

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПІДСИЛЮВАЧА НАПРУГИ

Мета роботи: вивчити принцип роботи і характеристики підсилювача напруги на біполярному транзисторі. Ознайомитися з методикою зняття амплітудної і частотної характеристик підсилювача.

Основні теоретичні відомості

Підсилювачем називається пристрій, призначений для посилення вхідних електричних сигналів за потужністю за рахунок перетворення енергії джерела живлення в енергію вихідного сигналу.

Підсилювач включає в себе нелінійний елемент, керований вхідним електричним сигналом, джерело живлення і навантажувальний пристрій з певним опором.

1. Класифікація і характеристики підсилювачів

Класифікація підсилювачів проводиться за різними ознаками:

- за видом сигналу, що підсилюється вони поділяються на підсилювачі гармонійних і імпульсних сигналів;
- за типом сигналу, що підсилюється підсилювачі поділяють на підсилювачі напруги, струму і потужності;
- за діапазоном підсилюваних частот розрізняють підсилювачі постійного струму і підсилювачі змінного струму. У свою чергу підсилювачі змінного струму в залежності від діапазону підсилюваних частот поділяються на підсилювачі низької частоти (ПНЧ), високої частоти (ПВЧ), широкосмугові і виборчі підсилювачі. Останні забезпечують посилення у вузькому діапазоні частот;
- за видом навантаження розрізняють підсилювачі з активним, з активно-індуктивним і ємнісним навантаженням.

Підсилювачі можуть бути однокаскадними і багатокаскадними з гальванічним, ємнісним і індуктивним зв'язком. Залежно від режиму роботи можна виділити два класи підсилювачів: підсилювачі з лінійним режимом роботи і підсилювачі з нелінійним режимом роботи.

Основними характеристиками будь-якого підсилювача є:

- *амплітудна характеристика*, яка представляє собою залежність вихідної напруги підсилювача від вхідної $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$ (рис.6.1). Вона дозволяє визначити динамічний діапазон вхідного сигналу для забезпечення роботи з мінімальними нелінійними спотвореннями. Для лінійних підсилювачів це пряма, що проходить через початок координат;

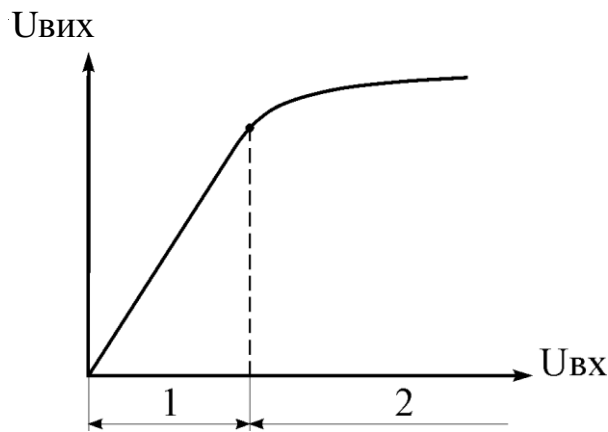


Рисунок 6.1 – Амплітудна характеристика підсилювача

– амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) відображає залежність амплітуди вихідного сигналу від частоти $U_{\text{вих}} = f(\omega)$ (рис.6.2). У реальних підсилювачах через наявність паразитних ємностей і індуктивностей різні частоти посилюються неоднаково;

