

Державний комітет зв'язку та інформатизації України
Українська державна академія зв'язку ім. О. С. Попова

Кафедра основ схемотехніки

ОСНОВИ СХЕМОТЕХНІКИ

ЧАСТИНА I

**Методичні вказівки
до лабораторних робіт з курсу**

Затверджено
методичною радою
академії зв'язку
ім. О.С. Попова.
Протокол №10
від 11.03.2003р.

Одеса 2003

УДК

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Основи схемотехніки”// І.П. Панфілов, О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко, М.М. Стрельчук, Н.А. Тринтіна. –Ч. І. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2003. – 60 с.

Лабораторна робота № 1**Дослідження резистивних подільників
і регуляторів напруги****1 Мета роботи**

Після виконання роботи студент повинен уміти:

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

2 Ключові положення

Основним призначенням подільника напруги є її зменшення. Подільник напруги (надалі: подільник) характеризується, зокрема, коефіцієнтом передачі, який на холостому ході (х.х) розраховується за формулою:

$$K = \frac{U_{m \text{ вих}}}{U_{m \text{ вх}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

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

$$P_R = U_R I_R = \frac{U_R^2}{R} = I_R^2 R$$

де U_R – падіння напруги на резисторі R ;

I_R – струм, що протікає по резистору R .

Подільник напруги працює на якесь навантаження R_H , яке підмикається паралельно до нижнього плеча R_2 і через це зменшує вихідну напругу $U_{\text{вих}}$. Тому мінімальний опір навантаження розраховується з умови

$$K_H = \frac{n U_{m \text{ вих}}}{U_{m \text{ вх}}} = \frac{R_2 \parallel R_H}{R_2 + R_2 \parallel R_H},$$

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

$n = \frac{U_{m \text{ вих н}}}{U_{m \text{ вих}}}$ – коефіцієнт зменшення вихідної напруги під навантаженням;

$U_{m \text{ вих н}}$ – амплітуда вихідної напруги під навантаженням;

(якщо, наприклад, припустимо зменшення становить 10% , то $n = 0.9$).

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 одержування коефіцієнта передачі $K = 0,5 + 0,01N$ (N – номер лабораторного стола) при $R_{\text{вх}} \geq 1$ кОм.
- 3.3 Розрахувати максимально припустиму вхідну напругу за припустимої потужності розсіювання 0,5 Вт на кожному резисторі.
- 3.4 Визначити мінімально припустимий опір навантаження за якого вихідна напруга знижується на 10 %.

4 Лабораторне завдання

- 4.1 Погодити складену в п. 3.1 схему дослідження подільника напруги з викладачем.
- 4.2. Побудувати на віртуальному макеті складену в п. 3.1. схему дослідження подільника напруги.

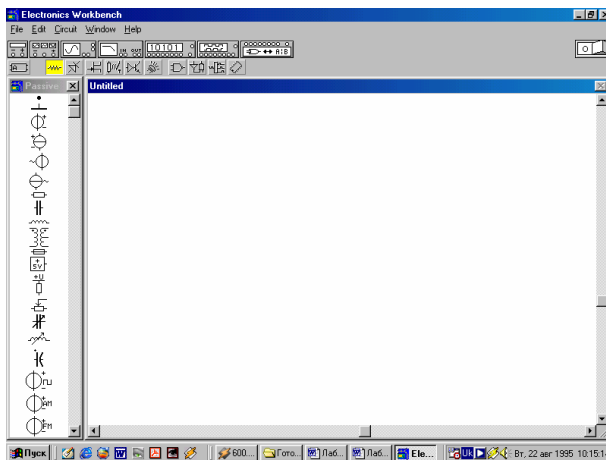


Рисунок 1.1 – Робоче поле та поле елементів

Схема дослідження збирається з поля елементів на робочому полі (рис. 1.1) за допомогою миші та клавіатури.

При побудові схеми виконуються такі операції:

- 3 виділення та переміщення елементів;
- 3 з'єднання елементів у схему;

- 3 установлення параметрів елементів;
- 3 підключення вимірювальних пристроїв.

4.2.1 Виділення та переміщення елементів

Для складеної схеми дослідження (рис. 1.2) необхідно перевести з поля елементів на робоче поле *дев'ять* елементів: джерело вхідної напруги E , резистори R_1 і R_2 , спільну шину (землю) -  та чотири точки наступними діями.

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

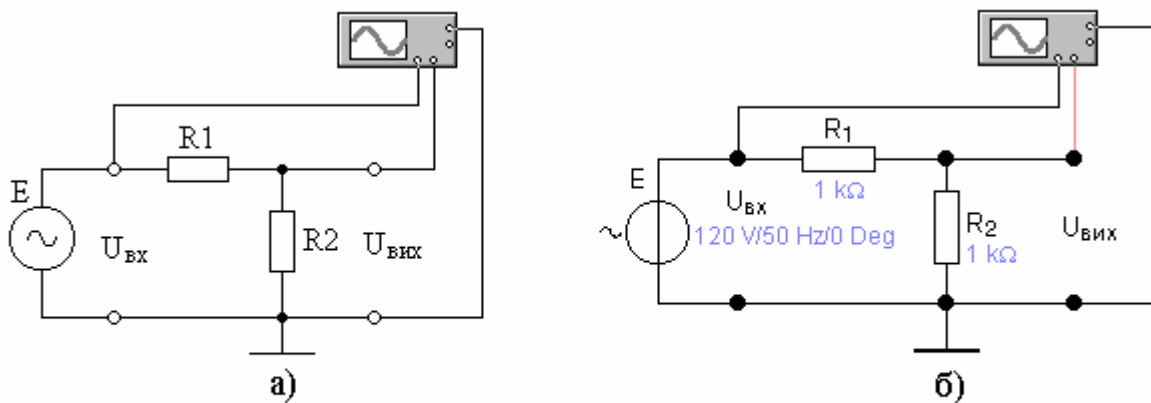


Рисунок 1.2 — Схема дослідження подільника напруги на холостому ході:
а — принципова схема; б — реалізація у програмному середовищі EWB

П р и м і т к а. Червоний колір вказує на те, що об'єкт виділений. Виділений об'єкт можна повертати на кут, кратний 90° , командою *Rotate* з меню *Circuit* або одночасним натисненням *Ctrl + R*.

Вирізувати виділений об'єкт можна командами *Cut* і *Delete*.

Виділення знімається встановленням 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

Для з'єднання елементів у схему необхідно 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 по-

яви чорної точки відпустити ліву клавішу миші. На полі з'явиться провідник між виводами двох елементів.

П р и м і т к а. Якщо в схемі провідники між елементами являють собою ламані лінії, то треба пересунути елементи так, щоб провідники були відображені прямими лініями.

4.2.3 Установлення параметрів елементів

3 Установити значення вхідної напруги, розраховане в п. 3.3, наступними діями.

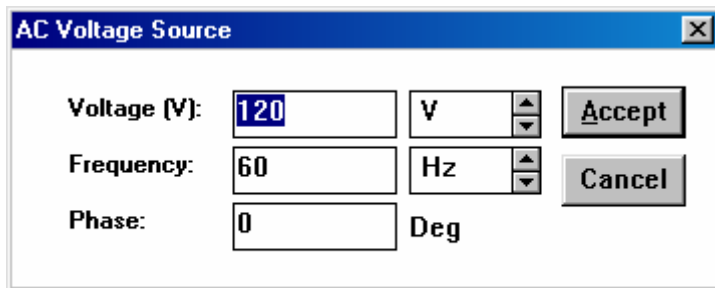


Рисунок 1.3

Установити курсор на умовному позначенні джерела напруги (рис. 1.2,б) і двічі клацнути лівою клавішею миші. При цьому відкривається передня панель джерела напруги (рис. 1.3) з органами керування:

- напруги (*Voltage*);
- частоти (*Frequency*);
- фази (*Phase*).

Установити курсор у віконці *Voltage*, набрати значення (п. 3.3) з клавіатури і підтвердити встановлені параметри кнопкою *Accept*.

3 Установити значення частоти, для чого встановити курсор у віконці *Frequency*, набрати значення $(100+N)$ Гц з клавіатури (N – номер лабораторного стола) і підтвердити встановлені параметри кнопкою *Accept*.

П р и м і т к а. Якщо при наборі параметрів допущена помилка, слід натиснути кнопку *Cancel*, установити нові параметри і увести їх кнопкою *Accept*.

Закрити передню панель джерела напруги хрестиком (x).

3 Установити опори резисторів R_1 і R_2 , для чого встановити курсор на умовному позначенні резистора (рис. 1.2,б) і двічі клацнути лівою кнопкою миші. При цьому відкривається панель *Resistor* (рис. 1.4), за допомогою якої можна змінювати номінал R .

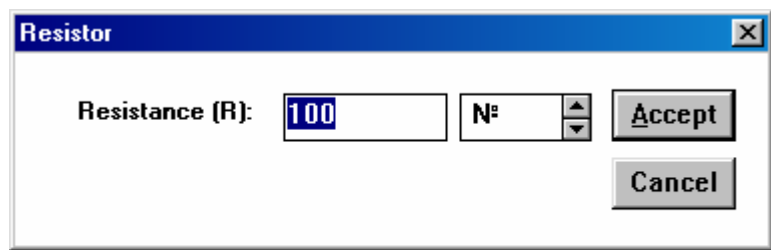


Рисунок 1.4

Установити опір резисторів R_1 та R_1 , які розраховані в п. 3.3. Номінал резистора задається у лівому віконці числом з клавіатури.

Зміна одиниць вимірювання (Ом; кОм; МОм) здійснюється двома кнопками  правого віконця.

Увести встановлені параметри кнопкою *Accept*.

4.2.4 Позначення вибраних елементів

Після побудови схеми можна кожному елементу привласнити позиційне позначення або будь-яке ім'я. Це можна зробити виділенням потрібного елемента і подачею команди *Label* з меню *Circuit* або натисненням *Ctrl + R*.

3 Установити курсор на меню *Circuit* і клацнути лівою кнопкою миші.

3 Установити курсор на команду *Label*. При цьому віконце, де зазначена команда *Label*, стане синього кольору.

3 Клацнути лівою кнопкою миші. Відкривається діалогове вікно *Label*.

3 Написати назву елемента в лівому пустому віконці за допомогою клавіатури і клацнути лівою кнопкою миші.

П р и м і т к а. Назву елементів давати англійськими літерами, для чого встановити англійський робочий мовний комп'ютера.

4.2.5 Підключення вимірювальних приладів

Підключити осцилограф до подільника, для чого виділити та пересунути на робоче поле осцилограф (рис.



Рисунок 1.5

1.5). Підключити вивід *A* осцилографа до входу подільника, вивід *B* до виходу подільника, а вивід *Ground* – до “землі”  за п. 4.2.2.

4.3 Дослідити подільник напруги на холостому ході

4.3.1 Увімкнути схему встановкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою клавішею миші.

4.3.2 Розкрити осцилограф (рис. 1.6) встановленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтіти два променя:



Рисунок 1.6

чорний – для вхідної напруги та червоний – для вихідної (рис. 1.7).

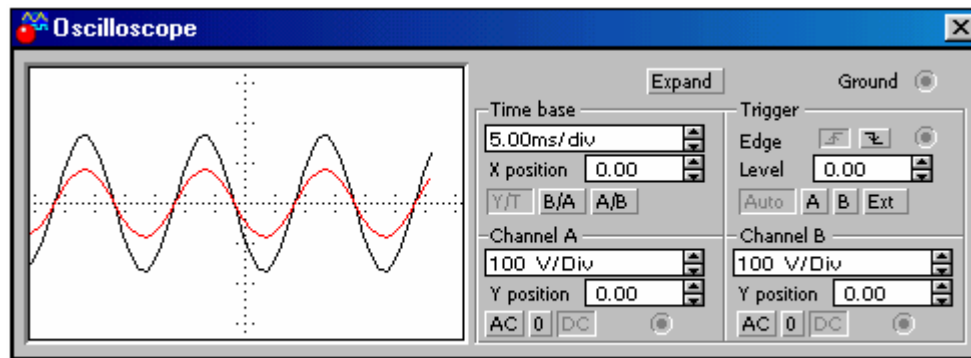


Рисунок 1.7

4.3.3 Вимірити амплітуди напруг вхідної $U_{m\text{ вх}}$ та вихідної $U_{m\text{ вих}}$ і навести в **масштабі** діаграму роботи подільника, розміщуючи осцилограми **одну** під **одною** (зверху вхідна напруга, **знизу** – вихідна), звертаючи увагу на **фазу** сигналів.

4.3.4 Вимірювання амплітуд за п. 4.3.3 здійснюється наступним чином.

З збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі (рис. 1.7);

З зупинити зображення клавішею *Pause*;

З розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою. Амплітуди $U_{m\text{ вх}}$ та $U_{m\text{ вих}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцило-графу встановленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення осцилограм (рис. 1.8).

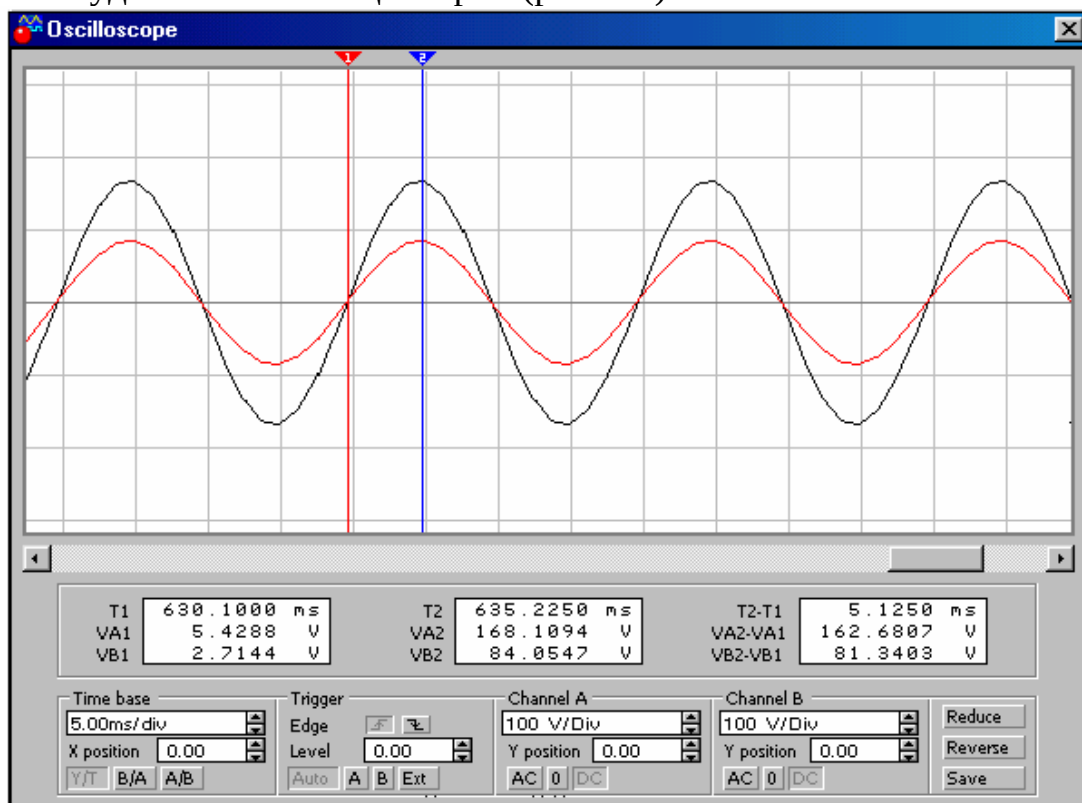


Рисунок 1.8

Значення амплітуд можна відлічити у правому віконці:

$$U_{m \text{ вх}} = VA2 - VA1,$$

$$U_{m \text{ вих}} = VB2 - VB1.$$

4.3.5 Визначити за п. 4.3.4 амплітуди вхідної $U_{m \text{ вх}}$ та вихідної $U_{m \text{ вих}}$ напруг.

4.3.6 Визначити за п. 4.3.5 коефіцієнт передачі і порівняти його з розрахованим в п. 3.2.

