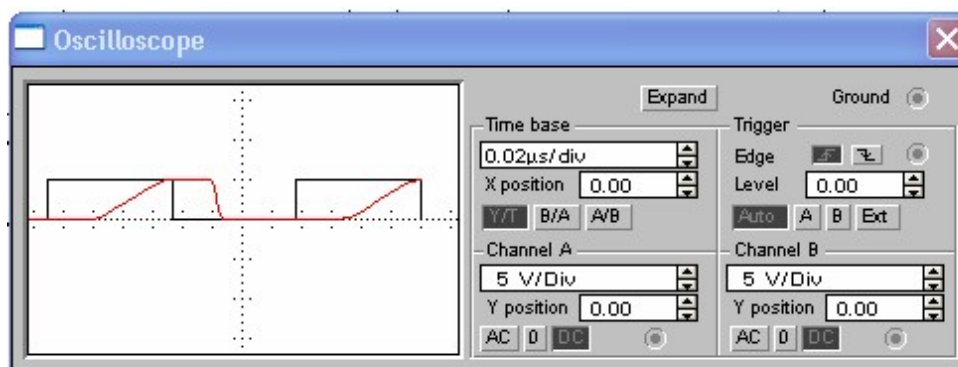


Рисунок 4.9

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

Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

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

## 5 Зміст протоколу

### **Виконання домашнього завдання**

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

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

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

Форма табл. 4.1 і 4.2.

### **Виконання лабораторного завдання**

Таблиця 4.1.

Висновки за п. 4.7.2.

Осцилограми за п. 4.8.7.

Таблиця 4.2.

Висновки за п. 4.8.10.

## 6 Ключові питання

Наведіть схему ключа.

Наведіть діаграму роботи ключа.

Поясніть вплив коефіцієнта насичення на вихідну напругу ключа.

Поясніть вплив коефіцієнта насичення на завадостійкість ключа.

Поясніть критерії вибору робочої точки для здійснення ключового режиму.

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 № 6

### Дослідження диференційного каскаду

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

Складати схеми диференційних каскадів з резистивним та динамічним навантаженням.

Експериментально установлювати режим для неспотвореного підсилення.

Вимірювати амплітуди вхідної та вихідної напруг.

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

Скласти схему дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням.

Скласти схему дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням.

#### 4

#### Лабораторне завдання

Відкрити файл “ДК рез” (рис. 4.1).

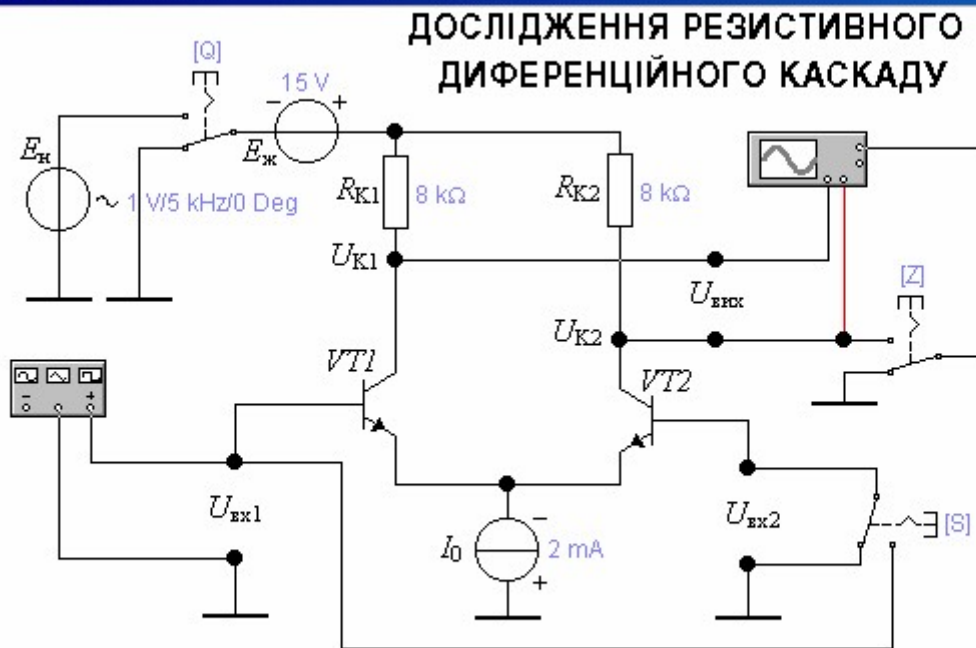


Рисунок 4.1 — Схема дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням



Рисунок 4.2

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

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



Рисунок 4.3



Рисунок 4.4

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

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

Підімкнути вхід осцилографа до виходу  $U_{вих}$  переведенням перемикача  $Z$  у верхнє положення кlawішею  $Z$ .

Установити у віконці **Amplitude** розмірність “ $mV$ ”.

**Визначити коефіцієнт підсилення диференційного сигналу**

Підвести диференційний сигнал закорочуванням входу  $U_{вих2}$  кlawішею  $S$  (ліве положення).

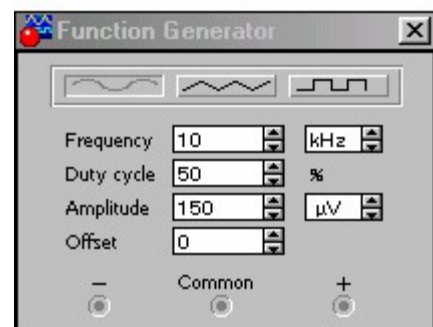


Рисунок 4.5

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

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

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).

