

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потебні

Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного
забезпечення

Лабораторна робота №3

з дисципліни Аналогова та оптоелектроніка

Підсилювальний каскад на біполярному транзисторі

Студента (ки) 2 курсу, групи _____

(прізвище та ініціали)

Викладач _____

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

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

м. Запоріжжя – 2024 рік

Мета роботи вивчення принципів побудови підсилювального каскаду і роботи транзистора в каскаді.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Підсилювачі електричних сигналів складаються з декількох рівнів, які здійснюють послідовне посилення і являються каскадами. На рисунку 3.1 показана схема побудови каскаду.

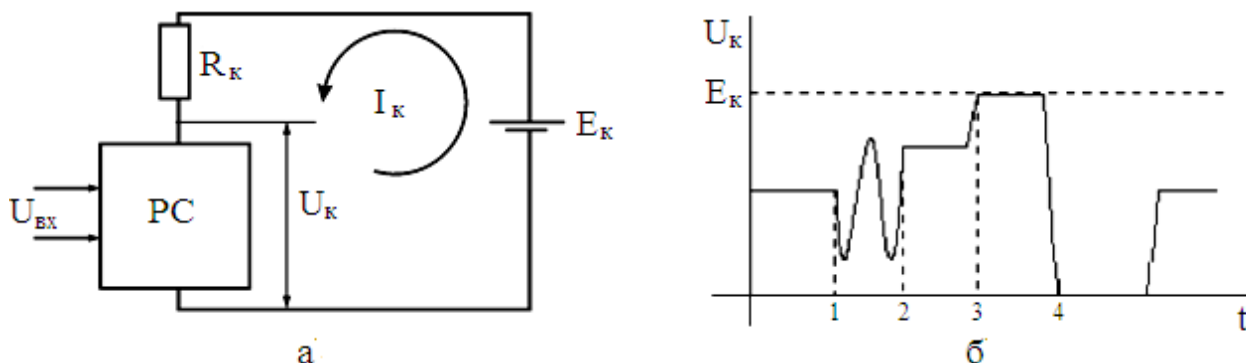


Рисунок 2.1 - Загальна схема (а) і зміна вихідної напруги (б) каскаду

У каскаді включений регулятор струму (РС), який змінює свій опір під дією вхідного сигналу $U_{вх}$. При цьому змінюється струм I_K в схемі. Допустимо, що як РС включений транзистор, тоді напругу на ньому U_K можна знайти у вигляді:

$$U_K = E_K - I_K \cdot R_K \quad (3.1)$$

Це рівняння називається прямою навантаження або лінією навантаження.

Розглянемо зміну напруги (рис. 3.1б). На інтервалі часу 1 вхідний сигнал $U_{вх}$, опір регулятора і струм I_K не змінюються, а напруга U_K залишається постійною. На інтервалі 2 вхідний сигнал і I_K змінюються і відповідно змінюється вихідна напруга U_K . На інтервалі 3 регулятор закривається, струм I_K дорівнює нулю, а вихідна напруга по формулі (3.1) досягає E_K . На інтервалі 4 регулятор відкритий повністю так, що його опір близький до нуля. При цьому і вихідна напруга мала.

Неважко бачити, що струм в схемі залежить не від часу, а від величини вхідного сигналу $U_{вх}$, який є аргументом. Продиференціюємо рівняння (3.1):

$$\frac{dU_K}{dU_{вх}} = -R_K \cdot \frac{dI_K}{dU_{вх}} \quad (3.2)$$

Ліва частина рівняння виражає коефіцієнт посилення по напрузі K_U . Диференціал вхідної напруги, з урахуванням вхідного опору $R_{вх}$ регулятора струму, можна записати у вигляді:

$$dU_{вх} = R_{вх} \cdot dI_{вх}$$

При цьому вираження (3.2) можна привести до вигляду:

$$K_U = -\frac{R_K}{R_{вх}} \cdot \frac{dI_K}{dI_{вх}}$$

Якщо як РС включений транзистор за схемою із ЗЕ, то вхідним струмом є струм бази I_B і відношення диференціалів струмів може відповідно до формули

$$\beta = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_B} \gg 1$$

замінено на коефіцієнт посилення по струму β . Тоді отримане співвідношення наводиться до вигляду:

$$K_U = -\beta \cdot \frac{R_K}{R_{6x}} \quad (3.3)$$

Ця формула отримана без урахування впливу внутрішнього опору джерела сигналу, але вона показує, що для здобуття посилення потрібно мати досить високі і не нульові β і R_K . Наприклад, при будь-якому β , але при $R_K = 0$ посилення відсутнє, і навпаки. Таким чином, підсилювальний каскад є керованим ділянником напруги батареї живлення E_K .