4.3.7 Визначити похибку 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. 1.2).

Таблиця 1.1

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

Таблиця 1.2

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

4.4.2 Збільшуючи та зменшуючи по черзі опори резисторів R_1 та R_2 і вимірюючи амплітуду вихідної напруги, занести дані до таблиць 1.1 та 1.2.

4.4.3 Зробити висновки щодо впливу опорів плечей на вихідну напругу.

4.4.4 Зробити висновки щодо меж регулювання $U_{m \text{ вих}}$ 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 (рис. 1.2).

4.5.2 Визначити за п. 4.3.4 амплітуду вихідної напруги $U_{m \text{ вих}}$ на холостому ході і результат занести до таблиці 3.

4.5.3 Підключити резистор навантаження R_n до виходу подільника за методикою пп. 4.2.1, 4.2.2 (рис. 1.9).

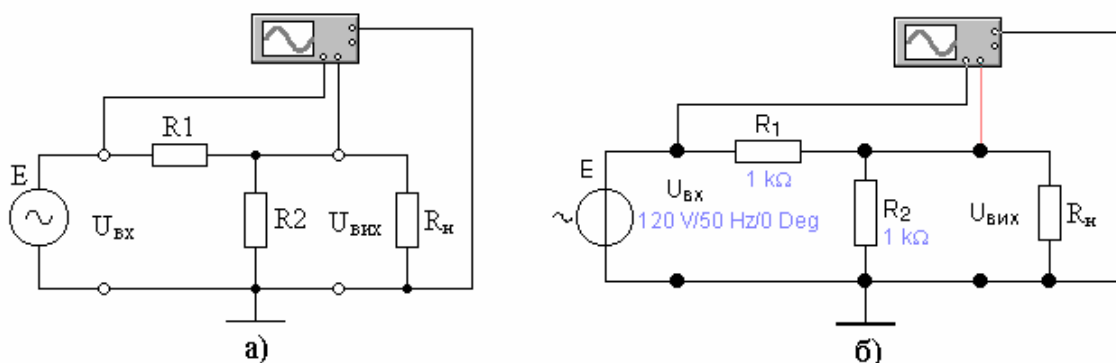


Рисунок 1.9 – Схема дослідження подільника напруги під навантаженням

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

4.5.4 Установити опір резистора R_n , розрахований в п. 3.4.

4.5.4 Визначити за п. 4.3.4 амплітуду вихідної напруги під навантаженням і результат занести до таблиці 3.

4.5.6 Зробити висновки щодо впливу навантаження на вихідну напругу подільника.

Таблиця 3

Режим	$U_{m \text{ вих.}}$ В
Хол. хід	

5 Ключові питання

5.1 Принцип дії резистивного подільника напруги.

5.2 Вплив опорів плечей подільника на вихідну напругу.

5.3 Вплив опорів навантаження на вихідну напругу подільника.

5.4 Принцип дії резистивного регулятора напруги.

5.5 Межі регулювання вихідної напруги для різних видів регуляторів.

Лабораторна робота № 2

Дослідження трансформатора та діода у схемах однонапівперіодного випрямляча

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 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:

$$U_{m2} = U_{m1} K_{\text{тр}},$$

де U_{m1} – амплітуда напруги первинної обмотки;

$K_{\text{тр}}$ – коефіцієнт трансформації.

У схемах випрямлячів найчастіше використовується знижуючий трансформатор, у якому кількість витків вторинної обмотки менша за кількість витків первинної обмотки. У такому разі $K_{\text{тр}} < 1$.

Напруга вторинної обмотки трансформатора є вхідною напругою випрямляча.

Випрямляч призначений для перетворення біполярної напруги в одно-полярну. 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:

$$U_{m \text{ вих}} = U_{m \text{ вх}} - U_{m \text{ пр.}}$$

Середнє значення вихідної напруги (постійна складова) $U_{\text{сер}}$ визначається формулою:

$$U_{\text{сер}} = \frac{U_{m \text{ вих}}}{\pi}.$$

Амплітуда зворотної напруги $U_{m \text{ зв}}$ на діоді однонапівперіодного випрямляча дорівнює амплітуді вхідної напруги.

Якщо включити на виході випрямляча фільтр, наприклад, ємнісний, то змінна складова вихідної напруги буде зменшеною.

Середнє приблизне значення вихідної напруги випрямляча з фільтром може бути розраховано за виразом:

$$U_{\text{сер}} = \frac{U_{\text{вих max}} + U_{\text{вих min}}}{2}$$

де $U_{\text{вих max}}$ і $U_{\text{вих min}}$ – максимум та мінімум вихідної напруги.

3 Домашнє завдання

- 3.1 Навести схеми однопівперіодного 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 резисторі навантаження).
- 3.3 Розрахувати напругу U_{m2} вторинної обмотки трансформатора при напрузі первинної обмотки $U_{m1} = (100 + 10N)$ В і коефіцієнті трансформації $K_{\text{тр}} = \frac{1}{10}$, де N – номер лабораторного стола.

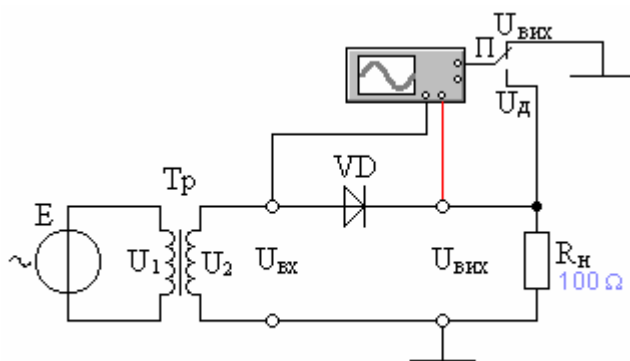


Рисунок 2.1 – Схема дослідження

період становить $T = (0,02 - 0,001N)$ с.

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

3.5 Розрахувати середнє значення вихідної напруги $U_{\text{сер}}$.

3.6 Розрахувати частоту вхідної напруги $f = 1/T$, якщо її

4 Лабораторне завдання

4.1 Відкрити файл “Випрямляч” (рис. 2.2).

4.2 Порівняти схему віртуального макету (рис. 2.2) зі складеною (рис. 2.1).

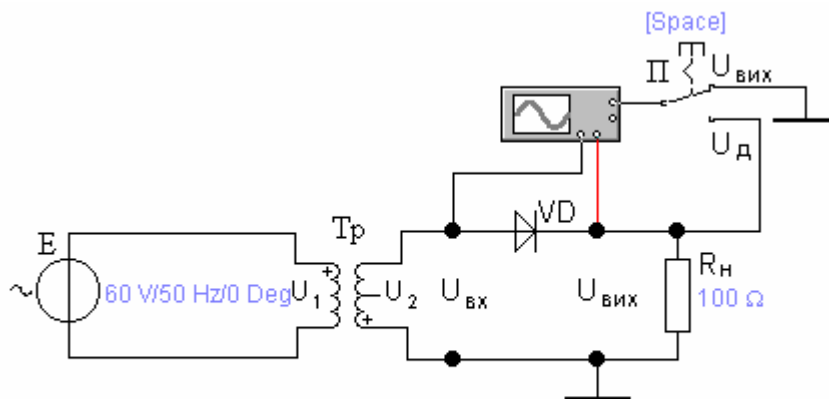


Рисунок 2.2 — Реалізація схеми дослідження у програмному середовищі EWB

4.3 Установити параметри джерела напруги U_{m1} , розраховане в п. 3.3, для чого:

Установити курсор на умовному позначенні джерела напруги E (рис. 2.2) і двічі клацнути лівою клавішею миші. При цьому відкривається перед-

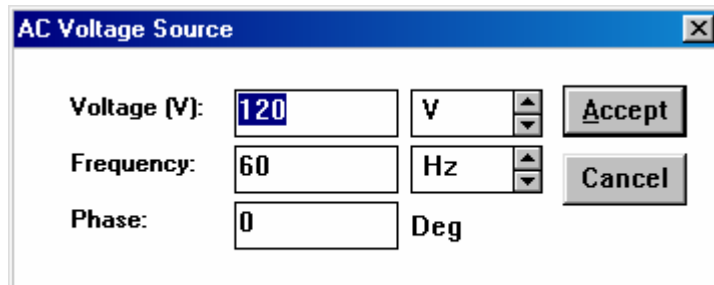


Рисунок 2.3

ня панель джерела напруги (рис. 2.3) з органами керування:

- напруги (*Voltage*);
- частоти (*Frequency*);
- фази (*Phase*).

4.3.1 Установити напругу U_{1m} за п. 3.3, для чого встановити курсор у віконці *Voltage*, набрати значення U_{1m} за допомогою клавіатури і підтвердити встановлену напругу кнопкою *Accept*.

4.3.2 Установити частоту, для чого встановити курсор у віконці *Frequency*, набрати значення f Гц, розраховане в п. 3.3, за допомогою клавіатури і підтвердити встановлену частоту кнопкою *Accept*.

П р и м і т к а. Якщо при наборі параметрів допущена помилка, слід натиснути кнопку *Cancel*, установити нові параметри і увести їх кнопкою *Accept*. Кнопка *Accept* підтверджує встановлені параметри, а *Cancel* – відмінняє.

Закрити передню панель джерела напруги хрестиком (x).

4.4. Установити заданий (п. 3.3) коефіцієнт трансформації трансформатора, для чого:

4.4.1 Установити курсор на умовному позначенні трансформатора *Tr* (рис. 2.2) і двічі клацнути лівою клавiшею миші. При цьому відкривається панель вибору трансформатора *Transformer Models* (рис. 2.4).

4.4.2 Установити вид трансформатора *POWER* у віконці *Library*.

4.4.3 Установити заданий (п. 3.3) коефіцієнт трансформації у віконці *Model*.

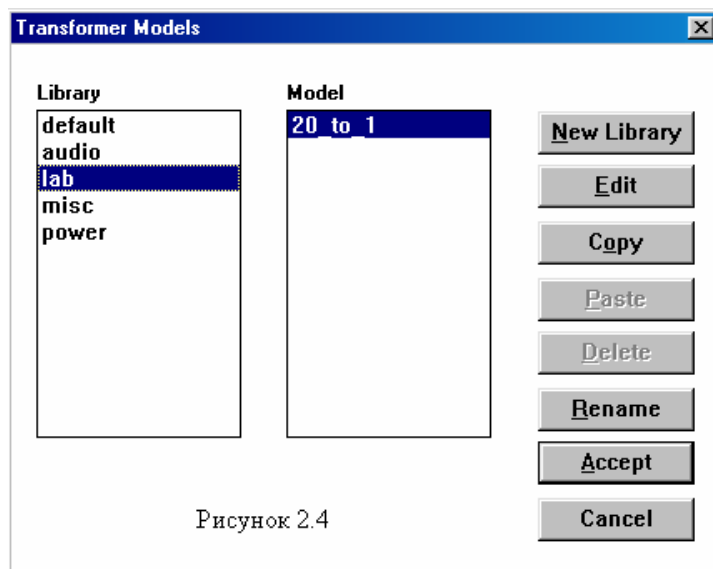


Рисунок 2.4

4.4.4 Увести встановлені параметри, для чого встановити курсор на кнопці *Accept* і клацнути лівою клавiшею миші.

П р и м і т к а. Якщо при наборі параметрів допущено помилку, слід натиснути кнопку *Cancel*, установити нові параметри і увести їх кнопкою *Accept*.

4.4.5 Закрити панель вибору трансформатора хрестиком “x”.

4.5 Установити опір навантаження

4.5.1 Установити курсор на умовному позначенні опору навантаження R_H (рис. 2.2) і двічі клацнути лівою кнопкою миші. При цьому відкривається панель *Resistor* (рис. 2.5), за допомогою якої можна змінювати опір R_H .

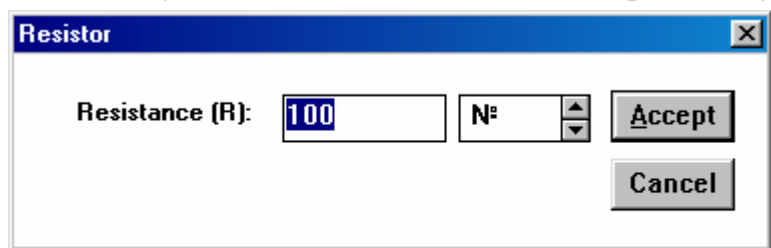


Рисунок 2.5

Установити опір $R_n = 50 + 10N$ Ом з клавіатури у лівому віконці. Зміна одиниць вимірювання (Ом; кОм; МОм) здійснюється кнопками  правого віконця.

Увести встановлені параметри кнопкою *Асерт*.

4.6 Дослідити напруги вхідну, на діоді та вихідну, для чого:

4.6.1 Увімкнути схему встановкою курсора на цифру 1 тумблера  і клацанням лівою клавішею миші.

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

4.6.3 Розкрити осцилограф встановленням курсора на його умовному позначенні (рис. 2.6) і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтати два промені: чорний – для вхідної напруги та червоний – для вихідної (рис. 2.7). 

Рисунок 2.6

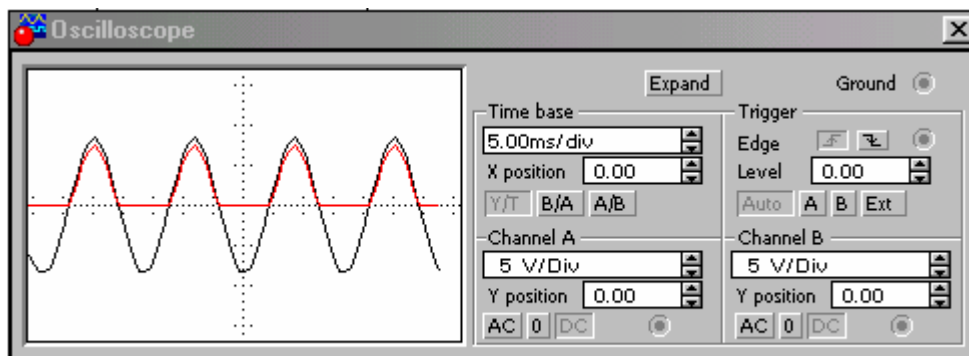


Рисунок 2.7

4.6.4 Вимірити амплітуди напруг вхідної $U_{m_{\text{вх}}}$, на діоді $U_{m_{\text{д}}}$ та вихідної $U_{m_{\text{вих}}}$ і навести в **масштабі** діаграму роботи випрямляча, розміщуючи **одну** під **одною** осцилограми в наступному порядку: $U_{\text{вх}}(t)$, $U_{\text{д}}(t)$, $U_{\text{вих}}(t)$.

4.6.5 Вимірювання амплітуд за п. 4.6.4 здійснюється наступним чином.

3 збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі (рис. 2.7);

3 зупинити зображення клавішею *Pause*;

3 розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою;

Амплітуди $U_{m_{\text{вх}}}$ та $U_{m_{\text{вих}}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа встановленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення осцилограм (рис. 2.8).