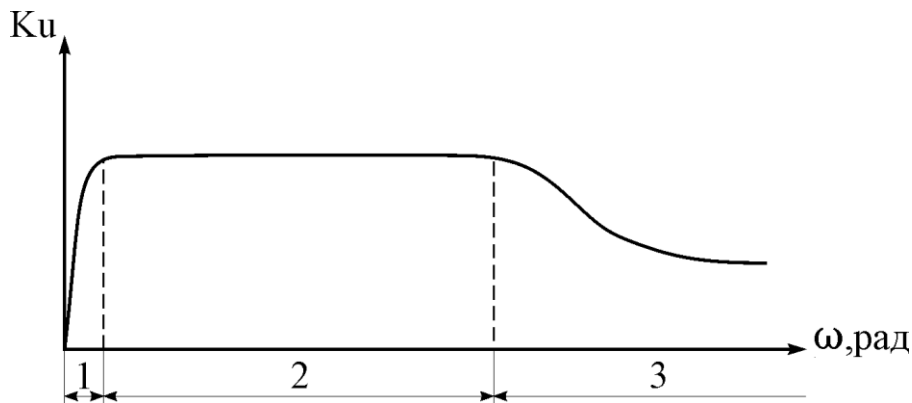


Рисунок 6.2 – Амплітудно-частотна характеристика підсилювача

– фазо-частотна характеристика (ФЧХ) відображає залежність кута зсуву фази, вихідного сигналу по відношенню до фази вхідного сигналу, від частоти сигналу $\varphi = f(\omega)$ (рис.6.3).

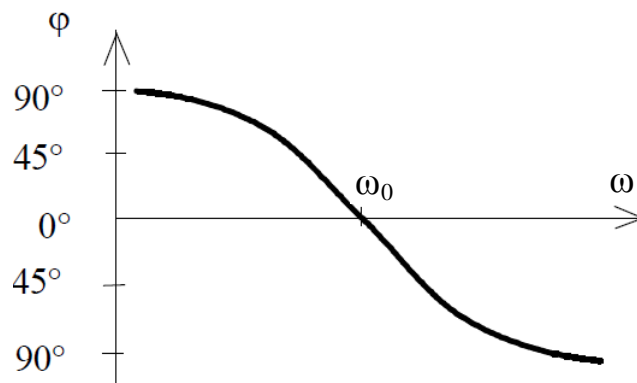


Рисунок 6.3 – Фазо-частотна характеристика підсилювача

2. Принцип роботи підсилювача на біполярному транзисторі

Серед схем транзисторних каскадів найбільшого розповсюдження отримала схема з загальним емітером (ЗЕ) (рис.6.4) за рахунок ряду переваг:

- відносно великий вхідний опір;
- можливість посилення сигналу як по струму, так і по напрузі;
- можливість живлення схеми від одного джерела напруги.