Розглянемо принципову електричну схему підсилювального каскаду (рис. 3.2)

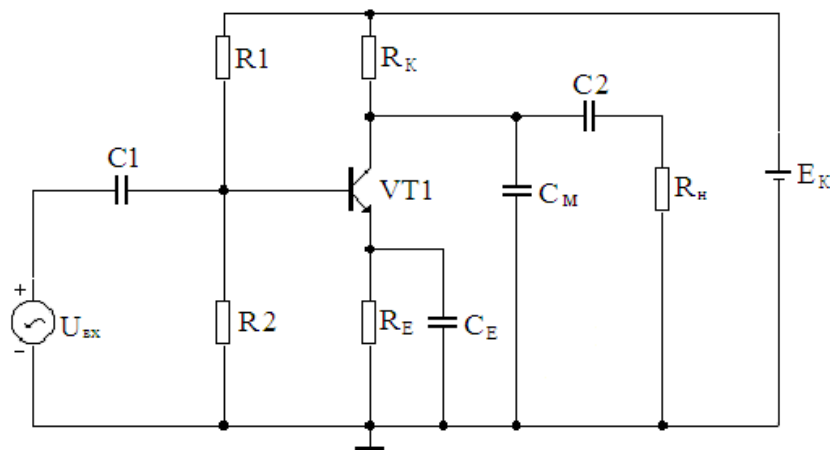


Рисунок 3.2 - Схема каскаду при включенні з ЗЕ

Конденсатори $C1$ і $C2$ не пропускають постійну напругу на вхід схеми і на навантаження R_H і є розділовими. Резистори $R1$ і $R2$ визначають струм спокою бази транзистора і задають режим спокою. Коло R_E , C_E застосоване для стабілізації режиму роботи каскаду. Резистор R_K відповідно до рисунку 2.1а є елементом діляника або навантаженням транзистора; C_M – монтажна ємність. Контур колекторного струму I_K проходить від E_K через R_K , транзистор, R_E до батареї. Всі інші елементи забезпечують підключення і роботу регулятора струму – транзистора до джерела живлення. Змінюючи струм бази можна змінювати струм I_K

$$\Delta I_K = \beta \cdot \Delta I_B \gg \Delta I_B$$

і вихідної напруги U_K (3.1).

Розглянемо графоаналітичний аналіз режиму роботи каскаду (рис. 3.3).