Амплітуди напруг можна відлічити у правому віконці:

$$U_{m_{\text{BX}}} = VA2 - VA1,$$

$$U_{m_{\text{ВИХ}}} = VB2 - VB1.$$

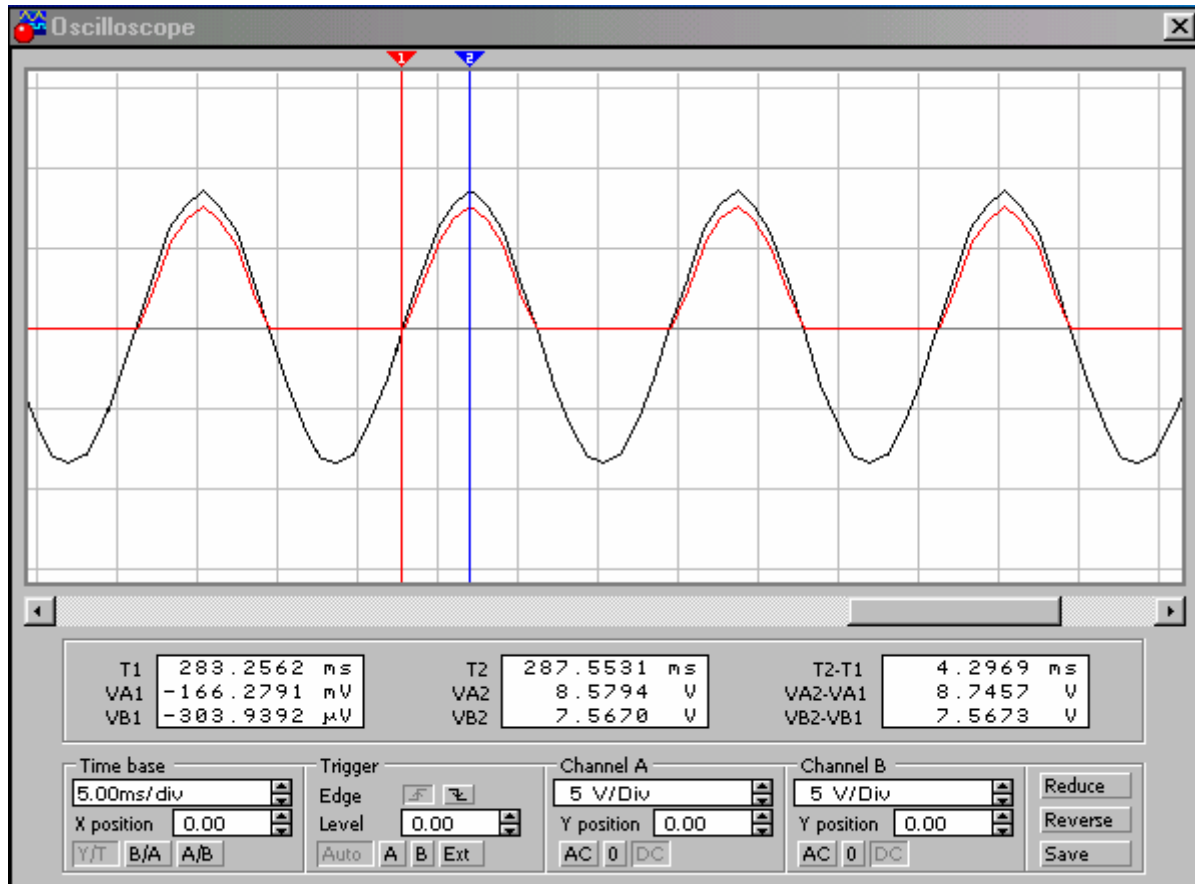


Рисунок 2.8

3 Підімкнути канал А осцилографа до діода переводом клавішею *Space* перимикача П в положення U_d і виконати дії за пп. 4.6.1, 4.6.3, 4.6.5. На збільшеному екрані буде осцилограма напруги на діоді (рис. 2.9).

Амплітуду прямої напруги на діоді можна відлічити у правому віконці:

$$U_{m_{\text{пр}}} = VA2 - VA1.$$

Для вимірювання зворотної напруги на діоді слід перенести маркер 2 на амплітудне значення негативної напівхвилі і відлічити $U_{m_{\text{в}}} = VA2 - VA1$.

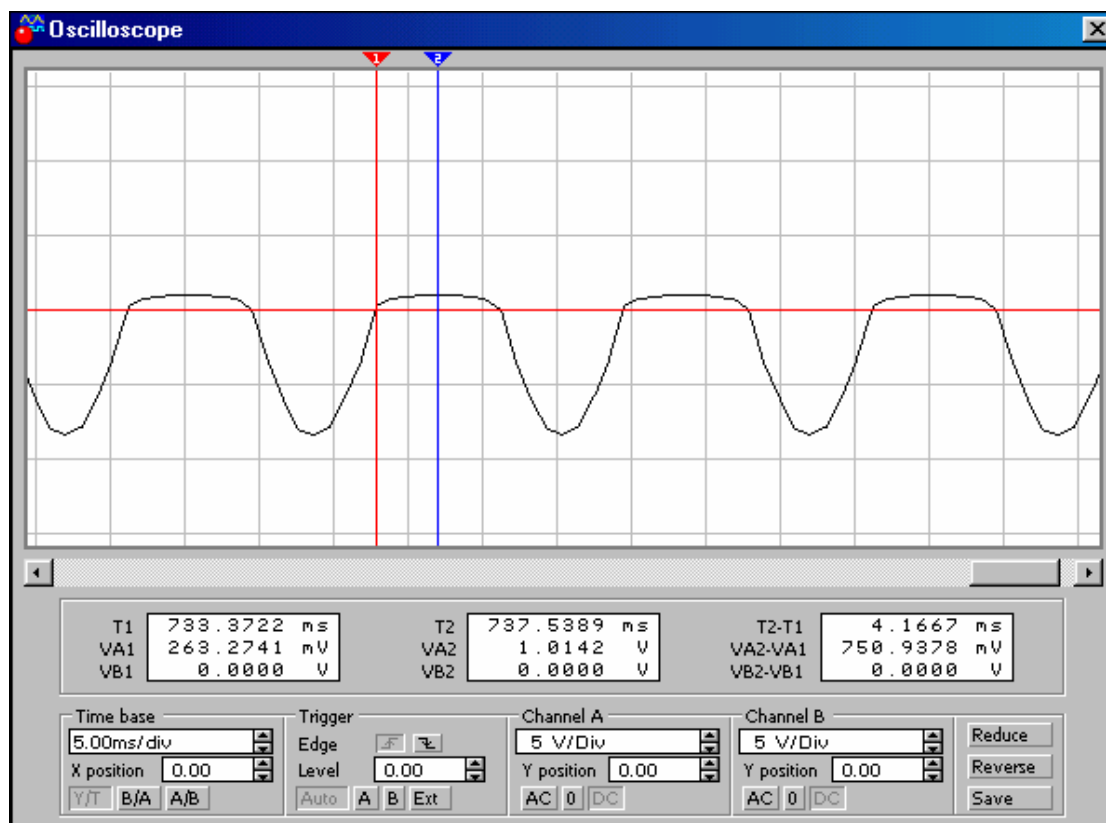


Рисунок 2.9

- 4.6.6 Вимірити період вихідної напруги, для чого на збільшеному екрані (рис. 2.8) встановити на нульові значення вихідної напруги відповідно маркер 2, а через період – маркер 1 і відлічити у правому віконці період $T = T2 - T1$.
- 4.6.7 Занести результати вимірювань за пп. 4.6.5 та 4.6.6 до таблиці 1.
- 4.6.8 Зробити висновки щодо співвідношень амплітуд:
- 3 первинної та вторинної напруг;
 - 3 вторинної та вхідної напруг;
 - 3 вхідної та вихідної напруг;
 - 3 прямої та зворотної напруг.

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Величина	Розрах.	Вимір	Похибка абсолют.	Похибка, %
U_{m1} , В				
U_{m2} , В				
$U_{m\text{ вх}}$, В				
$U_{m\text{ вих}}$, В				
$U_{m\text{ пр}}$, В				
$U_{m\text{ зв}}$, В				
T , мс				

- 4.6.9 Зробити висновки щодо розбіжності (похибки вимірювань) між вимірними та розрахунковими величинами: $U_{m\text{ вх}}$, $U_{m\text{ вих}}$, $U_{m\text{ пр}}$, $U_{m\text{ зв}}$ та T .
- 4.6.10 Дослідити вплив опору навантаження R_H на вихідну напругу, для чого вимірити амплітуду вихідної напруги за п. 4.6.5 при опорах навантаження $R_{H1} = 50 + 10N$ Ом та $R_{H2} = 20 + N$ Ом, де N – номер лабораторного стола. (Змінення опору здійснюється за п. 4.5)
- 4.6.11 Результати вимірювань занести до таблиці 2 і зробити висновки щодо впливу опору навантаження на амплітуду вихідної напруги.

Таблиця 2

R_H	R_H , Ом	$U_{m\text{ вих}}$, В
50 + 10N		
20 + N		

ФАКУЛЬТАТИВНО

4.7 Дослідити вплив сталої часу фільтра на вихідну напругу випрямляча

4.7.1 Відкрити файл “Випр. Ф” (рис. 2.10).

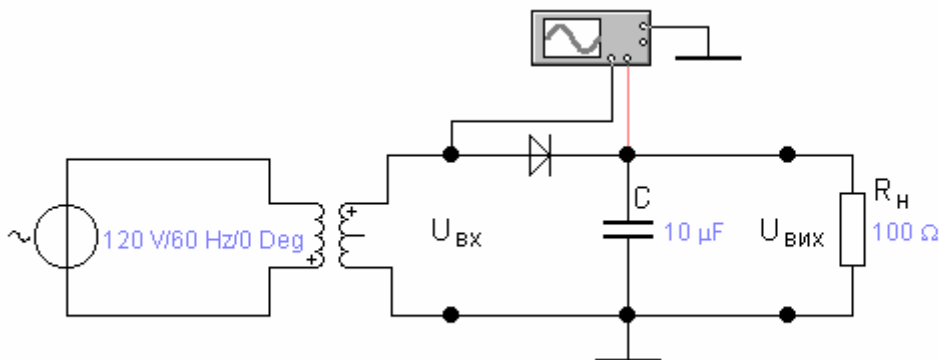


Рисунок 2.10 – Схема дослідження впливу сталої часу фільтра

- 4.7.2 Увімкнути схему та розкрити осцилограф за пп. 4.6.1, 4.6.3.
- 4.7.3 Дослідити вплив сталої часу фільтра на форму вихідної напруги (фільтр утворено з'єднанням резистора навантаження R_H і конденсатора C . Його стала часу становить $T = R_H C$), для чого навести в **масштабі** діаграму роботи випрямляча при ємності конденсатора C (10 мкФ, 100 мкФ і 1000 мкФ).

Для зміни ємності конденсатора встановити курсор на його умовному позначенні (рис. 2.10) і двічі клацнути лівою кнопкою миші. При цьому відкривається панель *Capacitor*, за допомогою якої можна змінювати номінал C .

Номінал C задається числом у віконці , яке можна змінювати за допомогою клавіатури. Одиниці вимірювання встановлюються у віконці

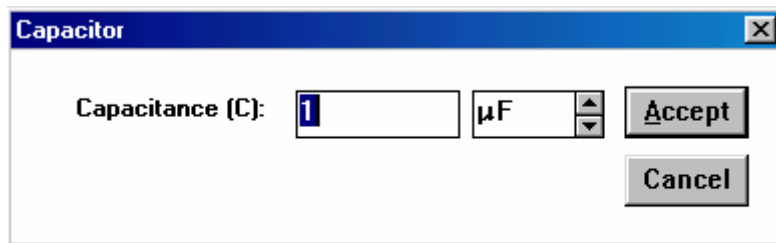


Рисунок 2.11

4.7.3 Зробити висновки щодо впливу сталої часу фільтра на амплітуду пульсацій.

5 Ключові питання

- 5.1 Чим визначається вихідна напруга трансформатора при заданій вхідній?
- 5.2 Принцип дії випрямляча.
- 5.3 Яка різниця між вхідною і вихідною напругами однонапівперіодного випрямляча?
- 5.4 Як впливає падіння напруги на діоді на вихідну напругу випрямляча?
- 5.5 Чи однакові періоди вхідної і вихідної напруг однонапівперіодного випрямляча?
- 5.6 В якому діапазоні може змінюватися середнє значення вихідної напруги випрямляча з ємнісним фільтром на виході?

Лабораторна робота № 3

Дослідження амплітудного обмежувача

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1 Скласти схеми симетричного діодного обмежувача.
- 1.2 Експериментально знаходити рівень обмеження у схемі симетричного обмежувача.
- 1.3 Змінювати рівень обмеження.

2 Ключові положення

Основним призначенням амплітудного обмежувача (надалі: обмежувач) є обмеження напруги на заданому рівні. Обмежувачі бувають симетричними та несиметричними. Найпростішим несиметричним обмежувачем є послідовне з'єднання резистора і діода. Вихідна напруга знімається з діода.

Обмеженою є амплітуда прямої напруги і тому вона не перевищує 0,7 В. Зворотна напруга при наявності лише одного діода не обмежується, через що обмежувач є несиметричним.

Якщо вихідним колом є зустрічно-паралельне з'єднання двох діодів, то обмеженими будуть різнополярні напруги, через що обмежувач є симетричним.

Оскільки пряма напруга на діоді не перевищує 0,7 В, то і вихідна напруга не може бути більше цієї величини, тобто є обмеженою.

3 Домашнє завдання

- 3.1 Навести схему симетричного обмежувача.
- 3.2 Навести в **масштабі** діаграму роботи симетричного обмежувача (**зверху** епюра вхідної напруги, **знизу** – вихідної).

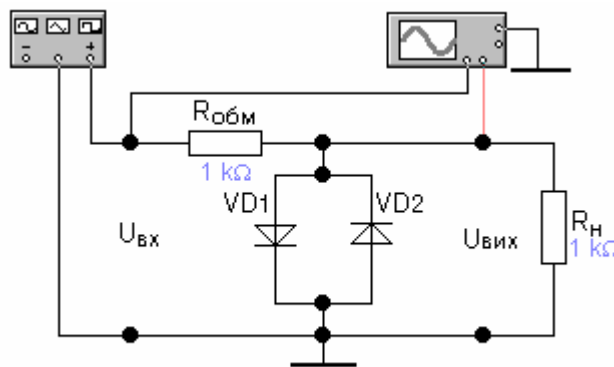


Рисунок 3.1 – Схема дослідження

4 Лабораторне завдання

- 4.1 Відкрити файл “Обмежувач” (рис 3.1). Порівняти схему віртуального макета зі складеною за п. 3.1.

4.3 Установити параметри джерела сигналу.



Рисунок 3.2

Розкрити генератор сигналу, для чого встановити курсор на мале зображення генератора (рис. 3.2) і двічі клацнути лівою клавішею миші.

З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 3.3), у віконцях якого можна встановлювати:

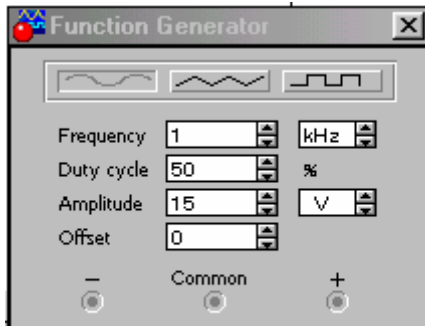


Рисунок 3.3

3 форму сигналу;

3 частоту вихідної напруги (*Frequency*);

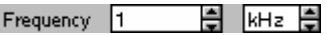
3 скважність (*Duty cycle*);

3 амплітуду вихідної напруги (*Amplitude*);

3 постійну складову вихідної напруги (*Offset*).

4.3.1 Установити синусоїдальну форму сигналу встановленням курсора на 

кнопці і клацанням лівою клавішею миші. На встановлену форму сигналу вказує сірий колір його зображення на кнопці.

4.3.2 Установити частоту сигналу 1 кГц у віконцях  за допомогою клавіатури і кнопок з трикутними стрілками.

4.3.3 Установити скважність сигналу 50% у віконці  за допомогою клавіатури і кнопок з трикутними стрілками.

4.3.4 Установити амплітуду сигналу $(10 + N)$ В, де N – номер лабораторного стола, у віконцях  за допомогою клавіатури і кнопок з трикутними стрілками.

4.3.5 Установити постійну складову сигналу 0 В у віконці  за допомогою клавіатури і кнопок з трикутними стрілками.

4.4 Включити схему тумблером, розміщеним праворуч у верхньому кутку екрана.

4.5 Розкрити осцилограф встановленням курсора на його умовному



Рисунок 3.4

позначенні (рис. 3.4) і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані будуть мерехтіти два промені: чорний – для вхідного сигналу і червоний – для вихідного (рис. 3.5).