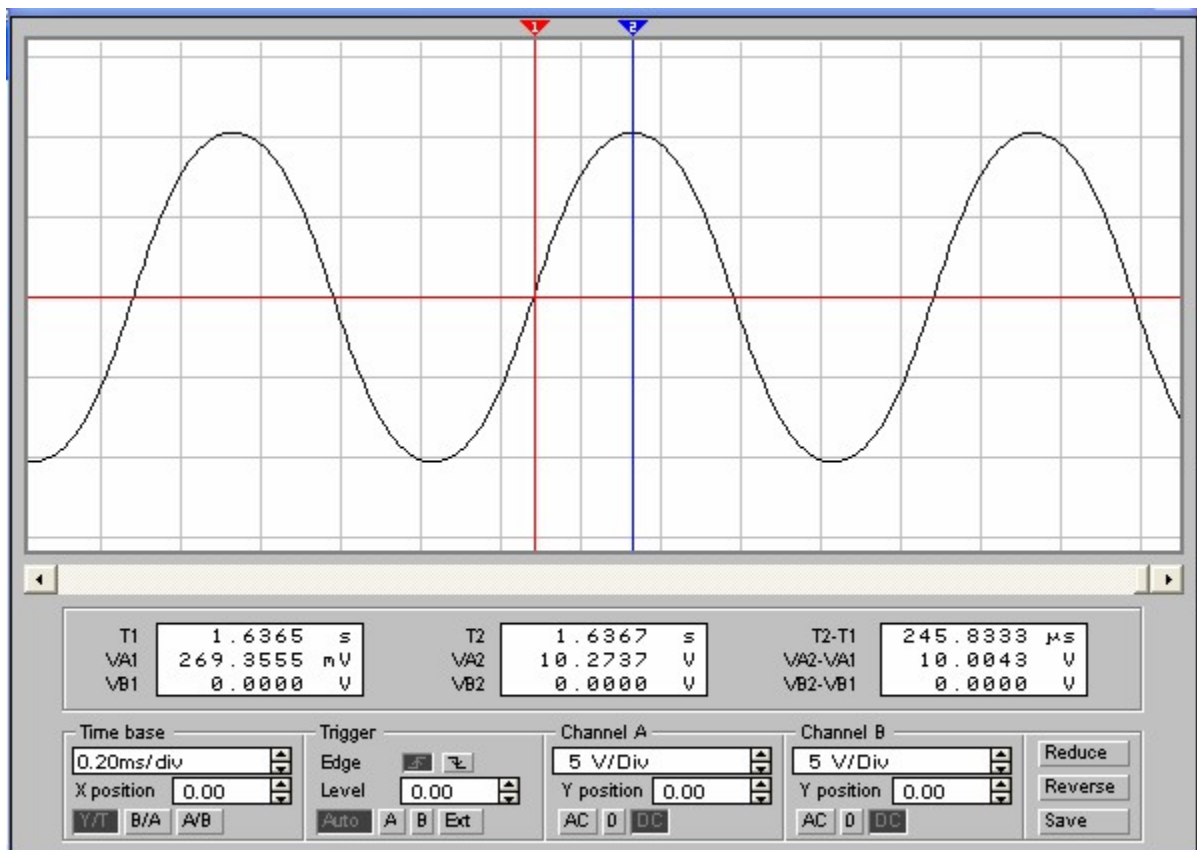


Рисунок 4.6

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		
	$U_{\text{вх}}, \text{ мВU}$	$U_{\text{вих}}, \text{ ВК}$	
Резист.			
Динам. без $R_{\text{н}}$			
Динам. з $R_{\text{н}}$			

### **Дослідити придушення синфазних сигналів**

Відімкнути джерело наводок  $E_{\text{н}}$  переведенням перемикача  $Q$  у нижнє положення клавішею  $Q$ .

Підвести диференційні сигнали закорочуванням входу  $U_{\text{вх2}}$  перемикачем  $S$  (ліве положення) за допомогою клавіші  $S$ .

Підвести напруги  $U_{\text{к1}}$  та  $U_{\text{к2}}$  до входів осцилографа переведенням перемикача  $Z$  у нижнє положення.

Зарисувати **вмасштабі** осцилограми (**зверху** напруги  $U_{\text{к1}}$  та  $U_{\text{к2}}$ , **знизу** – вихідна напруга каскаду  $U_{\text{вих}}$ , яка спостерігається у верхньому положенні клавіші  $Z$ ), звертаючи увагу на **фазу** сигналів та **постійну** складову.

Підвести синфазні сигнали з'єднанням входу  $U_{\text{вх2}}$  зі входом  $U_{\text{вх1}}$  перемикачем  $S$  (праве положення) за допомогою клавіші  $S$ .

Виконати п. 4.8.4.

Зробити висновки щодо:

- підсилення (придушення) диференційних чи синфазних сигналів;
- співвідношення між амплітудами вихідних напруг плечей ( $U_{\text{к1}}$ ;  $U_{\text{к2}}$ ) та каскаду в цілому ( $U_{\text{вих}}$ ).

### **Дослідити придушення наводок**

Підімкнути джерело наводок  $E_{\text{н}}$  переведенням перемикача  $Q$  у верхнє положення клавішею  $Q$ .

Виконати п. 4.8.4.

Зробити висновки щодо придушення наводок диференційним каскадом та його плечима.

### **Визначити коефіцієнт підсилення диференційного каскаду з динамічним навантаженням**

Відкрити файл “ДК дин” (рис. 4.7).

Установити у віконці **Amplitude** розмірність “  $V_{\mu}$ ”. 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