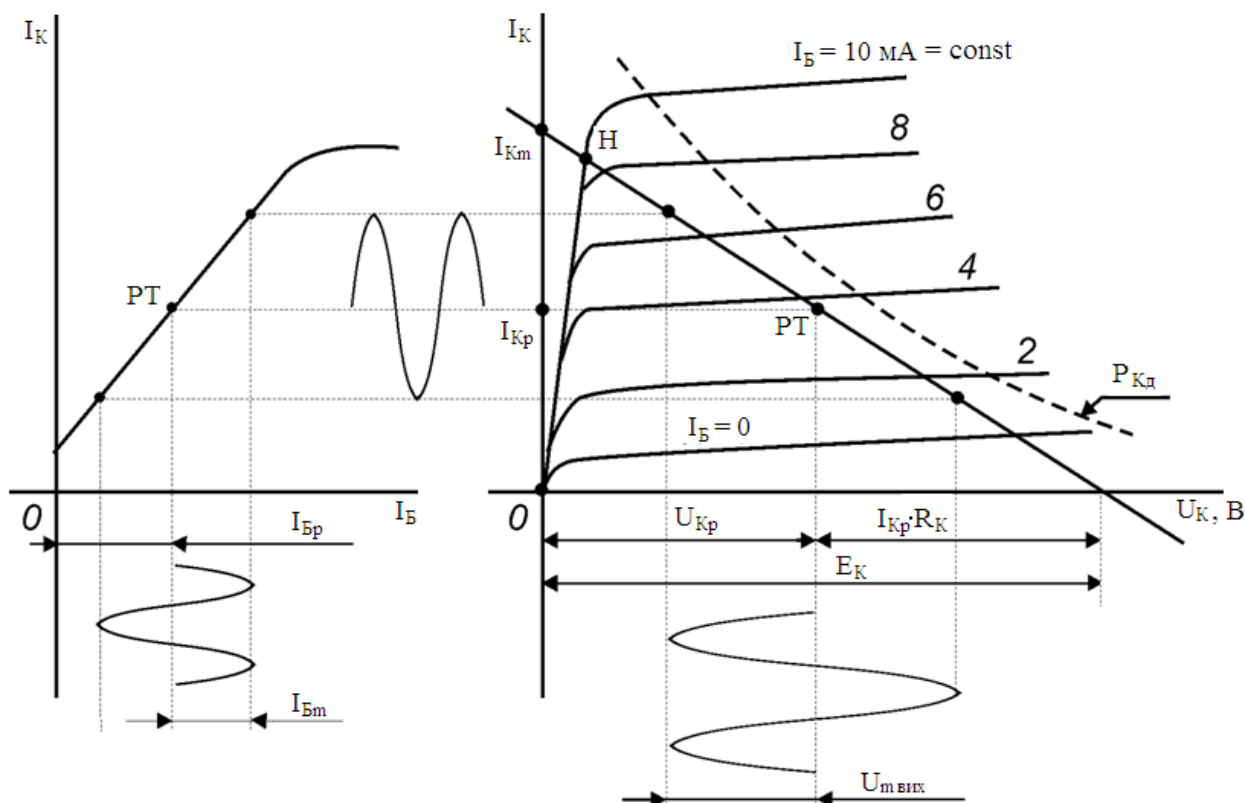


Рисунок 3.3 - Графічна побудова змін струмів і напруги в каскаді

На вихідні характеристики накладається лінія (3.1) навантаження, яка будується по двох точках при відомих E_K і R_K . При $I_K = 0$ слідує $U_K = E_K$. При $I_K = 0$ впливає $U_K = E_K$. Це одна точка. При $U_K = 0$ знаходимо максимальне значення струму колектора:

$$I_{Km} = \frac{E_K}{R_K} \quad (3.4)$$

Після побудови цієї лінії знаходимо точку Н, яка характеризує режим насичення транзистора. По точках пересічення характеристик і прямої навантаження будуюмо перехідну характеристику:

$$I_K = f(I_B) \quad (3.5)$$

Вона на рисунку 3.3 має лінійну ділянку і обмежена струмом насичення.

Розглянемо режим або класи роботи каскаду. У класі А робоча точка (РТ) розташовується на середині робочої ділянки перехідної характеристики. При цьому посилення виконується з мінімальним спотворенням, що показано на рисунку 3.3. Якщо струм бази спокою I_{Br} зробити близьким до нуля, то РТ переміститься на початок координат, транзистор буде відмикатися однією півхвилею напруга і струм спокою колектора I_{Kp} буде близький до нуля. Цей режим називають режимом В і застосовують в потужних каскадах.

Для завдання необхідного режиму роботи слід підібрати величину резистора $R1$ при відомому струмі бази:

$$R1 \approx \frac{E_K}{I_{Kp}} \quad (3.6)$$

Якщо вхідний сигнал перевищує розміри лінійної ділянки характеристики, то вихідна напруга може придбати вигляд імпульсів.

При виборі режиму роботи каскаду необхідно урахувати допустиму потужність розсіювання $P_{K\partial}$ транзистора. На рисунку 3.3 нанесена крива $P_{K\partial}$, отримана розрахунком допустимого струму:

$$I_K = \frac{P_K}{U_K} \quad (3.7)$$

яка обмежує зверху робочу область роботи транзистора. При зменшенні опору R_K струм транзистора зростає і пряма навантаження може потрапити в область перевантаження по потужності.

При моделюванні роботи каскаду доцільно привести розрахунки на постійному струмі за схемою, показаною на рисунку 3.4.

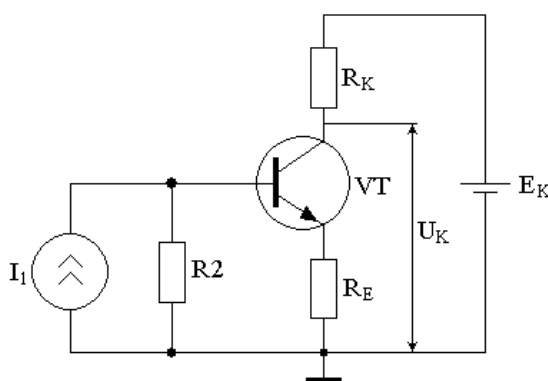


Рисунок 3.4 - Схема моделі на постійному струмі

Після вибору необхідного режиму і струму I_{Bp} , розраховують $R1$ по формулі (3.6) і переходять до моделювання за схемою показаною на рисунку 3.2.