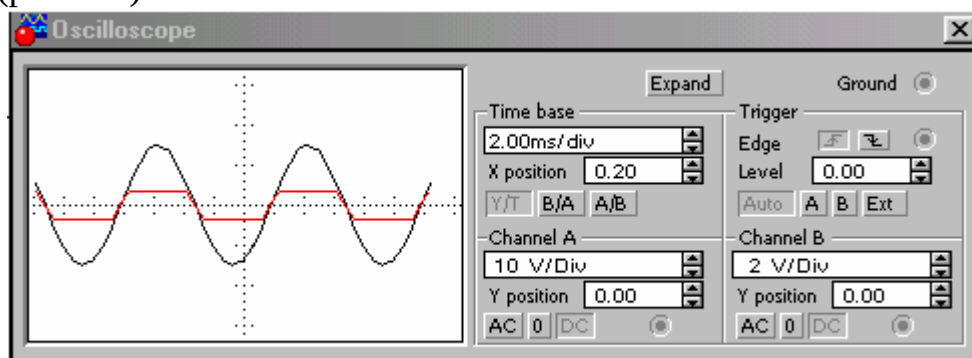


Рисунок 3.5

4.6 Дослідити вхідну та вихідну напруги обмежувача

4.6.1 Вимірити амплітуди вхідної $U_{m\text{ вх}}$ та вихідної $U_{m\text{ вих}}$ напруг і навести в **масштабі** діаграму роботи обмежувача, розміщуючи осцилограми **одну** під **одною** (зверху вхідна напруга, **знизу** – вихідна), звертаючи увагу на **фазу** сигналів.

Вимірювання амплітуд за здійснюється наступним чином:

- 3 збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі
- 3 зупинити зображення клавішею *Pause*;
- 3 розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою (рис. 3.6);

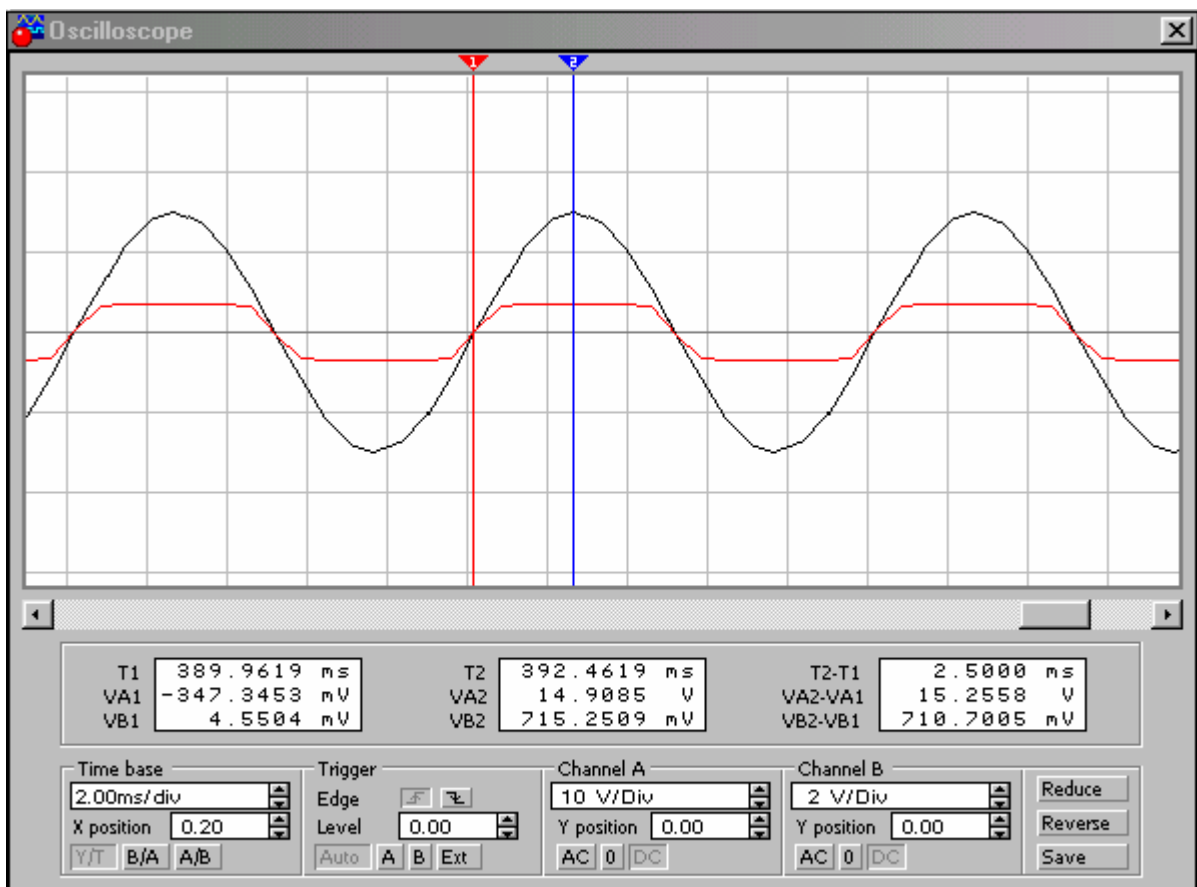


Рисунок 3.6

Амплітуди $U_{m\text{ вх}}$ та $U_{m\text{ вих}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа встановленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульове і амплітудне значення осцилограм (рис. 3.6).

Амплітуди напруг можна відлічити у правому віконці:

$$U_{m\text{ вх}} = VA2 - VA1,$$

$$U_{m\text{ вих}} = VB2 - VB1.$$

4.6.2 Повторити дослідження за п. 4.6.1 для *трикутної* і *прямокутної* форм сигналів, які встановлюються відповідно кнопками  і  генератора (рис. 3.3).

4.6.3 Зменшити амплітуду вхідного сигналу і результати вимірювання амплітуд занести до таблиці 1.

4.6.4 Зробити висновки щодо:

Знаявності залежності форми вихідного сигналу від форми вхідного;

З залежності амплітуди вихідного сигналу від амплітуди вхідного;

З залежності форми вихідного сигналу від амплітуди вхідного.

Таблиця 1 – Амплітуди сигналів

Форма сигналу	Амплітуда сигналу					
	$U_{m \text{ вх}}, \text{ В}$	$U_{m \text{ вих}}, \text{ В}$	$U_{m \text{ вх}}, \text{ В}$	$U_{m \text{ вих}}, \text{ В}$	$U_{m \text{ вх}}, \text{ В}$	$U_{m \text{ вих}}, \text{ В}$
	$10 + N$		$0,5(10 + N)$		$0,1(10 + N)$	
Синус.						
Трикут.						
Прямокут.						

5 Ключові питання

5.1 Принцип дії симетричного обмежувача зверху та знизу.

5.2 Чим визначається поріг обмежування в схемі рис. 3.1.

5.3 Вплив форми вхідного сигналу на форму вихідного.

5.4 Вплив амплітуди вхідного сигналу на форму вихідного.

5.5 Вплив амплітуди вхідного сигналу на амплітуду вихідного.

Лабораторна робота № 4

Дослідження напівпровідникових діодів

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 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 по характеристиках.

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 пряма напруга не перевищує 0,7 В.

Під *зворотною* напругою діод закритий, його *зворотний* струм знехтовано 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 вольт-амперною характеристикою (ВАХ), якою є залежність струму діода від напруги на ньому.

Одним з різновидів діодів є *стабілітрони*. Їхні прямі області ВАХ практично не відрізняються від випрямляючих діодів. 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 джерела живлення, органи керування та вимірювальні прилади.

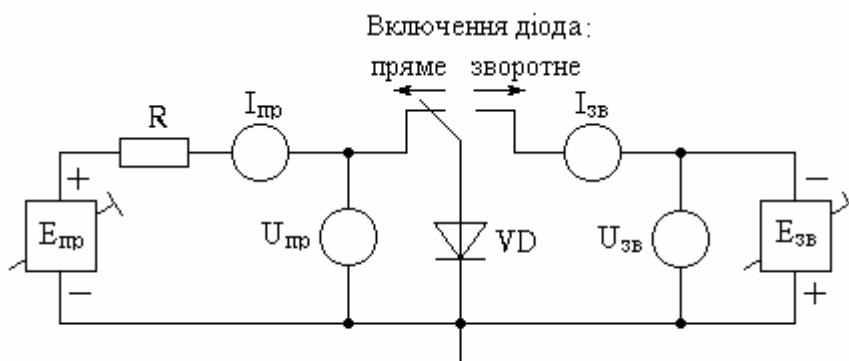


Рисунок 4.1 – Схема дослідження діода

- 4.1.1 Джерелом прямої напруги $E_{пр} \in E_1$, а зворотної – джерело E_2 .
- 4.1.2 Включення діода (пряме чи зворотне) здійснюється перемикачем $П_8$.
- 4.1.3 Прямий струм $I_{пр}$ і пряма напруга $U_{пр}$ вимірюються приладами відповідно I_1 та U_1 .
- 4.1.4 Зворотний струм $I_{зв}$ і зворотна напруга $U_{зв}$ вимірюються приладами відповідно I_2 та U_2 .
- 4.2 Увімкнути стенд тумблером “Общее включение стола” та подати пряме живлення тумблером E_1 і зворотне – тумблером E_2 .

4.3 Зняти ВАХ випрямляючого діода

- 4.3.1 Установити тумблер $П_6$ в положення “ОБ”.

- 4.3.2 Підімкнути 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 тетрадної сторінки. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.
- 4.3.4 Установити схему дослідження діода під прямою напругою перекладанням тумблера Π_8 в положення “Прямое”.
- 4.3.5 Зняти та побудувати пряму область ВАХ діода, змінюючи прямий струм $I_{пр}$ (прилад I_1) регулятором R_6 , вимірюючи пряму напругу $U_{пр}$ (прилад U_1) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графіку прямої області ВАХ $I_{пр} = f(U_{пр})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *забороняється*.
- 4.3.6 Установити схему дослідження діода під зворотною напругою перекладанням тумблера Π_8 в положення “Обратное”.
- 4.3.7 Зняти та побудувати зворотну область ВАХ діода, змінюючи зворотну напругу $U_{зв}$ (прилад U_2) регулятором R_{12} , вимірюючи зворотний струм $I_{зв}$ (прилад I_2) і відкладаючи зняті показання *безпосередньо* на графіку (п. 4.3.5) зворотної області ВАХ $I_{зв} = f(U_{зв})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *забороняється*.
- 4.3.8 Розрахувати диференційний опір діода для середньої точки прямої області:

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

- 4.3.9 Зробити висновки щодо:
- 3 меж зміння прямого струму і прямої напруги;
 - 3 меж зміння зворотного струму і зворотної напруги;
 - 3 співвідношення між прямим і зворотним струмами;
 - 3 співвідношення між прямою і зворотною напругами.

4.4 Зняти ВАХ стабілітрона

- 4.4.1 Підімкнути вказаний викладачем стабілітрон до гнізда 4.
- 4.4.2 Заготовити та *оцифрувати* осі координат для ВАХ стабілітрона $I_d = f(U_d)$ так, щоб площа графіку була б не менше половини тетрадної сторінки. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.
- 4.4.3 Виконати дії за пп. 4.3.4 ... 4.3.7.
- 4.4.4 Розрахувати диференційний опір стабілітрона для середньої точки зворотної області:

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

4.4.5 Зробити висновки щодо:

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

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

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, отриманому за п. 4.3.

4.5.3 Зробити висновки про вплив температури на струми й напруги (прямі та зворотні) діода.

5 Ключові питання

5.1 Принцип дії випрямляючого діода.

5.2 Принцип дії стабілітрона.

5.3 Хід ВАХ випрямляючого діода.

5.4 Хід ВАХ стабілітрона.

5.5 Вплив температури на ВАХ діода.

Лабораторна робота № 5

Дослідження біполярного транзистора

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1 Складати схеми дослідження біполярного транзистора (БТ) для знімання вольт-амперних характеристик (ВАХ).
- 1.2 Знімати та будувати вхідні та вихідні ВАХ у схемах зі спільним емітером *СЕ* та спільною базою *СБ*.
- 1.3 Визначати статичні параметри транзисторів по характеристиках.

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 (сукупності напруг і струмів) транзистора, тобто кількість значень параметрів є нескінченною.

Щоб не наводити таку безліч у довідниках, використовують визначення параметрів по вольт-амперних характеристиках (ВАХ) транзистора. Хід ВАХ визначається схемою включення транзистора. Існують три схеми включення:

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

Відрізняють *вхідні* та *вихідні* ВАХ для кожної схеми включення 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* вихідному струмі.

Оскільки задані параметри режиму можуть мати не одне значення, то ВАХ транзистора являють із себе сім'ю.

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

3 Домашнє завдання

- 3.1 Навести схему 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 графічного розрахунку *h*-параметрів.

4 Лабораторне завдання

- 4.1 Порівняти складені схеми дослідження (рис. 5.1), (рис. 5.2) з лабораторним стендом і знайти джерела живлення, органи керування та вимірювальні прилади.

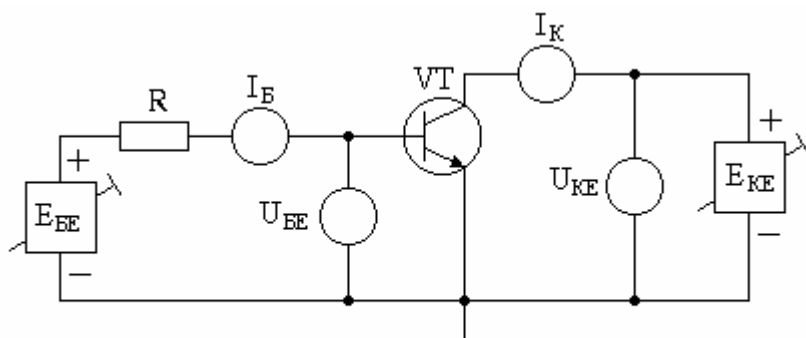


Рисунок 5.1 – Схема дослідження транзистора зі спільним емітером

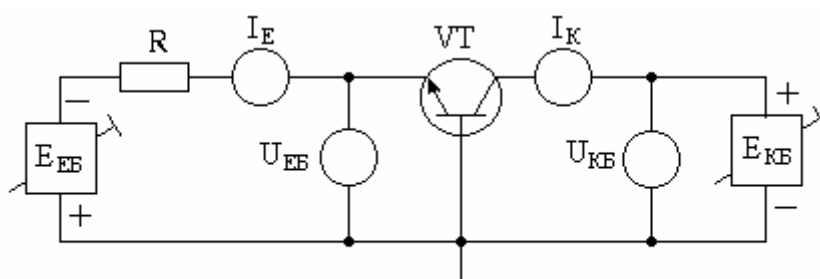


Рисунок 5.2 – Схема дослідження транзистора зі спільною базою

- 4.1.1 Джерелом вхідної напруги E_{BE} або $E_{EB} \in E_1$, а вихідної – джерело E_2 .
- 4.1.2 Включення транзистора зі *СЕ* чи *СБ* здійснюється тумблером Π_6 .
- 4.1.3 Вхідний струм I_B або I_E змінюється регулятором R_6 .
- 4.1.4 Вихідна напруга U_{KE} змінюється регулятором R_{12} .

- 4.1.5 Вхідний струм I_B або I_E і пряма напруга U_{BE} або U_{EE} виміряються приладами відповідно I_1 та U_1 . Межі шкал цих приладів для обох схем включення вказані на стенді.
- 4.1.5 Вихідний струм I_K і вихідна напруга U_{KE} виміряються приладами відповідно I_2 та U_2 . Межі шкал цих приладів для обох схем включення вказані на стенді.
- 4.1.6 Статичний режим встановлюється закорочуванням резистора R_K в колекторному колі.

4.2 Дослідити схему включення транзистора зі *СЕ*

- 4.2.1 Установити включення транзистора зі *СЕ* переведенням тумблера P_6 в положення “ОЄ”.
- 4.2.2 Увімкнути 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 опора R_K у колекторному колі.
- 4.2.3 Заготовити та оцифрувати осі $I_B = f(U_{BE})$ так, щоб площа графіку була б не менше половини тетрадної сторінки. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.
- 4.2.4 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 .

- 4.2.5 Заготовити та оцифрувати осі $I_K = f(U_{KE})$ так, щоб площа графіку була б не менше половини тетрадної сторінки. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.
- 4.2.6 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 схему 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 опора R_K у колекторному колі.