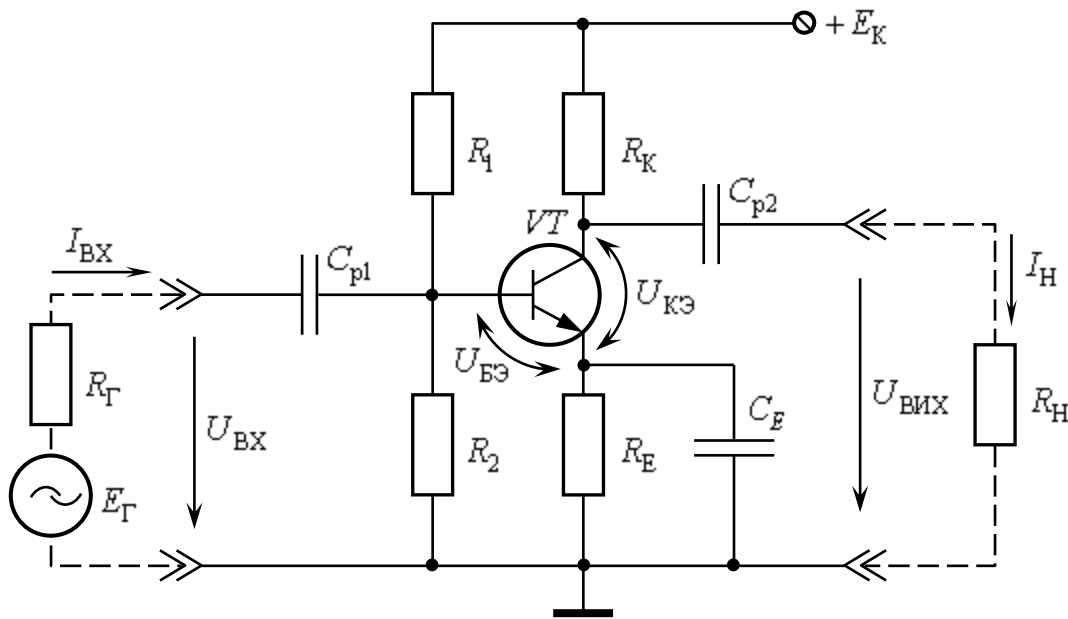


Рисунок 6.4 – Схема транзисторного підсилювача з ЗЕ

Резистивний дільник R_1 , R_2 задає напругу на базі транзистора $U_{Б0}$ (рис.6.5), якщо знехтувати малим струмом бази то можна записати

$$U_{Б0} = \frac{E_K}{R_1 + R_2} R_2.$$

При цьому напруга зсуву $U_{зс}$, яке забезпечує роботу транзистора в режимі спокою (під час відсутності вхідного сигналу) і визначає клас роботи підсилювача, визначається виразом

$$U_{зс} = U_{БЕ0} = U_{Б0} - I_{Е0} R_E.$$

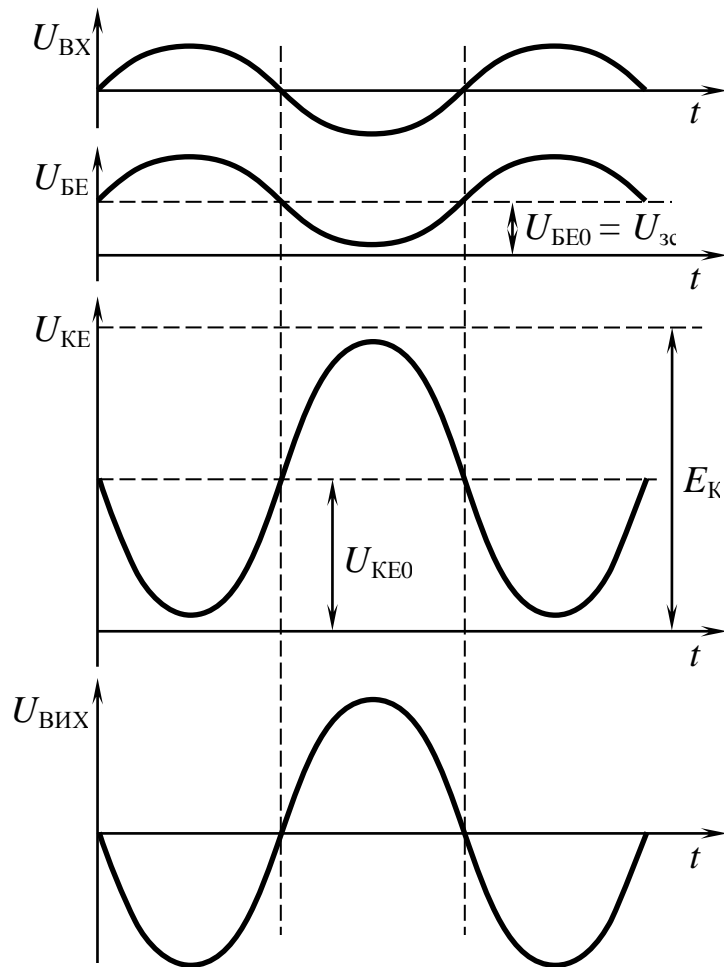


Рисунок 6.5 – Сигнали напруги, що діють в підсилювачі

Елементи схеми R_1 , R_2 , R_E , C_E створюють негативний зворотний зв'язок (НЗЗ) по постійному струмі, який забезпечує температурну стабілізацію робочої точки. Якщо в результаті нагрівання транзистора струм колектора I_{K0} отримує деяке позитивне прирощення, то таке ж прирощення отримає і струм емітера, оскільки $I_{E0} = I_{K0} + I_{B0} \approx I_{K0}$. Падіння напруги на резисторі R_E збільшиться, в результаті напруги U_{BE0} зменшиться, що призводить до зменшення I_{K0} .