3.2 Опис віртуального стенду EWB

Стенд включає дві схеми, відповідних моделі на постійному струмі (рис. 3.4) і схему на змінному струмі (рис. 3.2).

1. Побудувати схему представлену на рисунку 3.5.

Тут джерело напруги $V2$ з дільником $R1$, $R5$ забезпечує регульовану напругу на базі транзистора. Потенціометр $R1$ управляється з клавіатури шляхом натиснення клавіші «R» для збільшення або комбінацію клавіш «SHIFT + R» для його зменшення.

Вимірювальні прилади дозволяють вимірювати напругу на базі і її струм. Коло живлення колектора також містить вимірювальні прилади.

2. Побудувати схему представлену на рисунку 3.6.

Тут як джерело вхідного сигналу застосований функціональний генератор (вихід прямокутних імпульсів). Для установки параметрів необхідно викликати його лицюву панель подвійним клацанням миші на зображенні приладу.

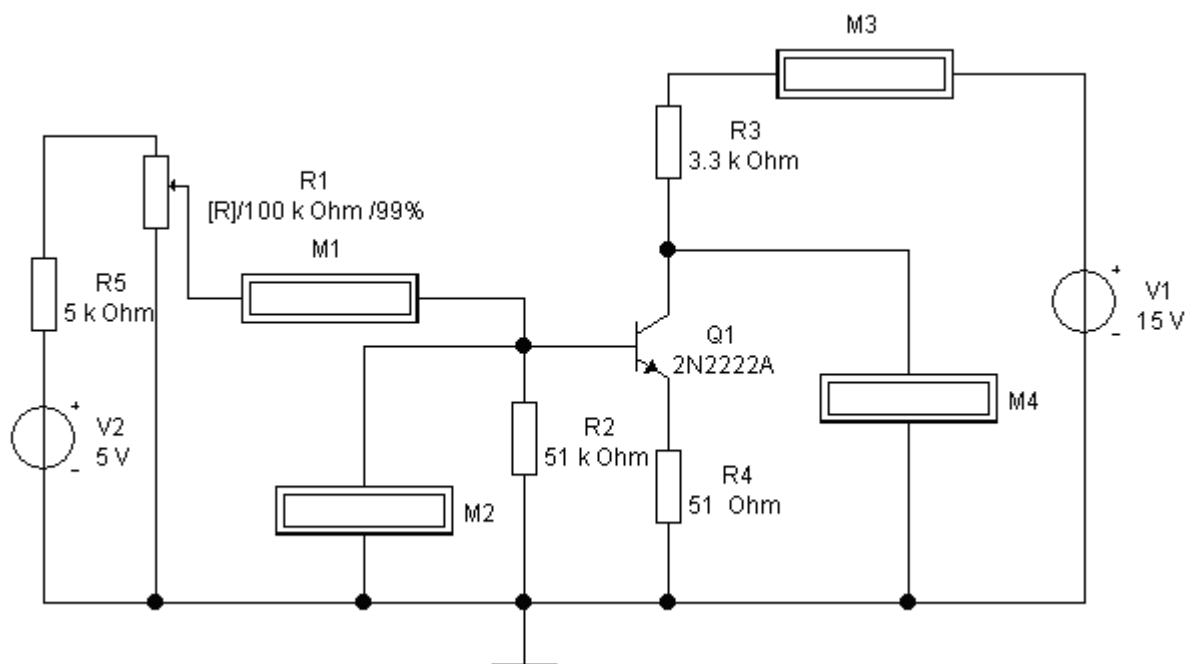


Рисунок 3.5 - Схема каскаду на постійному струмі

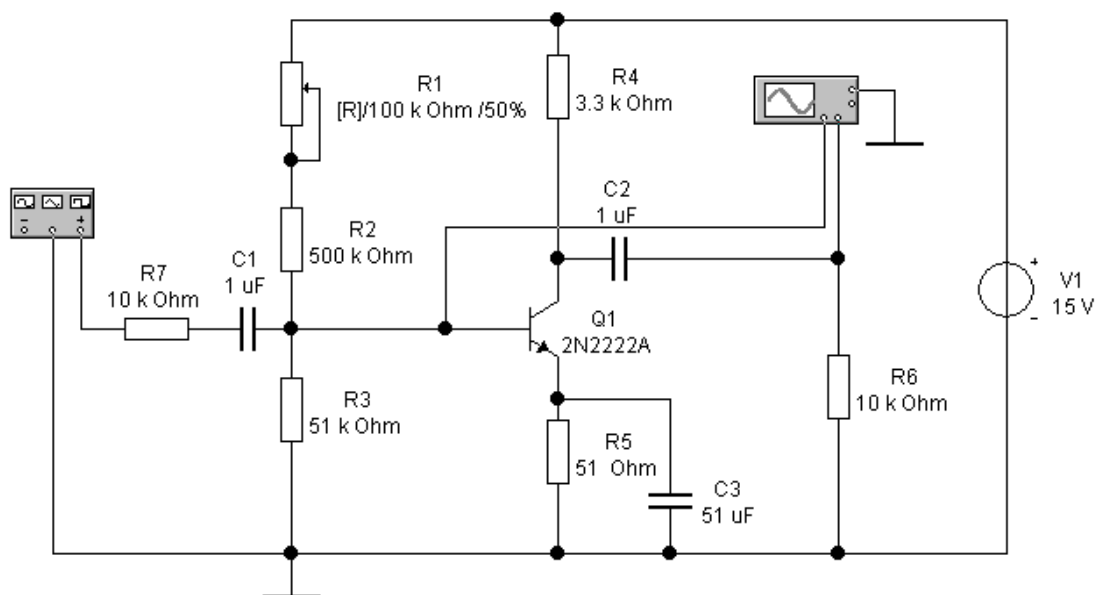


Рисунок 3.6 - Схема підсилювального каскаду

Спостереження сигналів на вході і виході виконується за допомогою двохпроменевого осцилографа. Особливістю схеми є можливість регулювання постійного струму бази за допомогою опору $R1$, шляхом натиснення клавіші «R» для збільшення або комбінацію клавіш «SHIFT + R» для його зменшення. Регулювання резистора $R1$ дозволяє зручно спостерігати форму сигналів при різних класах роботи каскаду. Резистор $R7$ визначає внутрішній опір генератора вхідного сигналу.

3.3 Порядок виконання роботи