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

4.4.4 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 $I_B = f(U_{BE})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *не дозволяється*.

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

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

4.4.6 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 $I_K = f(U_{KB})$. Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, *не дозволяється*.

4.4.7 Зробити висновки про спосіб зміни струму колектора у схемах зі СЕ та СБ.

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

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

4.4.9 Визначити параметри h_{11B} ; h_{21B} в робочій точці при $I_E = 2\text{ мА}$ та колекторній напрузі за п. 4.4.8.

4.4.10 Порівняти розраховані h -параметри для схем зі CE та зі CB і зробити висновки про кількісне їхнє співвідношення.

5 Ключові питання

- 5.1 Принцип дії біполярного транзистора.
- 5.2 Хід статичних вхідних характеристик.
- 5.3 Хід статичних вихідних характеристик.
- 5.4 Визначення h -параметрів за статичними характеристиками.

Лабораторна робота № 6

Дослідження каскадів на операційних підсилювачах

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1 Скласти схеми каскадів на ОП.
- 1.2 Розраховувати коефіцієнт підсилення каскадів на ОП.
- 1.3 Підмикати джерело сигналу.
- 1.4 Підмикати навантаження.
- 1.5 Виміряти амплітуди вхідної та вихідної напруг.
- 1.6 Визначати та забезпечувати необхідний коефіцієнт підсилення.

2 Ключові положення

Операційний підсилювач (ОП), умовне позначення якого наведено на рис. 8.1, має вихід $V_{\text{вих}}$ та диференційні входи *інвертуючий* $V_{x1}(-)$ і *неінвертуючий* $V_{x2}(+)$, які забезпечують підсилення відповідно з поворотом фази або без нього.

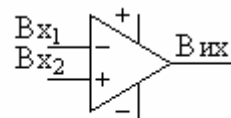


Рисунок 8.1

ОП є близьким до ідеального, тобто має:

- великий коефіцієнт підсилення (мільйон і навіть вище);
- великий вхідний опір;
- малий вихідний опір;
- нульову постійну вихідну напругу в робочій точці.

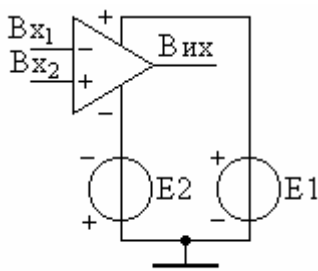


Рисунок 8.2

Останній показник зумовлений двома *різнополярними* джерелами живлення $E1$ та $E2$ (рис. 8.2).

Амплітуда вихідного сигналу $U_{\text{мвих}}$ не може перевищувати напруги живлення і при $U_{\text{мвих}} \geq |E_1| = |E_2|$ буде обмеженою.

Щодо позначення на схемах, то дозволяється джерела живлення $E1$ і $E2$ та їхні кола не показувати (рис. 8.3). Тому далі використовуються позначення і рис.8.2, і рис.8.3.

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

Визначаються, встановлюються і порівнюються їхні коефіцієнти підсилення.

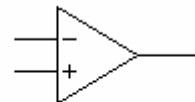


Рисунок 8.3

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

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 опори резисторів інвертуючого каскада для отримання коефіцієнта підсилення

$$K = 2 + \frac{N}{3},$$

де N – номер стенда.

Вхідний опір $R_{\text{вх}} = R_1 \geq 1 \text{ кОм.}$

4 Лабораторне завдання

- 4.1 Відкрити файл «ОП інв» (рис. 8.4).

Дослідження інвертуючого підсилювача

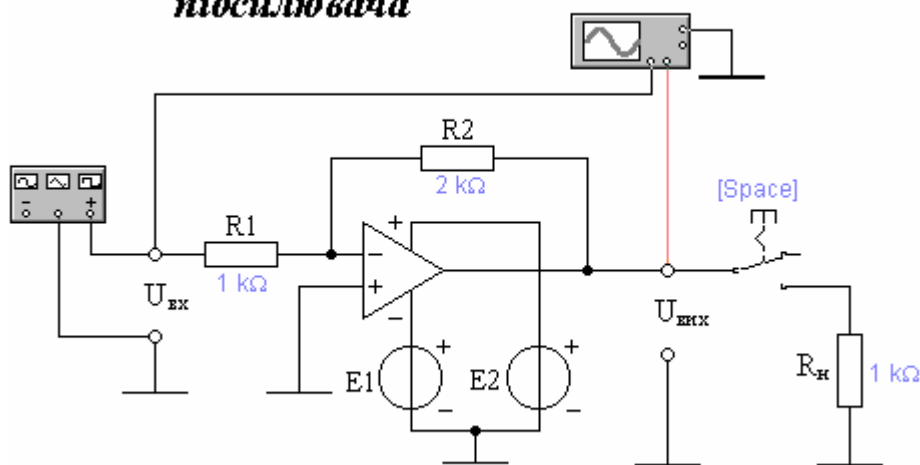


Рисунок 8.4

- 4.2 Встановити розраховані опори резисторів, для чого:

- установити курсор на позначення резистора так, щоб стрілка перетворилася на палиці;
- клацнути один раз правою клавішею миші так, щоб контур позначення резистора почервонів, після чого з'явиться меню (рис. 8.5);

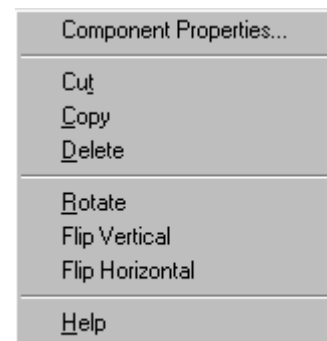


Рисунок 8.5

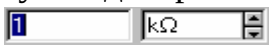
- установити курсор на  і клацнути один раз лівою клав'яшею миші, після чого з'явиться вікно  , в якому треба встановити потрібне значення курсором і клавіатурою і ввести його одноразовим клацанням лівою клав'яшею миші по кнопці ОК.
 - 4.3 Увімкнути схему, для чого установити курсор на цифру 1 тумблера , розміщеного зверху праворуч, і клацнути лівою клав'яшею миші.
 - 4.4 Розкрити осцилограф (рис. 8.6) встановленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клав'яшею миші. На екрані будуть мерехтіти два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.
 - 4.5 Розкрити генератор сигналу, для чого встановити курсор на мале зображення генератора (рис. 8.7) і двічі клацнути лівою клав'яшею миші.
- З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 8.8), у віконцях *Frequency* якого треба встановити розмірність kHz і частоту вхідної напруги 1 kHz.



Рисунок 8.6



Рисунок 8.7

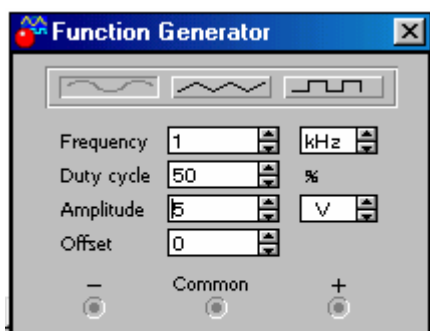


Рисунок 8.8

4.6 Установити у віконці *Amplitude* розмірність V і можливо більшу амплітуду сигналу, але таку, щоб спотворень вихідної напруги не було.

4.7 Рознести на осцилографі зображення вхідної та вихідної напруг клав'яшами   (рис. 8.9).

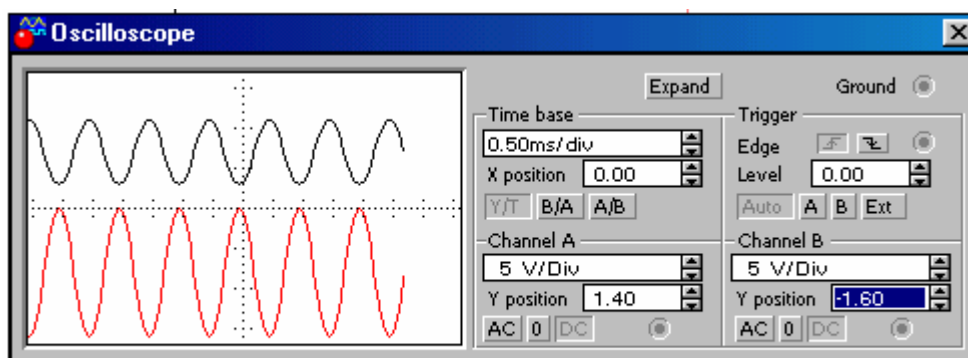


Рисунок 8.9

4.8. Визначити коефіцієнт підсилення інвертуючого каскаду

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

4.8.1 Забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

- збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі;
- зупинити зображення клавішею *Pause*;
- розгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою (рис. 8.10).

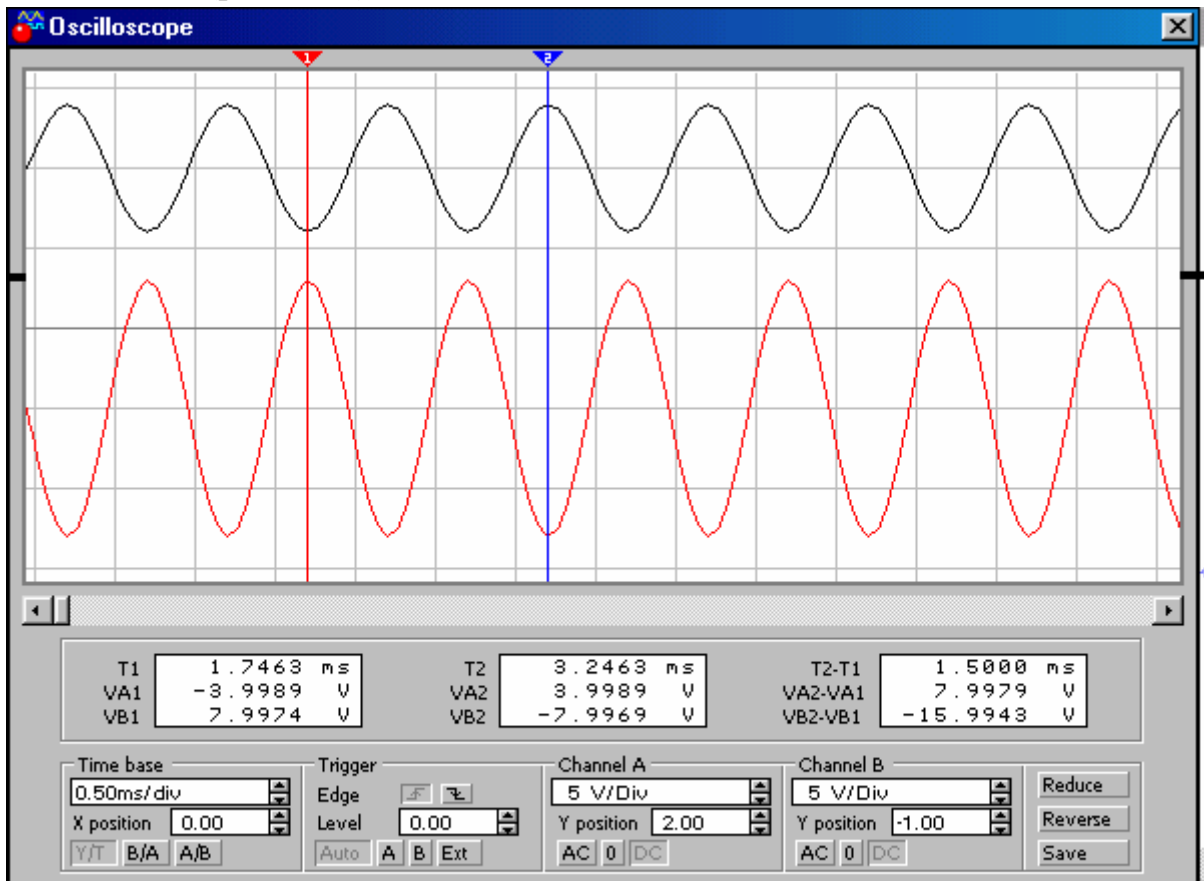


Рисунок 8.10

Амплітуди $U_{m_{\text{вих}}}$ та $U_{m_{\text{вх}}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 8.10) встановленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди.

Подвійні амплітуди сигналів можна прочитати у правому віконці:

$$2 U_{m_{\text{вх}}} = VA2 - VA1,$$

$$2 U_{m_{\text{вих}}} = VB2 - VB1.$$

Тоді коефіцієнт підсилення становитиме

$$K_{\text{інв}} = \frac{VB2 - VB1}{VA2 - VA1}.$$

4.8.2 Зарисувати в *масштабі* осцилограми, звертаючи увагу на *фазу* сигналів, та відзначити для них напруги живлення E_1 та E_2 .

4.9 Визначити коефіцієнт підсилення неінвертуючого каскаду

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

4.9.1 Відкрити файл «ОП неінв» (рис. 8.11).

Дослідження неінвертуючого підсилювача

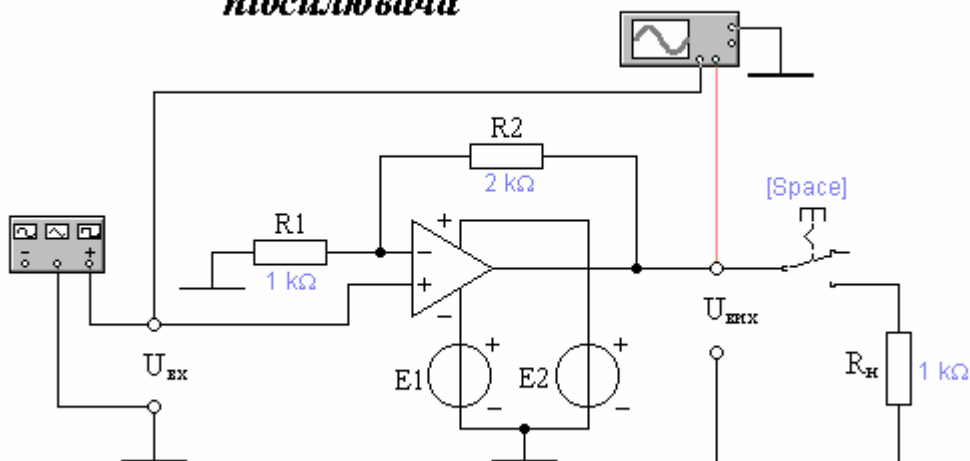


Рисунок 8.11

4.9.2 Виконати маніпуляції за п. 4.8.

4.9.3 Зарисувати в *масштабі* осцилограми, звертаючи увагу на *фазу* сигналів, та відзначити для них напруги живлення E_1 та E_2 .

4.9.4 Порівняти $K_{\text{інв}}$ та $K_{\text{неінв}}$ і зробити висновки щодо співвідношення їхніх величин.

4.10 Дослідити вплив зворотного зв'язку на коефіцієнт підсилення

4.10.1 Збільшити опори резисторів R_2 у 10 разів.

4.10.2 Встановити у віконці *Amplitude* генератора (рис.8.8) можливо більшу амплітуду сигналу, але таку, щоб спотворень вихідної напруги не було б.

4.10.3 Повторити вимірювання за п.п. 4.8 і 4.9.

4.10.4 Порівняти результати вимірювання та зробити висновки про співвідношення $K_{\text{інв}}$ і $K_{\text{неінв}}$ при малих та великих коефіцієнтах підсилення.

4.11 Дослідити вплив напруги живлення ОП на припустиму вихідну амплітуду

4.11.1 Зменшити удвічі напруги живлення E_1 та E_2 (рис. 8.4), для чого:

- установити курсор на позначення джерела так, щоб стрілка перетворилася на пальці;
- клацнути один раз правою клавішею миші так, щоб контур позначення джерела почервонів, після чого з'явиться меню (рис. 8.5);

- установити курсор на **Component Properties...** і клацнути один раз лівою клавішею миші, після чого з'явиться вікно  в якому треба встановити половинне значення напруги курсором і клавіатурою та увести його одноразовим клацанням лівою клавішею миші по кнопці ОК.

4.11.2 Не змінюючи амплітуди вхідної напруги, зарисувати в **масштабі** осцилограми, звертаючи увагу на **фазу** сигналів, та відзначити для них напруги живлення E_1 та E_2 .