Розподільний конденсатор C_{p1} запобігає потраплянню в коло бази транзистора VT постійної складової вхідного сигналу, яка могла б спотворити режим роботи транзистора за постійним струмом. Крім того цей конденсатор перешкоджає протіканню постійного струму від джерела живлення E_K через коло джерела вхідного сигналу.

Конденсатор зв'язку C_{p2} на виході підсилювального каскаду забезпечує виділення з колекторної напруги U_{KE} змінної складової (рис.6.5), яка подається в навантаження R_H або наступний каскад підсилювання напруги (в багатокаскадному підсилювачі).

Вихідна напруга U_{KE} створюється за допомогою резистора в колектор-

ному колі R_K при зміні колекторного струму транзистора. Для колекторного кола підсилювального каскаду відповідно до другого закону Кірхгофа можна записати наступне рівняння електричного стану

$$E_K = U_{KE} + R_K \cdot I_K.$$

В даному випадку мається на увазі, що на частоті сигналу опором емітерний кола можна знехтувати. З рівняння видно, що збільшення струму колектора при відкритті транзистора призводить до зростання падіння напруги на R_K і, відповідно, до зменшення вихідної напруги. Вихідний сигнал знаходиться в протифазі до вхідного, тобто транзисторний підсилювач з *ЗЕ інвертує сигнал*.

Розрахунок транзисторного підсилювального каскаду доцільно виконувати графоаналітичним методом з використанням сімейств вхідних і вихідних характеристик обраного транзистора (рис.6.6).