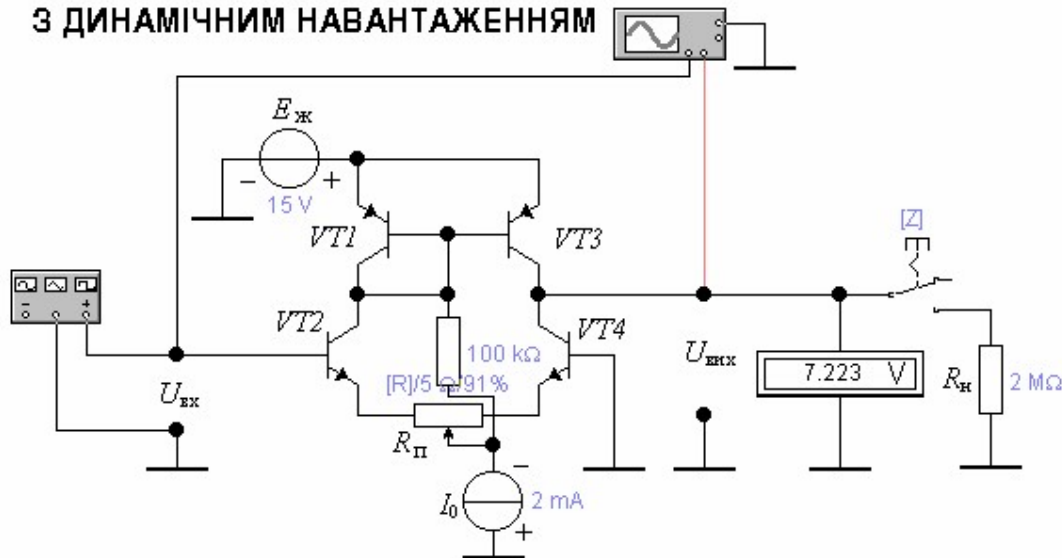


Рисунок 4.7 – Схема дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням

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

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

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

Визначити коефіцієнт підсилення, для чого вимірити амплітуди  $U_{m\text{вих}}$  та  $U_{m\text{вх}}$  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:

$$2U_{m\text{вх}} = VA2 - VA1,$$

$$2U_{m\text{вих}} = VB2 - VB1.$$

Тоді коефіцієнт підсилення становитиме

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

Результати вимірювань та розрахунків занести до табл. 4.1.

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

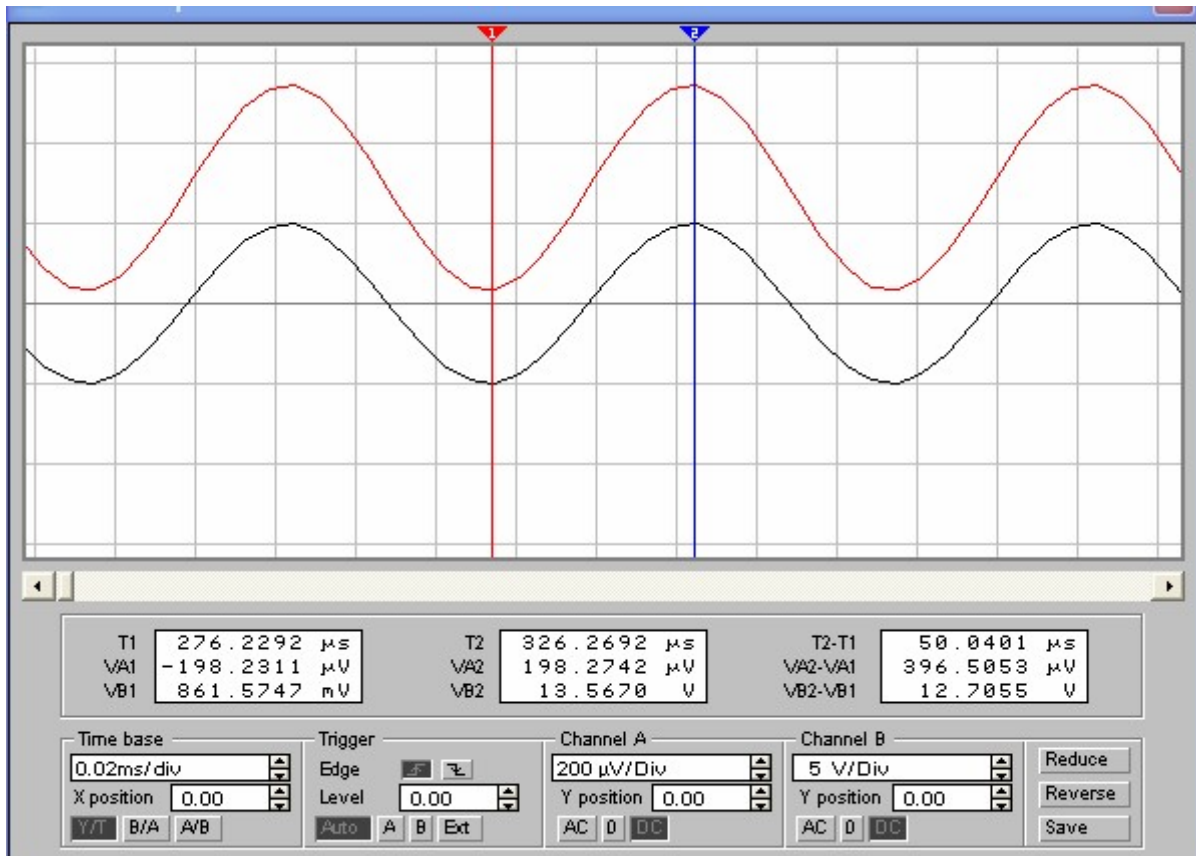


Рисунок 4.8

### ***Дослідити вплив опору навантаження на коефіцієнт підсилення***

Підімкнути до виходу опір навантаження  $R_n$  перемикачем (клавшею) Z.

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

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

## **5 Зміст протоколу**

### ***Виконання домашнього завдання***

Схема дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням.

Схема дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням.

Форма табл. 4.1.

**Виконання лабораторного завдання**

Розрахунки за п. 4.7.5.

Таблиця 4.1.

Осцилограми за п. 4.8.4.

Висновки за п. 4.8.7.

Осцилограми за п. 4.9.2.

Висновки за п. 4.9.3.

Розрахунки за п. 4.10.6.

Висновки за п. 4.10.8.

Розрахунки за п. 4.11.2

Висновки за п. 4.11.3

**6 Ключові питання**

Принцип дії каскадів з динамічним та резистивним навантаженням.

Зіставлення коефіцієнтів підсилення каскадів з динамічним та резистивним навантаженням.

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 №7

### Дослідження каскадів на операційних підсилювачах

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:  
 Складати схеми каскадів на операційних підсилювачах (ОП).  
 Розраховувати коефіцієнт підсилення каскадів на ОП.  
 Підмикати джерело сигналу.  
 Підмикати навантаження.  
 Визначати та забезпечувати необхідний коефіцієнт підсилення.