4.11.3 Встановити у віконці *Amplitude* генератора (рис. 8.8) можливо більшу амплітуду сигналу, але таку, щоб спотворень вихідної напруги не було б.

4.11.4 Зробити висновки про співвідношення напруги живлення та амплітуди вихідної напруги.

4.12 Дослідити навантажувальну здібність повторювача

4.12.1 Відкрити файл «Повт» (рис. 8.12). R_{Γ} $U_{\text{вх}}$ $U_{\text{вих}}$ $R_{\text{н}}$

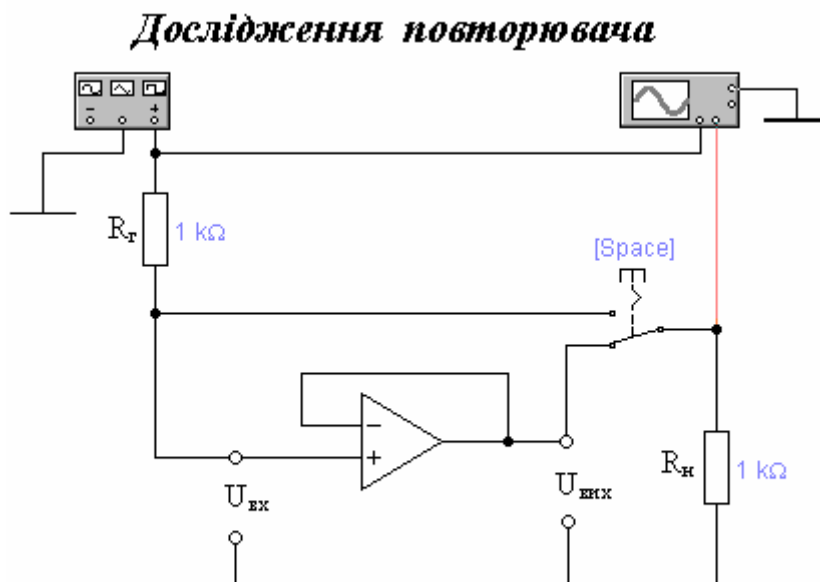


Рисунок 8.12

- 4.12.2 Виконати маніпуляції за п.п. 4.3 ... 4.7.
- 4.12.3 Підімкнути опір навантаження R_n до виходу високоомного генератора R_r клавішею *Space* (пропуск).
- 4.12.4 Зарисувати в **масштабі** осцилограми вхідної та вихідної напруг, звертаючи увагу на **фазу** сигналів, і зробити висновок щодо роботи високоомного генератора на опір навантаження.
- 4.12.5 Підімкнути опір навантаження R_n до вихода повторювача клавішею *Space* (пропуск).
- 4.12.6 Зарисувати в **масштабі** осцилограми вхідної та вихідної напруг і зробити висновок щодо роботи повторювача на опір навантаження.

ФАКУЛЬТАТИВНО

Оцінити вихідний опір каскаду на ОП

- Ф1 Установити у віконці *Amplitude* розмірність *mV* і амплітуду сигналу *10 mV*.
- Ф2 Розгорнути зображення на екрані осцилографа, зменшуючи ціну ділення у віконцях 
- Ф3 Підімкнути опір навантаження R_n до виходу повторювача клавішею *Space* (пропуск).
- Ф4 Зменшуючи опір навантаження R_n за методикою п. 4.2 та спостерігаючи змінення $U_{\text{твих}}$, оцінити вихідний опір каскаду на ОП (його співвідношення з R_n).

Лабораторна робота № 7

Дослідження диференційного каскаду

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1 Скласти схеми диференційних каскадів з резистивним і динамічним навантаженням.
- 1.2 Експериментально встановлювати режим для неспотвореного підсилення.
- 1.3 Вимірювати параметри режиму.
- 1.4 Вимірювати амплітуди вхідної та вихідної напруг.
- 1.5 Вимірювати коефіцієнт підсилення.
- 1.6 Вимірювати вихідний опір.

2 Ключові положення

Основною перевагою диференційних каскадів є придушення наведень. Тому в операційних підсилювачах вхідним колом є диференційний каскад.

Диференційні каскади бувають з резистивним колекторним навантаженням і 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.

Однак вихідний опір диференційного каскаду, який з опором навантаження на виході створює подільник напруги, є також дуже великим. Тому диференційний каскад має працювати лише на високоомне навантаження.

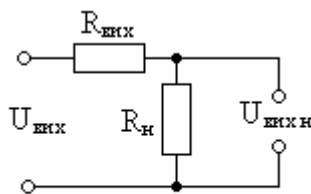


Рисунок 7.1

У даній роботі досліджується придушення наведень, експериментально визначаються та зіставляються коефіцієнти підсилення диференційних каскадів з резистивним і динамічним колекторним навантаженням.

Для визначення вихідного опора $R_{\text{вих}}$ використовується схема (рис. 7.1), на якій позначено наступне:

$R_{\text{вих}}$ – вихідний опір;

$R_{\text{н}}$ – опір навантаження на виході каскада;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга каскада;

$U_{\text{вих н}}$ – напруга на навантаженні $R_{\text{н}}$.

Напругу $U_{\text{вих н}}$ на навантаженні $R_{\text{н}}$ знаходимо, як вихідну напругу подільника з $R_{\text{вих}}$ у верхньому плечі та $R_{\text{н}}$ – у нижньому,

$$U_{\text{вих н}} = U_{\text{вих}} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{вих}} + R_{\text{н}}}. \quad (7.1)$$

З цього випливає, що вихідний опір становить

$$R_{\text{вих}} = \left(\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вих н}}} - 1 \right) R_{\text{н}}. \quad (7.2)$$

3 Домашнє завдання

- 3.1 Скласти схему дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням.
- 3.2 Скласти схему дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням.

3 Лабораторне завдання

- 4.1 Відкрити файл «ДК дин» (рис. 7.2).

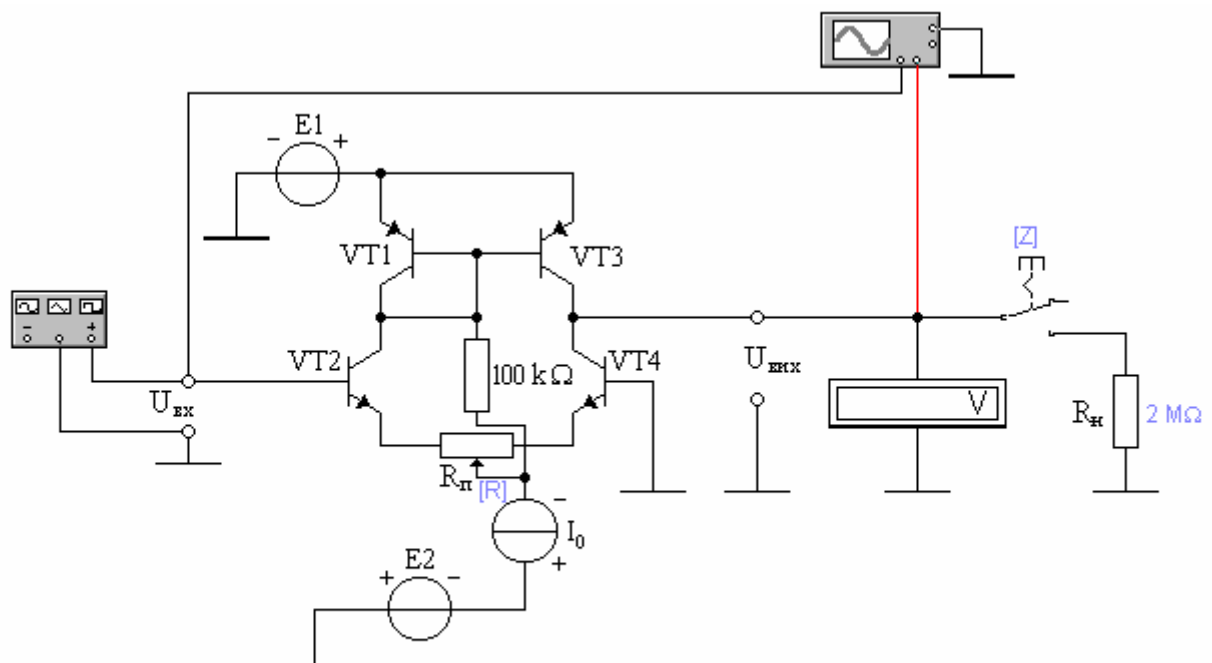


Рисунок 7.2 – Схема дослідження диференційного каскаду з динамічним навантаженням

4.2 Увімкнути схему, для чого установити курсор на цифру 1 тумблера (рис. 7.3) і клацнути лівою клавішею миші.



Рисунок 7.3

4.3 Розкрити осцилограф встановленням на його зображенні (рис.7.4) курсора і подвійним клацанням лівою клавішею миші. На екрані осцилографа будуть мерехтити два променя:



Рисунок 7.4

чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.

4.4 Розкрити генератор сигналу, для чого встановити курсор на зображення генератора (рис. 7.5) і двічі клацнути лівою клавішею миші.



Рисунок 7.5

З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 7.6), у віконцях *Frequency* якого треба встановити розмірність kHz і частоту вхідної напруги 10 kHz.

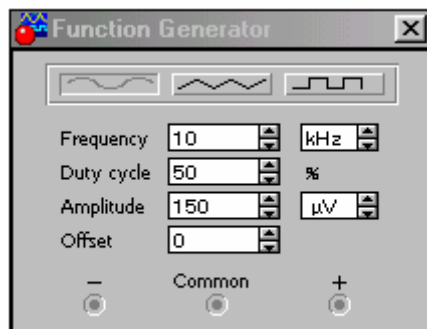


Рисунок 7.6

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

4.6 Вибрати положення робочої точки для появи на осцилографі зображення неспотвореного сигналу. Встановлення робочої точки здійснюється зміщенням повзунка R_n (рис. 7.2). Натиснення кла-

віші *R* на клавіатурі зміщує повзунок “праворуч”, а одночасний натиск клавіш *Shift* та *R* – ліворуч.

4.7 Установити амплітуду вихідної напруги $U_{\text{мвих}} = 6,5 \text{ В}$ зміненням вхідної напруги у віконці *Amplitude* генератора (рис. 7.6).

4.8 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідна), звертаючи увагу на **фазу** сигналів, для чого забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

Збільшити зображення клавішею *Expand* на осцилографі;

Зупинити зображення клавішею *Pause*;

Зрозгорнути зображення на весь екран горизонтальною прокруткою (рис. 7.7).

4.9 **Визначити коефіцієнт підсилення** $K_{\text{дин}} = \frac{U_{\text{м вих}}}{U_{\text{м вх}}}$ **на холостому ході.**

4.9.1 Відімкнути опір навантаження R_n перемикачем (клавішею) *Z*.

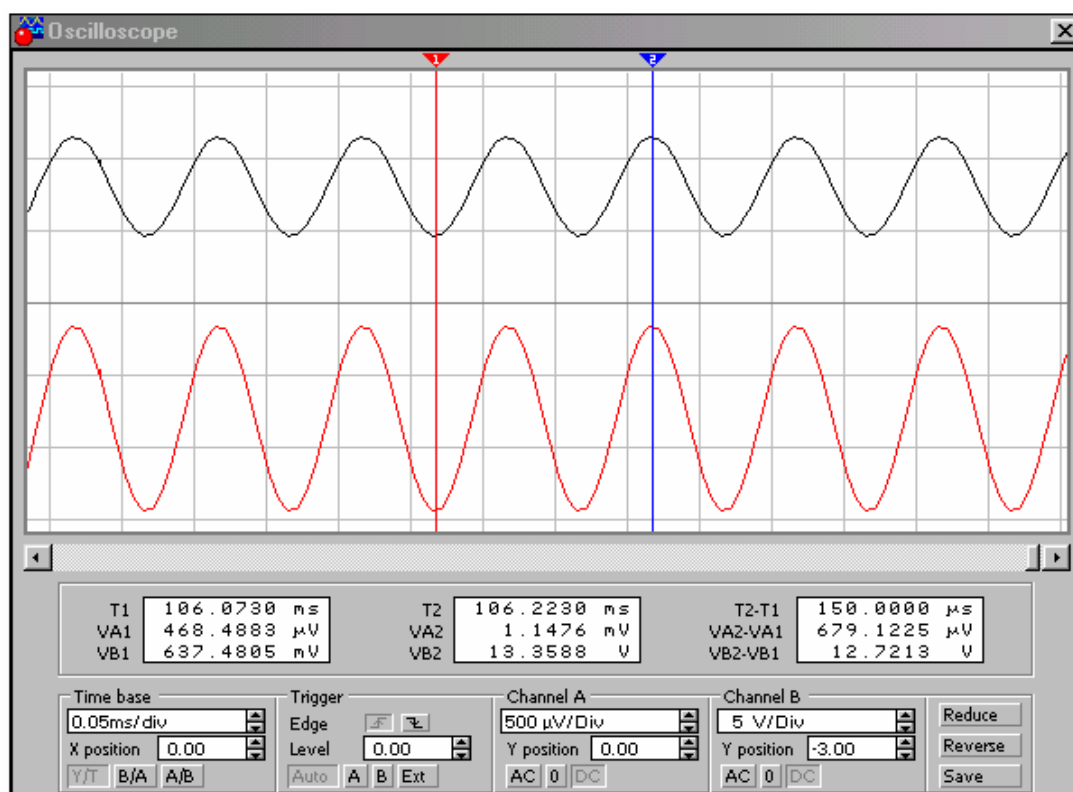


Рисунок 7.7

4.9.2 Вимірити амплітуди $U_{m \text{ вих}}$ та $U_{m \text{ вх}}$ на збільшеному екрані осцилографа (рис. 7.7) встановленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди.

Подвійні амплітуди сигналів можна відлічити у правому віконці:

$$2 U_{m \text{ вх}} = VA2 - VA1,$$

$$2 U_{m \text{ вих}} = VB2 - VB1.$$

Тоді коефіцієнт підсилення становитиме

$$K_{\text{дин}} = \frac{VB2 - VB1}{VA2 - VA1}.$$

УВАГА !!!

Після роботи з **осцилографом** або **генератором** не діє жодна клавіша, якщо верхні смуги на зображеннях цих приладів мають синій колір. Для уведення в дію клавіш треба встановити курсор поза осцилографом та генератором і клацнути лівою клавішею миші. Синій колір має зникнути. Клавіші почнуть діяти.

4.10 Дослідити вплив опору навантаження на коефіцієнт підсилення.

4.10.1 Підімкнути до виходу опір навантаження R_H перемикачем (клавішею) Z .

4.10.2 Визначити коефіцієнт підсилення за методикою п. 4.9.

4.10.3 Порівняти знайдені коефіцієнти підсилення без R_H та з R_H і зробити висновки про вплив опору навантаження на коефіцієнт підсилення.

4.11 Вимірити вихідний опір каскаду з динамічним навантаженням.

4.11.1 Виконати дії за пп. 4.1 ... 4.6.

4.11.2 Вимірити вихідну напругу $U_{\text{вих}} = \frac{VB2 - VB1}{2}$ без навантаження, відімкнувши R_H перемикачем (клавішею) Z .

4.11.3 Вимірити вихідну напругу $U_{\text{вих}H}$ під навантаженням, підімкнувши R_H перемикачем (клавішею) Z .

4.11.4 Розрахувати вихідний опір $R_{\text{вих}}$ за формулою (7.2).

4.11.5 Зробити висновки щодо співвідношення $R_{\text{вих}}$ та R_H .

4.12 Порівняти коефіцієнти підсилення каскадів з динамічним і резистивним навантаженням.

4.12.1 Відкрити файл «ДК рез» (рис. 7.8).