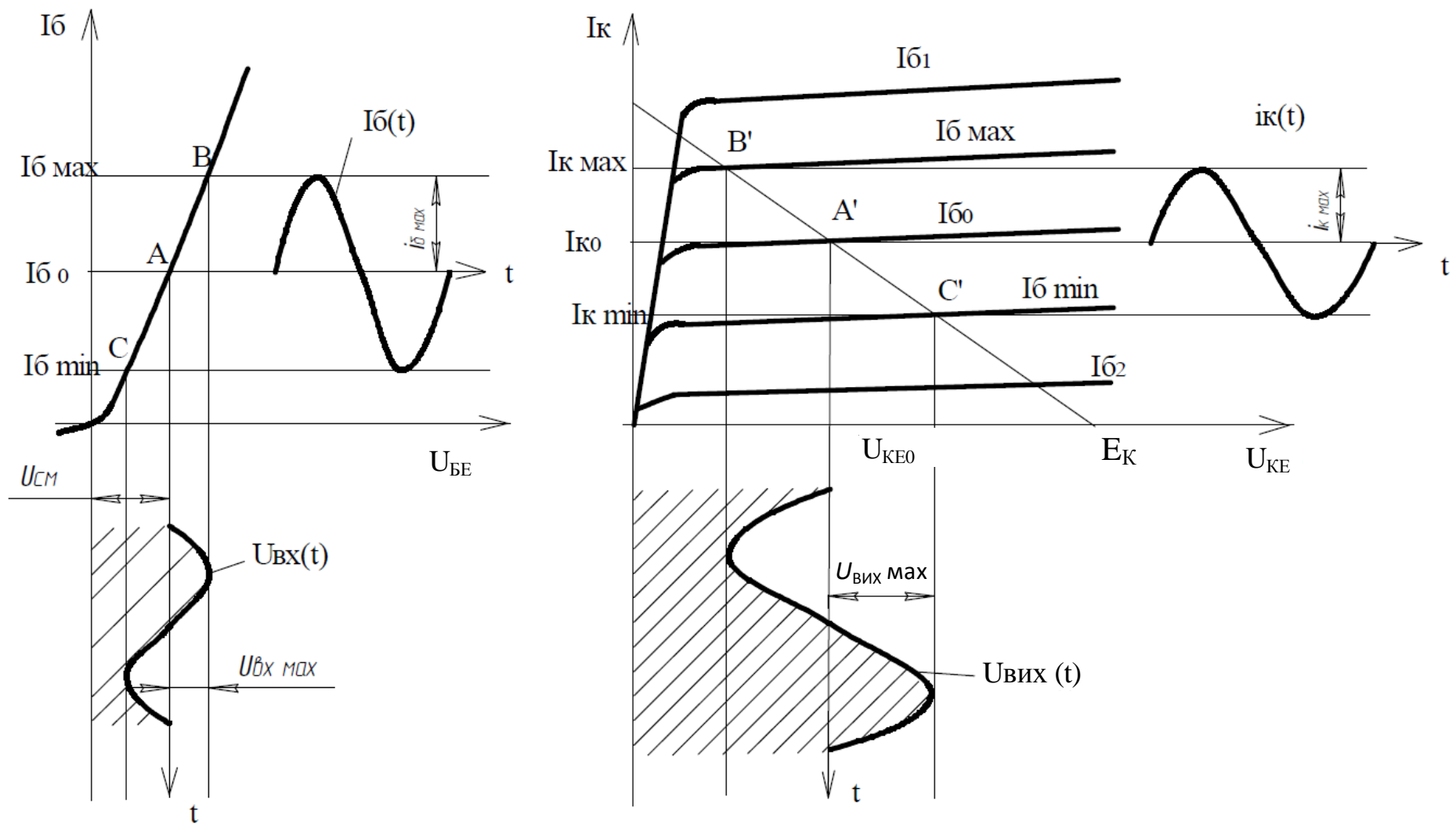


Рисунок 6.6 – Графічний розрахунок транзисторного підсилювача з ЗЕ

Основними параметрами транзисторного підсилювача є:

- коефіцієнт підсилення по напрузі $K_U = \frac{U_{ВИХ}}{U_{ВХ}}$;
- коефіцієнт підсилення по току $K_I = \frac{I_{н}}{I_{ВХ}}$;
- коефіцієнт підсилення за потужністю $K_P = K_U K_I$;
- вхідний і вихідний опори.

3. Спотворення сигналу в підсилювачі

В реальних схемах підсилювачів можуть проявлятися різні невідповідності форми вихідного сигналу вхідному – спотворення. При роботі підсилювачів розрізняють лінійні і нелінійні спотворення, в свою чергу лінійні спотворення діляться на частотні і фазові.

Лінійні спотворення не порушують амплітудних співвідношень в підсилювальному сигналі, тобто амплітудна характеристика не зазнає ніяких спотворень. Лінійні спотворення пов'язані з нерівномірністю амплітудно-частотної характеристики підсилювача і нелінійністю його фазо-частотної характеристики. Тому лінійні спотворення ще називають частотними.

Частотні спотворення викликані зміною коефіцієнта посилення на різних частотах, їх причиною є реактивні елементи (конденсатори, котушки індуктивності, ємність *p-n* переходів, ємність монтажу і т.д.). Частотні спотворення можна оцінити за АЧХ (рис.6.2). При середніх частотах коефіцієнт посилення практично не залежить від частоти (рис.6.2 ділянка 2). В області низьких частот спостерігається «завал» частотної характеристики (ділянка 1), обумовлений опором розподільних конденсаторів, включених послідовно у

вхідне і вихідне коло
$$X_C = \frac{1}{\omega C_p}.$$

Розподільні конденсатори з еквівалентними опорами утворюють *RC*-кола, відомо, що на частоті $\omega_c = \frac{1}{R_{екв} C_p}$ коефіцієнт пропускання *RC*-кола зменшується до 0,707 від свого максимального значення. Для C_{p1} еквівалентний опір визначається сумою вхідного опору підсилювача і опором джерела сигналу ($R_{Г}$), для C_{p2} – сумою вихідного опору підсилювача і опором навантаження ($R_{н}$).

«Завал» АЧХ в області високих частот (ділянка 3) обумовлений шунтуючою дією паразитних ємностей (ємність монтажу, резисторів і інших елементів підсилювача), опір яких при високих частотах зменшується.