#### 2 Ключові положення

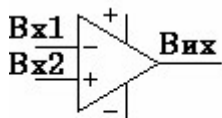


Рисунок 2.1

Операційний підсилювач (ОП), умовне позначення якого наведено на рис. 2.1, має вихід  $V_{вих}$  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;

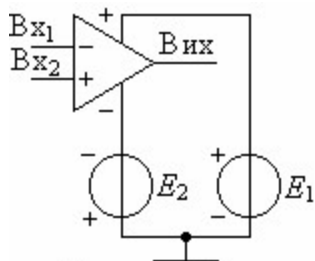


Рисунок 2.2

- 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  $U_{твих}$  не може перевищувати напруги живлення і при

$U_{твих} \approx |E_1| \approx |E_2|$  буде обмеженою.

Для інвертуючого підсилювача коефіцієнт підсилення становить

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

а для неінвертуючого

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

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.

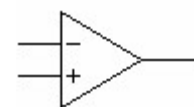


Рисунок 2.3

### 3 Домашнє завдання

Скласти схему дослідження інвертуючого каскаду на ОП.

Скласти схему дослідження неінвертуючого каскаду на ОП.

Скласти схему дослідження повторювача на ОП.

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

Відкрити файл “ОП інв” (рис. 4.4).

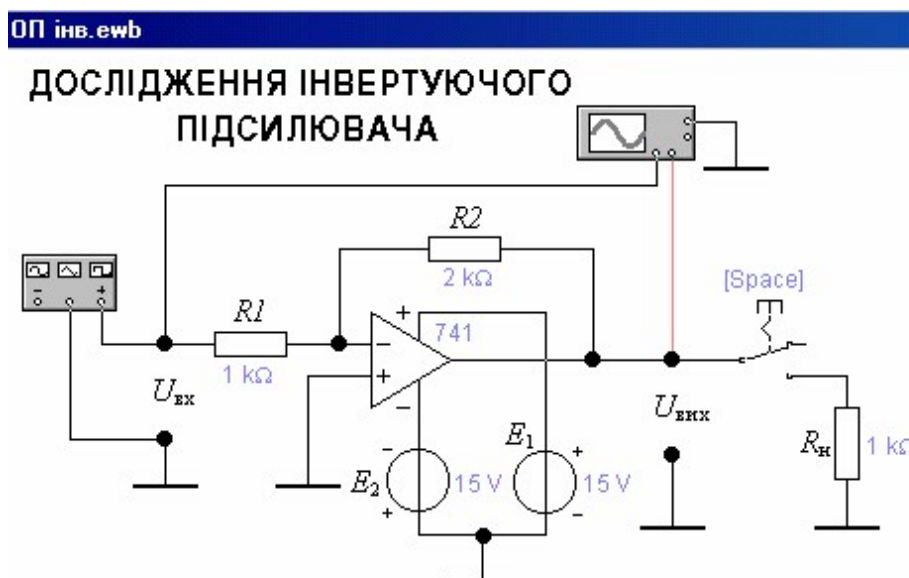


Рисунок 4.4 – Схема дослідження інвертуючого підсилювача

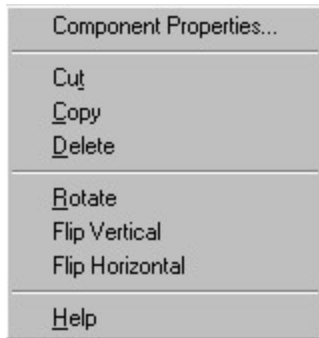




Рисунок 4.5

Установити розраховані опори резисторів, для чого:

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

– установити курсор на  і клацнути лівою кlawішею миші, після чого з'явиться вікно 

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


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



Рисунок 4.6

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



Рисунок 4.7

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

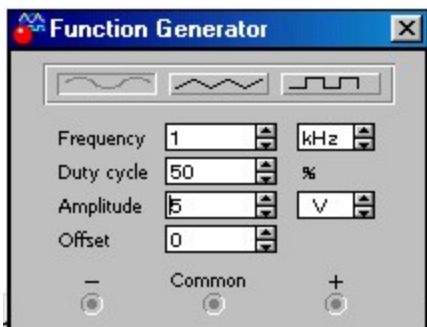


Рисунок 4.8

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

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

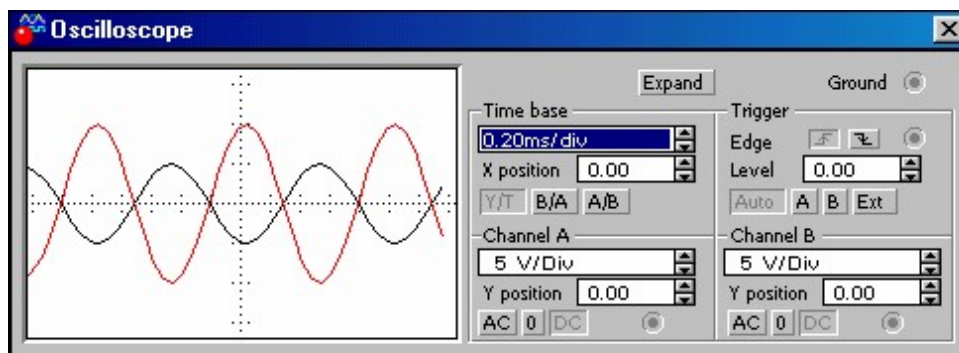


Рисунок 4.9

**Визначити коефіцієнт підсилення інвертуючого каскаду**

$$K_i = \frac{U_{m\text{вих}}}{U_{m\text{вх}}}$$

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).