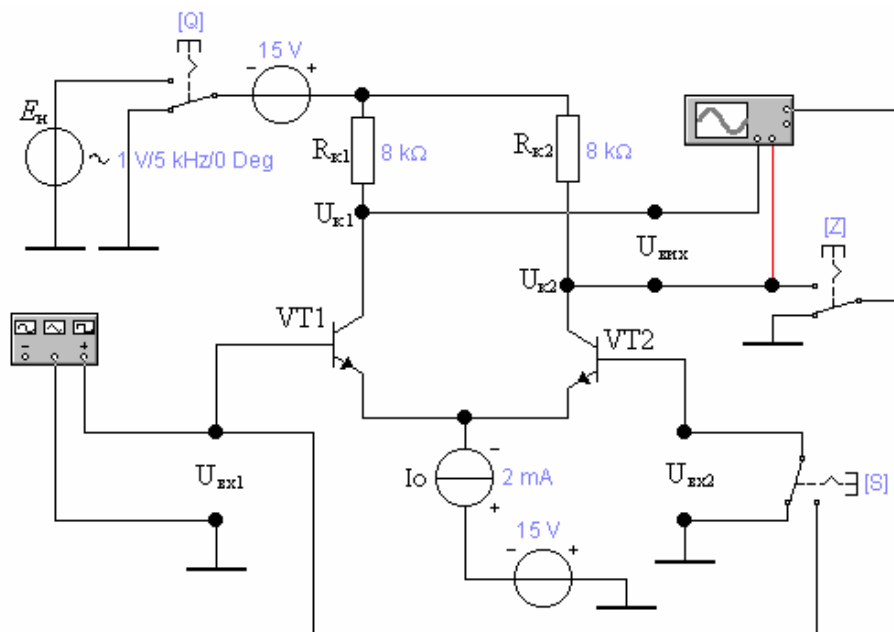


Рисунок 7.8 — Схема дослідження диференційного каскаду з резистивним навантаженням

- 4.12.2 Підімкнути вхід осцилографа до виходу $U_{\text{вих}}$ переведенням перемикача Z у верхнє положення клавішею Z .
- 4.12.3 Розрахувати коефіцієнт підсилення $K_{\text{рез}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}$ за методикою п. 4.9.
- 4.12.4 Порівняти $K_{\text{дин}}$ та $K_{\text{рез}}$ і зробити висновки щодо їхніх величин.

4.13 Дослідити придушення синфазних сигналів.

- 4.13.1 Відкрити файл «ДК рез» (рис. 7.8).
- 4.13.2 Виконати дії за пп. 4.2 ... 4.5.
- 4.13.3 Відімкнути джерело наведень $E_{\text{н}}$ переведенням перемикача Q у нижнє положення клавішею Q .
- 4.13.4 Підвести диференційні сигнали закорочуванням входу $U_{\text{вх2}}$ перемикачем S (ліве положення) за допомогою клавіші S .
- 4.13.5 Зарисувати в **масштабі** осцилограми (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідні: $U_{\text{к1}}$; $U_{\text{к2}}$ та $U_{\text{вих}}$), звертаючи увагу на **фазу** сигналів. Напруги $U_{\text{к1}}$ та $U_{\text{к2}}$ спостерігаються у нижньому положенні перемикача Z , а $U_{\text{вих}}$ – у верхньому.
- 4.13.6 Підвести синфазні сигнали з'єднанням входу $U_{\text{вх2}}$ зі входом $U_{\text{вх1}}$ перемикачем S (праве положення) за допомогою клавіші S .
- 4.13.7 Виконати п. 4.13.5.
- 4.13.8 Зробити висновки щодо:
- 3 підсилення (придушення) диференційних чи синфазних сигналів;
 - 3 співвідношення між амплітудами вихідних напруг плечей ($U_{\text{к1}}$; $U_{\text{к2}}$) та каскаду ($U_{\text{вих}}$).

4.14 Дослідити придушення наведень.

- 4.14.1 Відкрити файл «ДК рез» (рис. 7.8).
- 4.14.2 Виконати дії за пп. 4.2 ... 4.5.
- 4.14.3 Підімкнути джерело наведень $E_{\text{н}}$ переведенням перемикача Q у верхнє положення клавішею Q .
- 4.14.4 Виконати п. 4.13.5.
- 4.14.5 Зробити висновки щодо придушення наведень диференційним каскадом та його плечима.

5 Ключові питання

- 5.1 Принцип дії каскадів з динамічним та резистивним навантаженням.
- 5.2 Зіставлення коефіцієнтів підсилення каскадів з динамічним і резистивним навантаженням.

- 5.3 Вплив опору навантаження на вихідну напругу.
- 5.4 Придушення наведень диференційним каскадом.
- 5.5 Підсилення (придушення) диференційних чи синфазних сигналів.

Лабораторна робота № 8

Дослідження лічильників імпульсів та подільників частоти

1 Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1 Скласти схеми лічильників імпульсів.
- 1.2 Скласти схеми подільників частоти.
- 1.3 Експериментально визначати місткість лічильників.
- 1.4 Експериментально визначати коефіцієнт поділення частоти.
- 1.5 Змінювати місткість лічильників.
- 1.6 Змінювати коефіцієнт поділення частоти.

2 Ключові положення

Лічильники являють із себе каскадне з'єднання тригерів з лічильним запуском.

Число станів тригерів (включаючи нульовий) є основним параметром лічильника і носить назву *коефіцієнта перерахунку* K_d або *модуля лічби* M .

У загальному виді модуль лічби визначається формулою як

$$M = 2^m, \quad (2.1)$$

де m – число двійкових розрядів лічильника, тобто число тригерів.

Якщо кількість імпульсів, які надійшли до входу лічильника, дорівнюється M , він повертається у початковий стан, утворюючи при цьому імпульс переповнення.

Найпростішим лічильником є один тригер ($m = 1$) з лічильним входом, який виконує лічбу імпульсів за модулем $M = 2^1 = 2$, тобто він має два стани 0 та 1, які змінюються по чергово під дією вхідного сигналу.

Чотири тригери забезпечують модуль лічби $M = 2^4 = 16$ і т.д.

Місткість лічильника, тобто максимальне його показання, становить

$$C = M - 1 \quad (2.2)$$

Для виявлення вмісту лічильника використовують індикатори. Лічильники індикують по-тетрадно, тобто по чотири тригери. Тоді місткість 4-розрядного лічильника становитиме 15. При цьому зручно користуватись *шістнадцятиричною системою числення*. В цій системі числа від 0 до 10 збігаються з десятичною системою, а починаючи з 10 мають наступні значення (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Система числення	
Десяткова	Шістнадцятирічна
10	A
11	B
12	C
13	D
14	E
15	F

В даній роботі досліджуються двійковий лічильник та подільник частоти. Визначаються модуль лічби, місткість, коефіцієнт перерахунку, коефіцієнт поділення частоти.

3 Домашнє завдання

- 3.1 Скласти схему дослідження двійкового лічильника з запуском одиночними імпульсами та серією імпульсів.
- 3.2 Скласти схему дослідження подільника частоти.
- 3.3 Навести очікувану діаграму роботи для 4-розрядного двійкового подільника частоти (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідні напруги кожного тригера). Розташування вхідної та вихідних напруг на **різних** сторінках або в **різних** стовпчиках **не дозволяється**.
- 3.5 Заготовити форму таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Кількість імпульсів	Показання лічильника в системі числення		
	Десяткова	Двійкова	Шістнадцятирічна
0			
1			
2			
:			
:			
16			

4 Лабораторне завдання

- 4.1 **Визначити код, в якому працює лічильник, його місткість та модуль лічби**

- 4.1.1 Відкрити файл «Лічильник» (рис. 4.1).

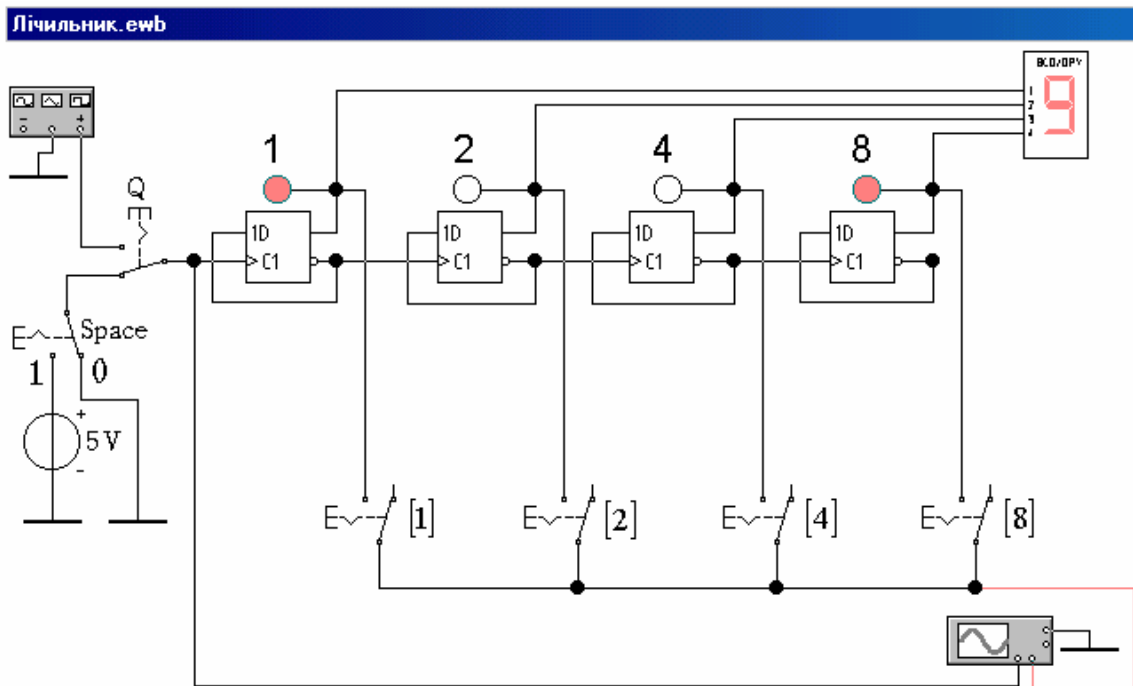


Рисунок 4.1

4.1.2 Увімкнути схему, для чого встановити курсор на цифру 1 тумблера, розташованого зверху праворуч, і клацнути лівою клавішою миші.

Мають світитися червоним кольором індикатори.

4.1.3 Розімкнути всі ключі [1], [2], [4], [8] однойменними клавішами.

4.1.4 Підімкнути генератор одиноких імпульсів (вихід клавіші “Space”) до входу лічильника клавішою Q.

4.1.5 Встановити нульовий вміст лічильника подачею одиноких імпульсів до входу лічильника клавішою “Space” (пропуск), поки на цифровому індикаторі з’явиться цифра “0”, а двійкові індикатори 1, 2, 4, 8 загаснуть.

4.1.6 Подаючи до входу лічильника одинокі імпульси клавішою “Space” (пропуск) і підраховуючи їхню кількість, заповнити таблицю 3.1.

Тут двійкова індикація здійснюється *світленням* індикаторів 1, 2, 4, 8, якщо стан тригерів *одиничний*, та відсутністю світлення в їхньому нульовому стані.

4.1.7 Зробити висновки щодо:

- коду, в якому працює лічильник;
- модуля лічби;
- місткості лічильника;
- сигналу, яким запускається лічильник (фронтом чи зрізом).

4.2 Визначити коефіцієнти поділення частоти

4.2.1 Виконати маніпуляції за п.п. 4.1.1 – 4.1.3.

4.2.2 Підімкнути функціональний генератор до входу лічильника клавішою Q.

4.2.3 Розкрити генератор, для чого встановити курсор на мале його зображення (рис. 4.2) і двічі клацнути лівою клавішою миші.



Рисунок 4.2

З'явиться передня панель генератора сигналу (рис. 4.3).

4.2.4 У віконці **Frequency** генератора встановити розмірність *kHz* і частоту вхідної напруги *2 kHz*. У віконці **Amplitude** генератора встановити розмірність *V* і амплітуду вхідної напруги *2,5 V*.

4.2.5 Для отримання однополярної напруги встановити у віконці **Offset** генератора *2,5 V*.

4.2.6 На генераторі встановити прямокутну форму сигналу правою верхньою клавішою.

4.2.8 Розкрити осцилограф (рис. 4.4) встановленням на ньому курсора і подвійним клацанням лівою клавішою миші. На екрані з'являться два променя: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.



Рисунок 4.4

Відкрити входи осцилографа клавішами DC, щоб він сприймав постійну складову.

УВАГА !!!

Після роботи з осцилографом або генератором не діє жодна клавіша, якщо верхні смуги на зображеннях цих приладів мають синій колір. Для уведення в дію клавіш треба встановити курсор поза осцилографом та генератором і клацнути лівою клавішою миші. Синій колір має зникнути. Клавіші почнуть діяти.

4.2.9 Підімкнути вихід тригера 8 до входу осцилографа клавішою [8].

4.2.10 Встановити час розгортки у віконці **“Time base”** таким, щоб на екрані спостерігалось не менше одного періоду вихідного сигналу (рис. 4.5).

Примітка: якщо форма вхідного сигналу не прямокутна, то треба вимкнути схему клавішою по п. 4.1.2 і знову вмикнути.

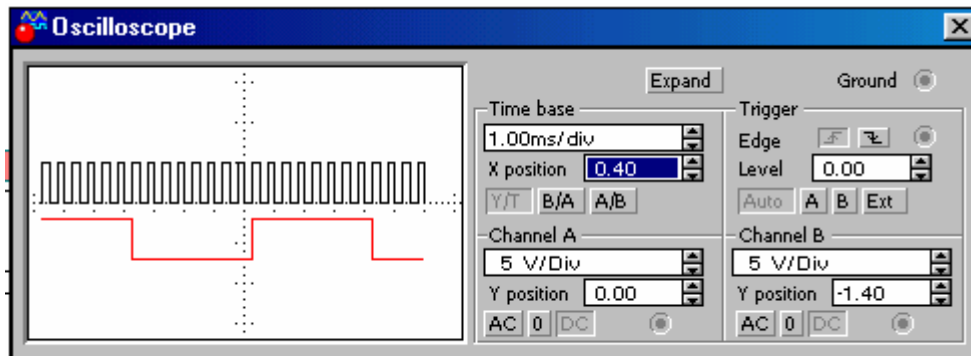


Рисунок 4.5

Для витримки масштаба рекомендується забезпечити нерухомість зображення наступними діями:

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

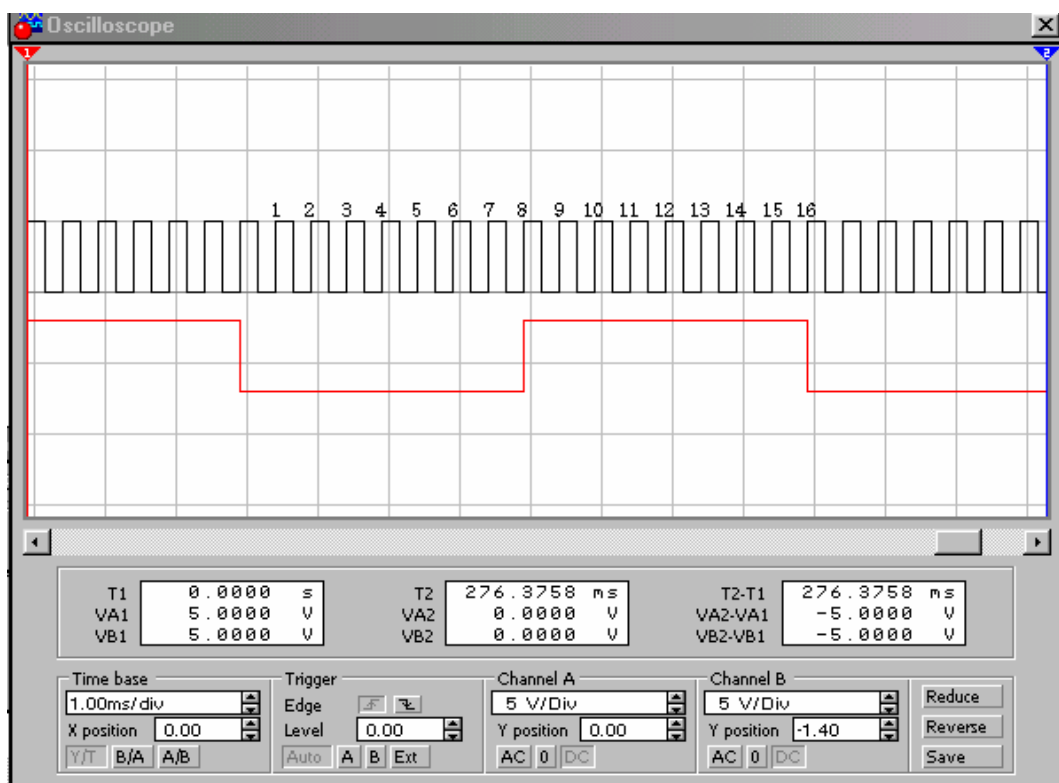


Рисунок 4.6

4.2.11 Зарисувати в **масштабі** діаграми роботи подільника частоти на чотирьох, трьох, двох та одному двійкових розрядах. (**Зверху** вхідний сигнал, **знизу** вихідні сигнали). Розташування вхі-

дної та вихідних напруг на **різних** сторінках або в **різних** стовпчиках **не дозволяється**.