Вважається допустимим зменшення коефіцієнта посилення до $0,707K_{\max}$. При цих значеннях визначають граничну нижчу f_n і вищу f_v частоти. Смуга пропускання підсилювача визначається як різниця цих частот $f_v - f_n$.

Фазові спотворення також виникають через наявність реактивних елементів. Вони обумовлені виникненням різних фазових зсувів при посиленні сигналів різних частот. Оцінюють фазові спотворення по ФЧХ (рис.6.3).

При великих вхідних напругах змінні складові струмів виходять за межі лінійних ділянок вольтамперних характеристик транзистора, в результаті чого форма кривої вихідної напруги зазнає значні спотворення. Ці спотворення носять назву нелінійних спотворень. В результаті нелінійних спотворень на виході підсилювача крім корисного сигналу з'являються вищі гармоніки, тобто абсолютно нові коливання, яких не було на вході.

Для оцінки діапазону зміни вхідних напруг, що підсилюються без спотворень, використовують амплітудну характеристику (рис.6.1). З рисунку видно, що при перевищенні вхідним сигналом певного рівня характеристика перестає бути лінійною (ділянка 2).

Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- модуль для дослідження транзисторного підсилювача напруги;
- універсальне джерело живлення;
- комбінований вимірвальний прилад – 2 шт;
- генератор імпульсів FG-32;
- осцилограф GOS-620.

1. Дослідження амплітудної характеристики підсилювача

1.1 Підготувати джерело живлення до роботи:

- ручки регуляторів напруги і струму 1 і 2 каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
- кнопки «СИНХРОНИЗАЦІЯ» встановити в режим «НЕЗАВИСИМО»;
- включити джерело живлення (кнопка «POWER»);
- налаштувати обмежувач струму 1 каналу джерела живлення:
- з'єднати клеми «+» і «-» 1-го каналу провідником;
- повернути ручку «НАПРЯЖЕНИЕ» за годинниковою стрілкою приблизно на 90° ;
- перемикач індикатора встановити в положення «AMP»;
- ручкою «ТОК» виставити обмеження струму 0,1 А;
- зняти провідник і повернути перемикач індикатора в положення «VOLT»;
- ручкою «НАПРЯЖЕНИЕ» встановити напругу живлення 15 В;
- вимкнути джерело живлення (кнопка «POWER»).

1.2 Підготувати генератор імпульсів FG-32 до роботи:

- за допомогою ручки «FUNCTION» встановити синусоїдальну форму імпу-

льсу;

– за допомогою ручок «RANGE» і «FREQUENCY» встановити частоту 1000 Гц;

– встановити мінімальну амплітуду повернувши ручку «AMPL» проти годинникової стрілки до упору (ручка «OFFSET» в натиснутому положенні).

1.3 Налаштувати осцилограф GOS-620 на двоканальний режим вимірювання з відкритим входом.

1.4 Зібрати схему для дослідження роботи підсилювача напруги (рис.6.7).

Вихід генератора імпульсів підключити до входу схеми $U_{вх}$, 1й канал осцилографа підключити до входу схеми $U_{вх}$, а 2й – до виходу $U_{вих}$. Включити прилади.