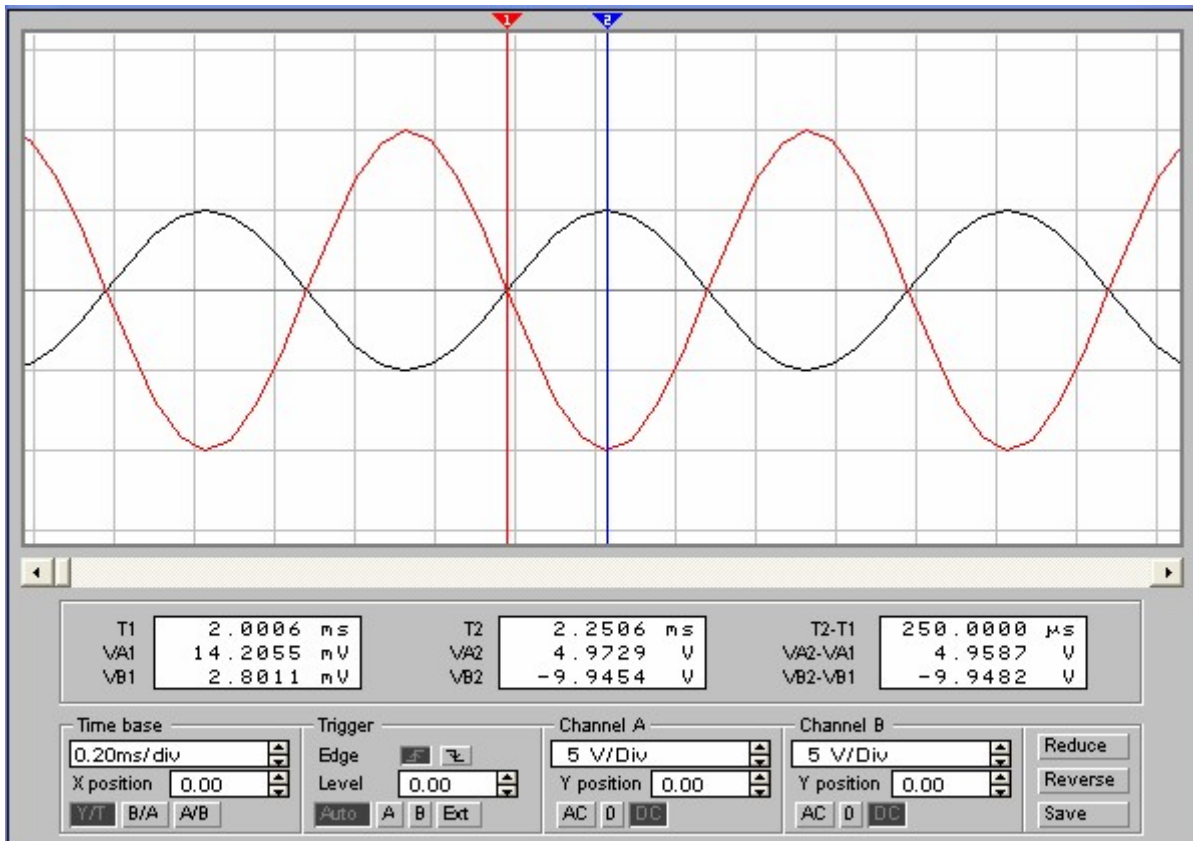


Рисунок 4.10

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.	Розрахунок.

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

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

Зробити висновки щодо впливу опорів резисторів на коефіцієнт підсилення.

**Визначити коефіцієнт підсилення неінвертуючого каскаду**

$$K_n = \frac{U_{\text{твих}}}{U_{\text{вх}}}$$

Відкрити файл “ОП неінв” (рис. 4.11).

Виконати маніпуляції за п. 4.7.

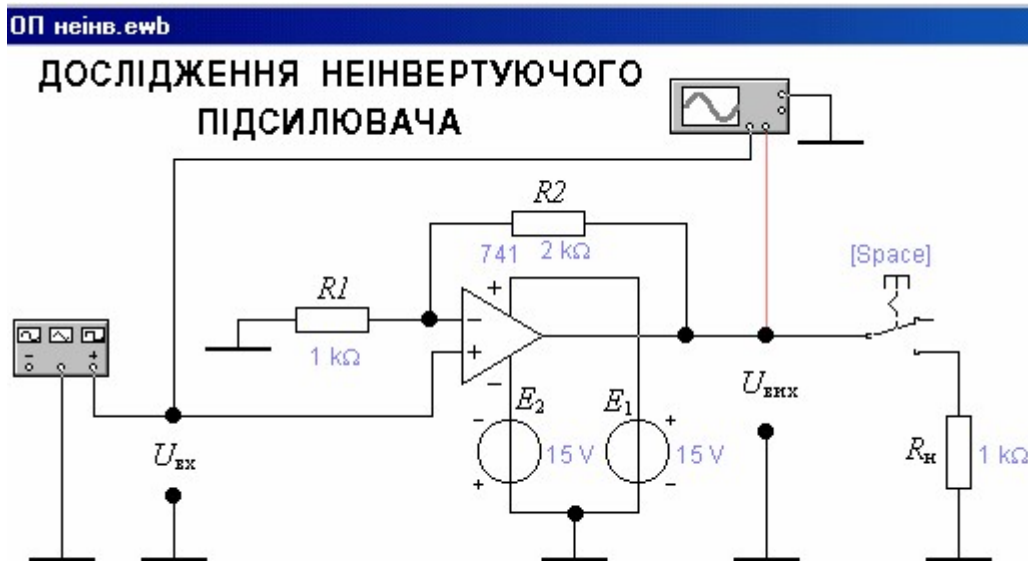


Рисунок 4.11 – Схема дослідження неінвертуючого підсилювача

Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	Коефіцієнт підсилення $K_n$	
		Експерим.	Розрахунок.

Зарисувати **вмасштабі** осцилограми вхідної та вихідної напруг, звертаючи увагу на **фазу** сигналів.

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

### **Дослідити вплив напруги живлення ОП на амплітуду вихідної напруги**

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...** клацнути лівою клавішею миші, після чого з'явиться вікно, в   установити половинне значення напруг  $E_1$  та  $E_2$  курсором і клавіатурою та увести його клацанням по кнопці ОК лівою клавішею миші.

Не змінюючи амплітуди вхідної напруги, зарисувати **вмасштабі** осцилограми та відзначити для них напруги живлення  $E_1$  та  $E_2$ .

Зробити висновки про співвідношення напруг живлення та амплітуди вихідної напруги.

### **Дослідити навантажувальну здатність повторювача**

Відкрити файл “Повт” (рис. 4.12).