Кількість розрядів вибирається ключами [1], [2], [4], [8].

Попередження: завжди має бути вмикнуто не більш **одного** ключа.

- 4.2.12 Зробити висновки щодо коефіцієнтів поділення частоти подільника на чотирьох, трьох, двох та одному двійкових розрядах.

5 Зміст протоколу

5.1 Виконання домашнього завдання

- 5.1.1 Схема дослідження двійкового лічильника з запуском одиночними імпульсами та серією імпульсів.
- 5.1.2 Схема дослідження подільника частоти.
- 5.1.3 Очікувані в **масштабі** діаграми роботи 4-розрядного двійкового подільника частоти для кожного тригера (**зверху** вхідна напруга, **знизу** – вихідні напруги кожного тригера). Розташування вхідної та вихідних напруг на **різних** сторінках або в **різних** стовпчиках **не дозволяється**.

5.2 Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1 Таблиця 3.1.
- 5.2.2 Висновки по п. 4.1.7.
- 5.2.3 Діаграма роботи в **масштабі** подільника частоти на чотирьох, трьох, двох та одному двійкових розрядах. (**Зверху** вхідний сигнал, **знизу** вихідні сигнали). Розташування вхідної та вихідних напруг на **різних** сторінках або в **різних** стовпчиках **не дозволяється**.
- 5.2.4 Висновки по п. 4.2.12.

6 Ключові запитання

- 6.1 Принцип дії лічильника та подільника частоти.
- 6.2 Зв'язок між кількістю двійкових розрядів та місткістю лічильника.
- 6.3 Зв'язок між кількістю двійкових розрядів та коефіцієнтом поділення частоти.

Додаток

Мультиметр

Мультиметр використовується для вимірювання:

- напруги (постійної та змінної);
- струму (постійного та змінного);
- опору;
- рівня напруги в децибелах.

Налаштування мультиметра

Відкрити збільшене зображення мультиметра для чого:

- установити курсор на малому зображенні мультиметра (рис. 1)

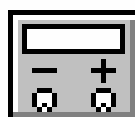


Рисунок 1

- двічі клацнути лівою клавишею миші.

На збільшеному зображенні мультиметра (рис. 2) розміщені усі кнопки керування налаштуванням.



Рисунок 2.

Вибір вимірюваної величини

Установити курсор на одній з чотирьох верхніх кнопок вибору вимірюваної величини за одиницями вимірювання:

- A (струм);
- V (напруга);
- Ω (опір);
- dB (напруга у децибелах).

Клацнути лівою кнопкою миші.

Вибір виду вимірювального сигналу

Установити курсор на одній з двох кнопок вибору виду вимірювального сигналу:

- “~” (змінний);
- “—” (постійний).

Налаштування параметрів мультиметра

Увага! Параметри мультиметра змінюються лише за завданням керівника. Параметри мультиметра повинні мати такі значення, щоб вимірювальний прилад не впливав на роботу схеми.

Установити курсор на кнопку SETTINGS.

Клацнути лівою кнопкою миші. При цьому відкривається вікно налагодження параметрів мультиметра (рис. 3).

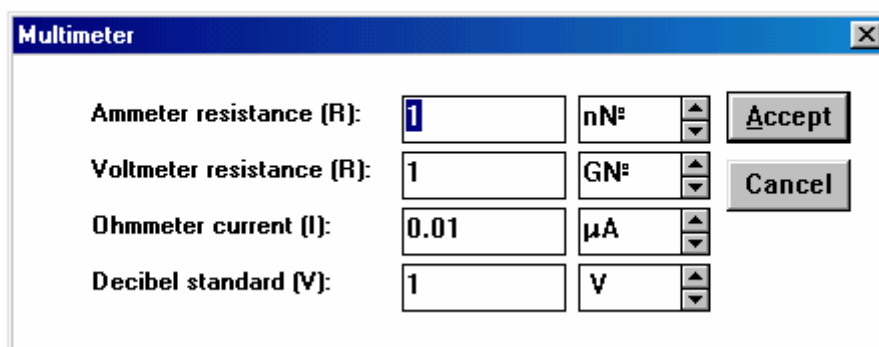


Рисунок 3

До параметрів мультиметра відносяться:

- вхідний опір вольтметра;
- послідовний опір амперметра;
- вимірювальний струм омметра;
- опорна напруга для відліку в децибелах.

Робота з мультиметром

Вимірювання струму

Виконати вибір вимірюваної величини, встановлюючи курсор на кнопку А.

Підімкнути мультиметр послідовно у коло схеми, де треба виконати вимірювання.

Увімкнути схему.

Полічити значення вимірюваного струму у віконці, розташованому на панелі мультиметра.

Якщо треба виміряти струм у другому колі схеми, вимкнути схему, відімкнути мультиметр і підімкнути його послідовно у друге ланцюг. Знову увімкнути схему.

Примітка. Мультиметр можна вмикати лише в одне коло схеми. Якщо треба вимірювати струм одноразово в багатьох колах схеми, треба використовувати амперметр. На відміну від мультиметра амперметр можна вмикати в безліч кіл схеми.

Вимірювання напруги

Виконати вибір вимірюваної величини, встановлюючи курсор на кнопку V.

Підключити мультиметр паралельно ділянці схеми, де треба вимірювати напругу.

Підімкнути схему.

Полічити значення вимірюваної напруги у віконці, розміщеному на панелі мультиметра.

Якщо треба виміряти напругу на другій ділянці схеми, перекомутувати виводи мультиметра до нової ділянки.

Примітка. Мультиметр можна вмикати одночасно до однієї ділянки схеми. Якщо треба вимірювати напругу одноразово на багатьох ділянках, то треба використовувати вольтметри, бо на відміну від мультиметра їх можна вмикати в схему до безлічі ділянок.

Вимірювання опору

Виконати вибір вимірюваної величини, встановлюючи курсор на кнопку Ω .

Виконати вибір виду вимірювального сигналу, встановлюючи курсор на кнопку “—”.

Підімкнути мультиметр паралельно ділянці кола, де треба вимірювати опір.

Підімкнути схему.

Полічити значення опору у віконці, розташованому на панелі мультиметра.

Якщо треба вимірювати опір другої ділянки, треба перекомутувати виводи мультиметра до нової ділянки і знову включити схему.

Примітка. Для виключення помилок при вимірюванні опору, схема повинна мати надійний контакт з корпусом ($\perp$) і не мати контакту з джерелами напруги. Джерела напруги повинні бути вимкнені зі схеми таким чином:

- ідеальне джерело напруги треба замінити розривом кола;
- ідеальне джерело напруги треба замінити на коротко замкнуте коло.

Вимірювання рівня напругу в децибелах

Встановити курсор на кнопку dB.

Підімкнути мультиметр одним кінцем до точки, рівень напруги в якій треба виміряти, а другим – до точки, відносно якої виконується вимірювання.

Увімкнути схему.

Полічити вимірюване значення, яке обчислюється за формулою:

$$B = 20 \lg \frac{|U_{\text{вх}}|}{U_{\text{оп}}}$$

де $U_{\text{вх}}$ – вимірювана напруга;

$U_{\text{оп}}$ – опорна напруга, відносно якій виконується відрахування.

- За замовчуванням опорну напругу встановлено 1В

Осцилограф

Осцилограф, за програмою Workbench, являє собою аналог дво-променевого запам'ятовувального осцилографа і має дві модифікації: просту та складну.

Складна модифікація за своїми властивостями наближається до кращих цифрових запам'ятовувальних осцилографів. Але складна модель займає багато місця на робочому столі, тому рекомендується починати дослідження простою модифікацією, а складну модель використовувати лише для докладного дослідження процесів.

Осцилограф можна підмикати до працюючої схеми, під час роботи схеми переставляти виводи до других точок. Зображення на екрані осцилографа змінюється автоматично.

На схемі завжди показано мале зображення осцилографа (єдине для обох модифікацій рис. 4).

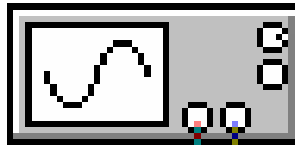


Рисунок 4

На цьому зображенні існують чотири вхідних зажимів:

- верхній правий – загальний;
- нижній правий – синхронізація.

Обидва нижні зажими являють собою відповідно вхід каналу А (channel A) і вхід каналу В (channel B), якщо лічити зліва направо.

Примітка. З'єднання вхідних зажимів осцилографа з точками схеми можна виконувати при малому його зображенні.

Настроювання осцилографа

Відкрити збільшене зображення осцилографа для чого:

- встановити курсор на малому зображенні осцилографа (рис. 4);
- двічі клацнути лівою кнопкою миші. На збільшеному зображенні осцилографа (рис. 5) розміщено чотири поля керування.

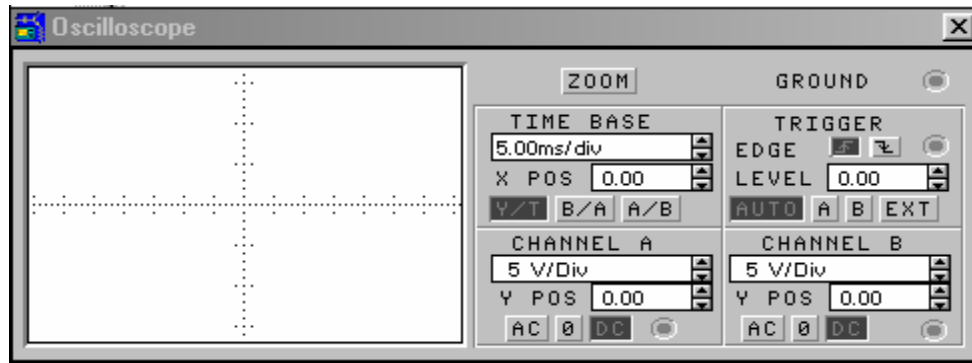


Рисунок 5

- TIME BASE – поле керування горизонтальним розгорненням або масштабом часу;
- TRIGGER – поле керування синхронізацією;
- CHANNEL A – поле керування каналом А;
- CHANNEL B – поле керування каналом В.

Настроювання масштабу часу (TIME BASE)

Масштаб часу задається в с/дел (S/div), мс/дел (ms/div), нс/дел (ns/div).

Величина однієї поділки (по горизонталі) може бути встановлена від 0,1 нс до 1с.

Встановити курсор на кнопках ($\uparrow$), або ($\downarrow$), які розмішені на праворуч на верхньому віконці поля TIME BASE.

Клацанням лівої кнопки миші можна дискретно на один крок збільшувати ($\uparrow$) або зменшувати ($\downarrow$) масштаб.

Порахувати значення встановленого масштабу часу у названому віконці.

Примітка. Щоб отримати зручне зображення на екрані осцилографа встановити масштаб часу таким чином, щоб ціна двох поділок на горизонтальній осі приблизно дорівнювала величині, зворотно пропорційній частоті досліджуваного сигналу, або складала б один період сигналу.

Наприклад, якщо досліджений сигнал має частоту 1кГц, треба встановити масштаб часу 0,05 ms/div.

Налаштування фазового зсуву або початку осцилограми по горизонтальній осі

Встановити курсор на кнопках ($\uparrow$) або ($\downarrow$), які розміщені праворуч у другому (зверху) віконці поля TIME BASE.

Клацанням лівої кнопки миші можна дискретно на один крок збільшувати ($\uparrow$) або зменшувати ($\downarrow$) фазовий зсув.

Полічити числове значення фазового зсуву у відповідному віконці.

Налаштування виду залежності зображеного сигналу

Вид зображеного сигналу встановлюється за допомогою однієї з трьох кнопок, розміщених внизу поля TIME BASE: V/T; A/B; B/A.

Якщо вибрати кнопку V/T, то по вертикалі осцилограми відкладається напруга, а по горизонталі – час.

При виборі кнопки A/B по вертикалі відкладається напруга на виході каналу A, а по горизонталі напруга на вході каналу B.

При виборі кнопки B/A – навпаки: по вертикалі – напруга на вході каналу B, а по горизонталі – напруга на вході каналу A.

Примітка. В режимах A/B або B/A можна досліджувати фігури Лісажу, петлі гістерезису тощо.

Установити курсор на одну з трьох кнопок V/T; A/B; B/A. Клацнути лівою кнопкою миші.

Налаштування режимів роботи каналів A і B(channel A, channel B), Налаштування режимів роботи каналів A і виконується окремо.

Установити масштаб вертикальної осі X, для чого:

Установити курсор на кнопку ($\uparrow$) або ($\downarrow$), які розміщено у верхньому віконці.

Клацанням лівої кнопки миші можна дискретно на один крок збільшувати ($\uparrow$) або зменшувати ($\downarrow$) масштаб від 10 mv/div до 5kv/div.

Установити зсув осцилограми по осі X догори або додолу.

Установити курсор на кнопку ($\uparrow$) або ($\downarrow$), які розміщені у другому (зверху) віконці YPOS.

Клацанням лівої кнопки миші можна дискретно на один крок збільшувати ($\uparrow$) або зменшувати ($\downarrow$) зсув.

Установити режим роботи осцилографа по входу.

Режим роботи по входу встановлюється за допомогою однієї з трьох кнопок: AC; O; DC.

Кнопка AC реалізує роботу осцилографа з закритим входом, коли на вхід проходить лише постійна складова сигналу.

При натисканні на кнопку DC осцилограф переходить в режим з відкритим входом. В цьому режимі на вхід осцилографа проходять як постійна, так і змінна складові сигналу.

Кнопка O підмикає вхід осцилографа до загального виводу, що дозволяє визначити положення нульової відмітки по горизонтальній осі Y.

Установити курсор на одну з трьох кнопок AC; O; DC.

Клацнути лівою кнопкою миші.

Настроювання синхронізації (TRIGGER)

Установити мить запуску осцилографа за фронтом (кнопка $\uparrow$), або зрізом (кнопка $\downarrow$) сигналу.

Установити курсор на одну з двох кнопок, розміщених в рядку EDGE.

Клацнути лівою кнопкою миші.

Установити рівень, при збільшенні якого відбувається запуск осцилографа.

Установити курсор на одну з двох кнопок ($\uparrow$) або ($\downarrow$), розміщених в рядку LEVEL.

Клацанням лівої кнопки миші можна дискретно (максимум на три ділення) зсунути рівень догори ($\uparrow$) або додолу ($\downarrow$).

Установити режим синхронізації.

Режим синхронізації встановлюється за допомогою чотирьох кнопок AUTO, A, B, EXT.

Кнопка AUTO встановлює автоматичний режим синхронізації, коли запуск осцилограми виконується автоматично при підімкненні осцилографа до схеми. Коли “промінь” доходить до кінця екрана, осцилограма знову виписується з початку екрана.

Кнопки A або B встановлює такий режим, за якого сигналами запуску є сигнал, що надходить на відповідний вхід.

Кнопка EXT (external) встановлює зовнішню синхронізацію. У такому разі сигналом запуску являється зовнішній сигнал, що подається на вхід синхронізації.

Установити курсор на одну з чотирьох кнопок: AUTO, A, B, EXT. Клацнути лівою кнопкою миші.

Примітка. Якщо Ви не бачите сигналу на осцилографі, або сигнал слабкий, треба натиснути на кнопку AUTO.