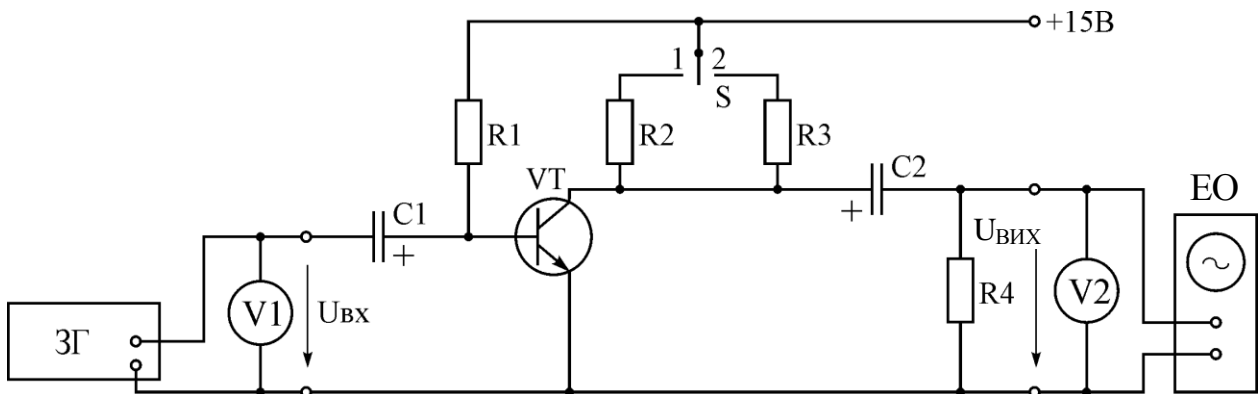


Рисунок 6.7 – Схема для дослідження роботи підсилювача напруги

1.5 Встановити перемикач S в положення $R2$.

1.6 За допомогою ручки «AMPL» генератора сигналів встановлювати амплітуду вхідного сигналу $U_{вх}$ згідно таблиці 6.1. Виміряти і занести в таблицю 6.1 відповідні значення амплітуди сигналу на виході підсилювача $U_{вих}$.

1.7 Встановити перемикач S в положення $R3$. Повторити вимірювання згідно пункту 1.6.

Таблиця 6.1

Результати дослідження амплітудної характеристики підсилювача

$U_{вх}$, мВ	5	10	20	30	40	50	R_K , кОм	$f_{вх}$
$U_{вих1}$, В							$R_2 =$	1000Гц
$U_{вих2}$, В							$R_3 =$	

1.8 За даними таблиці 6.1 на одній координатній площині побудувати амплітудні характеристики підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх})$ при різних значеннях опору в колі колектора.

1.9 Для отриманих характеристик визначити діапазон зміни вхідної напруги, в якому відсутні нелінійні спотворення.

2. Дослідження амплітудно-частотної характеристики підсилювача

2.1 За допомогою ручки «AMPL» генератора сигналів встановити амплітуду вхідного сигналу $U_{вх} = 35$ мВ.

2.2 Встановити перемикач S в положення $R2$.

2.3 За допомогою ручок «RANGE» і «FREQUENCY» генератора сигналів встановлювати частоту вхідного сигналу $f_{вх}$ згідно таблиці 6.2. Виміряти і занести в таблицю 6.2 відповідні значення амплітуди сигналу на виході підсилювача $U_{вих}$. При зміні частоти необхідно контролювати і підтримувати амплітуду вхідного сигналу на заданому рівні.

2.4 Встановити перемикач S в положення $R3$. Повторити вимірювання згідно пункту 2.3.

Таблиця 6.2

Результати дослідження АЧХ підсилювача

$f_{вх}$ Гц	3М	1М	500к	300к	100к	50к	10к	1к	100	10	R_K , кОм	$U_{вх}$, мВ
$U_{вих1}$, В											$R_2 =$	35
K_{U1}												
$U_{вих2}$, В											$R_3 =$	
K_{U2}												

2.5 Для кожного виміряного значення $U_{вих}$ визначити коефіцієнт посилення по напрузі K_U . Отримані результати занести в таблицю 6.2.

2.6 За даними таблиці 6.2 на одній координатній площині побудувати АЧХ підсилювача $K_U = f(f_{вх})$ при різних значеннях опору в колі колектора. Частоту сигналу відкладати в логарифмічному масштабі використовуючи вираз $X = \lg f_{вх}$.

2.7 Для отриманих характеристик визначити смугу пропускання підсилювача.

Контрольні питання до роботи

1. Пояснити принцип роботи транзисторного підсилювача з ЗЕ.
2. Яка роль розподільних конденсаторів у вхідному і вихідному колі підсилювача?
3. Як залежить коефіцієнт посилення від величини опору в колі колектора? Чому?
4. Чим обумовлені нелінійні спотворення підсилювача і в чому вони проявляються?
5. Яка причина виникнення частотних спотворень сигналу підсилювача?