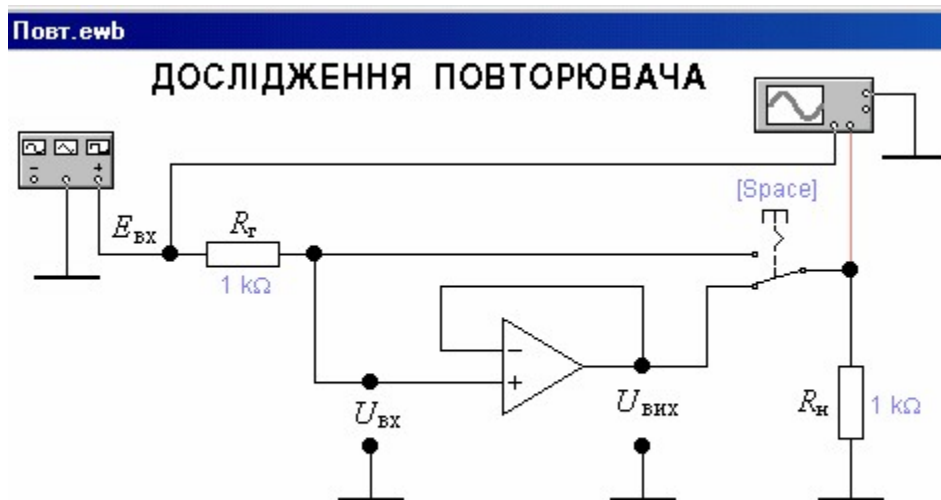


Рисунок 4.12 – Схема дослідження повторювача

Виконати маніпуляції за пп. 4.3 ... 4.6.

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

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

Підімкнути опір навантаження  $R_n$  до виходу повторювача клавішею *Space* (пропуск).

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.

Зробити висновки щодо навантажувальної здатності повторювача.

### 5 Зміст протоколу

#### **Виконання домашнього завдання**

Схема дослідження інвертуючого каскаду на ОП.

Схема дослідження неінвертуючого каскаду на ОП.

Схема дослідження повторювача на ОП.

Розрахунок коефіцієнтів підсилення інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів.

5.1.5 Форми табл. 4.1, 4.2, 4.3.

#### **5.1 Виконання лабораторного завдання**

Розрахунки за п. 4.7.

Таблиця 4.1.

Осцилограми за п. 4.7.2 та 4.8.3.

Висновки за п. 4.7.4.

Розрахунки за п. 4.8.

Таблиця 4.2.

Висновки за п. 4.8.4.

Осцилограми за п. 4.9.2.

Висновки за п. 4.9.3.

Таблиця 4.3.

Висновки за п. 4.10.7.

### 6 Ключові питання

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

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

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 № 8

### Дослідження кіл живлення операційних підсилювачів

#### 1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен вміти:

Складати схеми каскадів на операційних підсилювачах (ОП).

Розраховувати та експериментально визначати коефіцієнт підсилення каскадів на ОП.

Складати схеми каскадів на ОП із живленням від двох джерел та від одного.

З'єднувати каскадно операційні підсилювачі.

Установлювати робочу точку каскадів для неспотвореного підсилення.

#### 2 Ключові положення

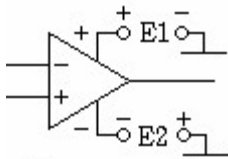


Рисунок 2.1

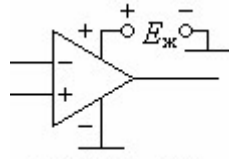


Рисунок 2.2

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

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

Постійна вихідна напруга  $U_{вих1}$  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.

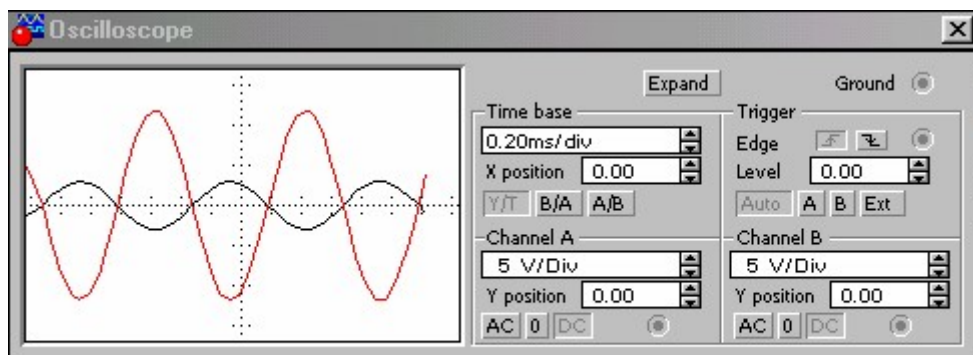


Рисунок 2.3

У тому ж випадку, коли живлення здійснюється від одного джерела (рис. 2.2), то вихідна напруга  $U_{вих1}$  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).

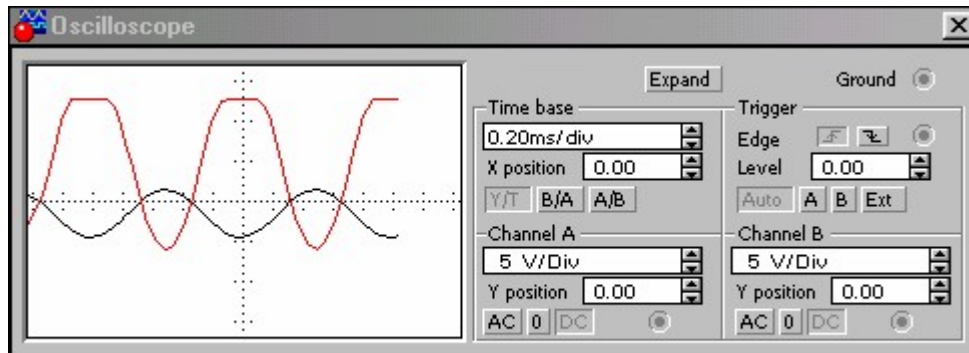


Рисунок 2.4

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

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

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

### 4 Лабораторне завдання

Відкрити файл “Живл ОП 2” (рис. 4.1).

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ ЖИВЛЕННЯ ОП ВІД ДВОХ ДЖЕРЕЛ

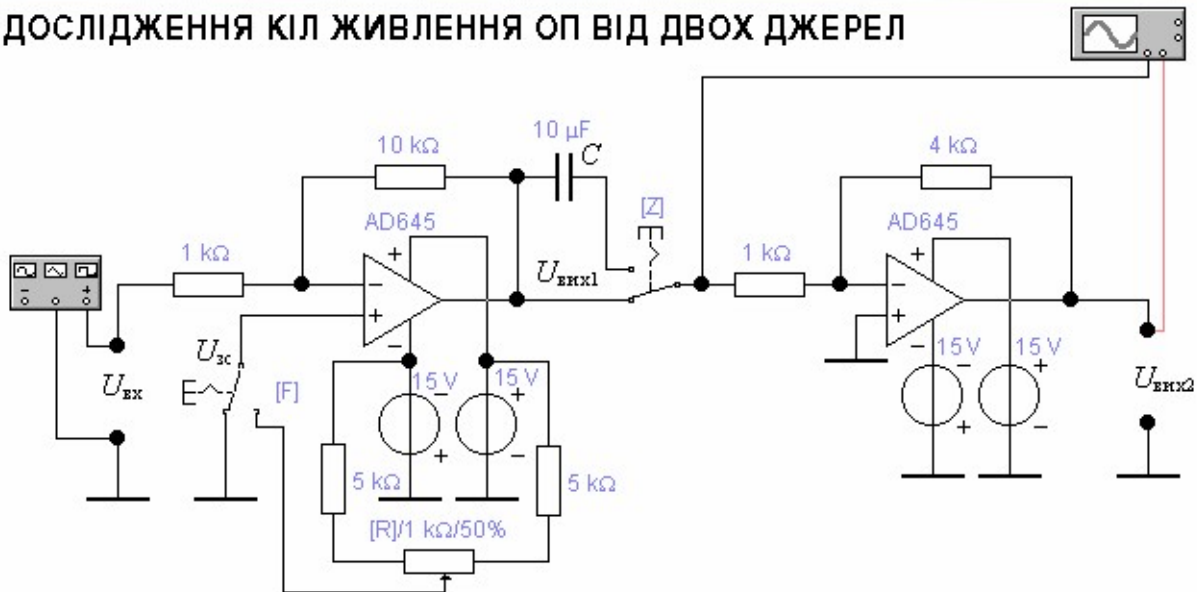





Рисунок 4.1 – Схема дослідження кіл живлення ОП від двох джерел

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

 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).

 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).

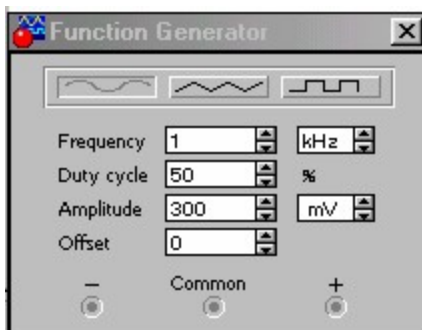


Рисунок 4.4

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

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

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.

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Відкрити файл “Живл ОП 1” (рис. 4.6).

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

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

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

Зробити висновки щодо непроходження сигналу за наявності постійної вихідної напруги попереднього каскаду  $U_{\text{вих0}}$  та  $U_{\text{зс}}$ .

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



---

## 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.

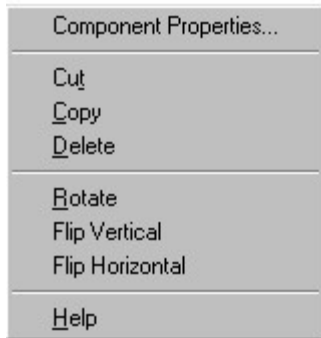


Рисунок 1.1

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

3 Установити стрілку курсора на **Component Properties...** і клацнути лівою клавішею 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 клавішею миші.

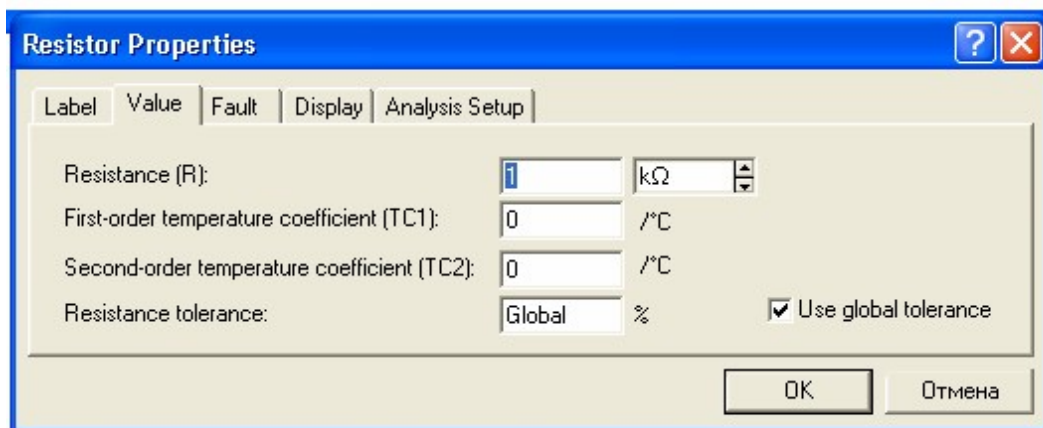


Рисунок 1.2

## 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).

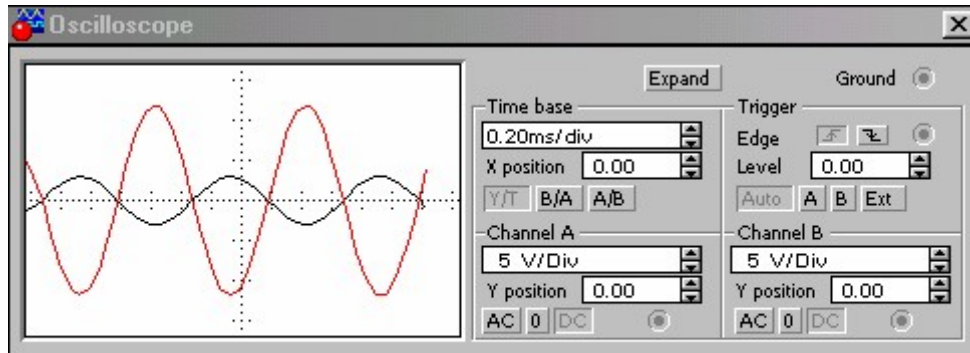


Рисунок 2.1

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

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

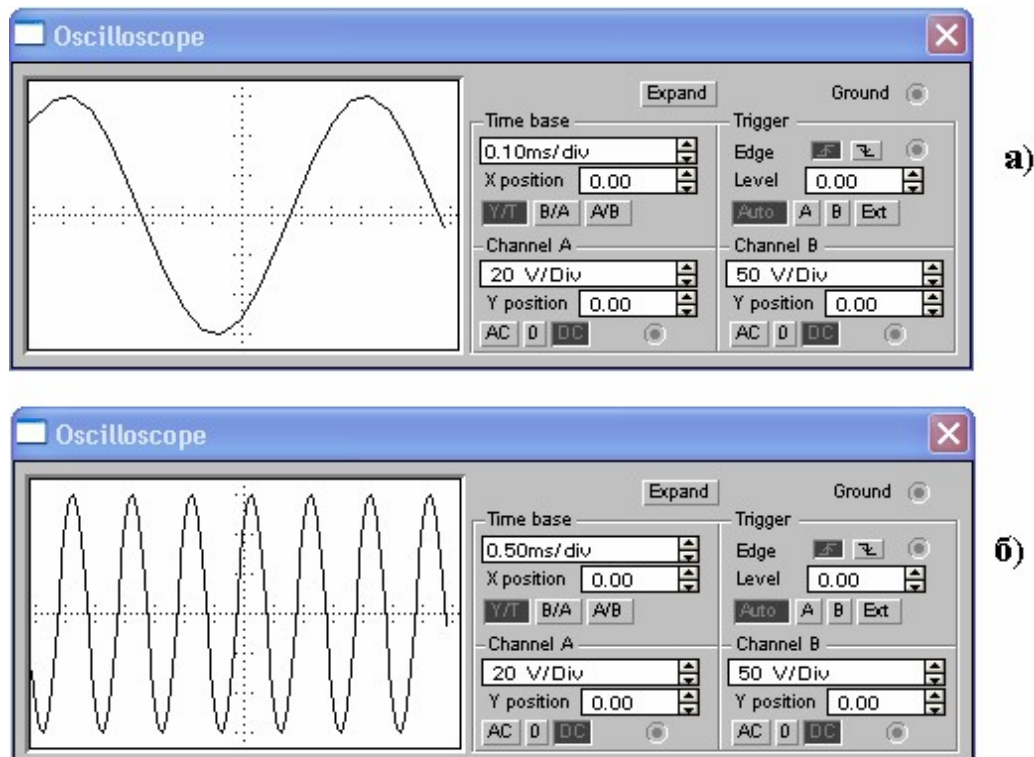


Рисунок 2.2

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

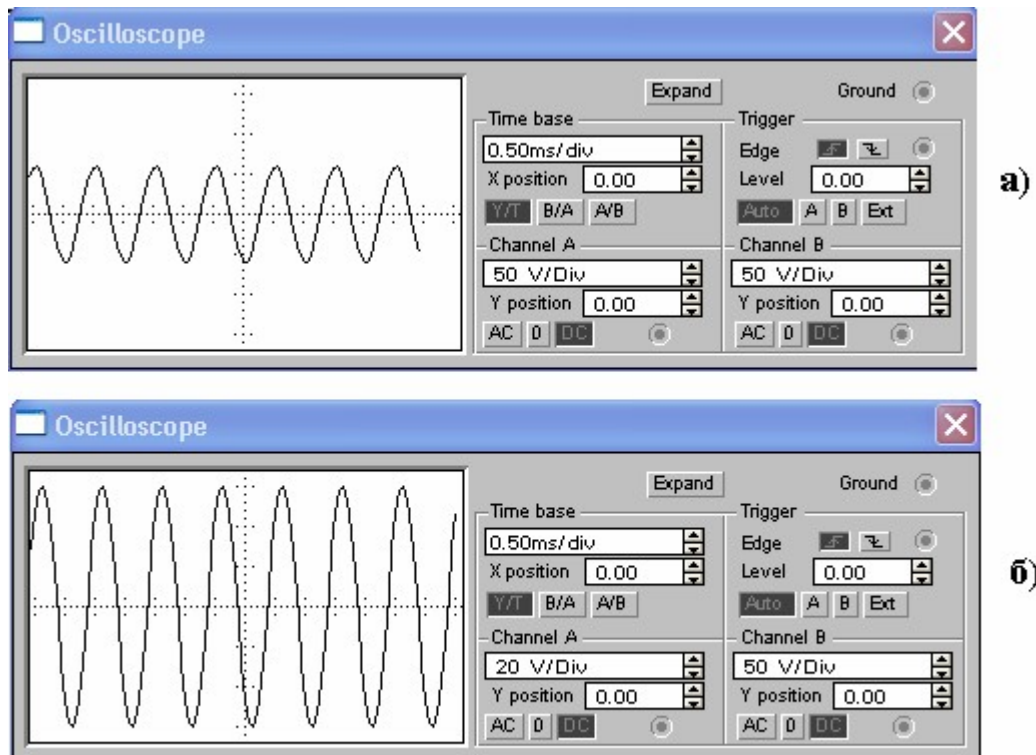


Рисунок 2.2

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

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 трансформатора та діода у схемах однонапівперіодного випрямляча.....

### *Лабораторна робота № 3*

Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі .....

### *Лабораторна робота № 4*

Дослідження підсилювача зі зворотним зв'язком.....

### *Лабораторна робота № 5*

Дослідження транзисторного ключа .....

### *Лабораторна робота № 6*

Дослідження диференційного каскаду.....

### *Лабораторна робота № 7*

Дослідження каскадів на операційних підсилювачах .....

### *Лабораторна робота № 8*

Дослідження кіл живлення операційних підсилювачів.....

Додаток А.....

Додаток Б.....