Виконання роботи зручно почати з дослідження першої схеми (рис. 3.5) стенду EWB по пункту 2. Потім можна перейти до схеми на рисунку 3.6, переконавшись, що схема працює в класі А. Якщо це не так, необхідно підрегулювати резистор R_1 .

При виконанні роботи можна використовувати вхідний сигнал у вигляді імпульсів або синусоїдальної форми.

1. Завантажити схему (рис 3.5). У режимі аналізу по постійному струму змінювати струм бази і знаходити значення U_K , I_K . При аналізі на DC сигнал подати на базу по рисунку 3.5. При цьому навантаження не впливатиме, оскільки відсічена ємність.

2. Вибрати типа транзистора, наприклад 2N2222. Задати $E_K = 15$ В, $R_K = 2,2 \dots 3,6$ кОм, $R_2 = 51$ кОм, $R_H = 10$ кОм, $C_1 = C_2 = 1,0$ мкФ, $C_E = 51$ мкФ, $R_E = 51$ Ом, $C_M = 20$ пФ. Результати занести в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Режим роботи на постійному струмі

Струм бази, мА						Примітка
Струм колектора, мА						$R_K =$
Напруга U_K , В						

Повторити виміри при інших значеннях R_K , наприклад 1,1; 5,1; 10 кОм. Результати записати, продовживши таблицю 3.1.

3. Вибрати резистор R_1 , забезпечивши клас роботи А. Для цього по таблиці 3.1 при одному з R_K знайти середнє значення струму бази I_{Br} . По формулі (3.6) розрахувати величину R_1 і ввести в модель по рисунку 3.2.

4. У режимі аналізу перехідних процесів спостерігати вхідною синусоїдальний і вихідний сигнали. Розрахувати коефіцієнт посилення по відношенню амплітуду цих сигналів.

5. Змінити R_H на 1,5 ... 2 кОм. Повторити моделювання. Знайти зменшення вихідного сигналу.

3.4 Вміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схеми каскаду.
3. Таблиці вимірів режимів 3.1 і графіки залежностей (3.5), і зміни U_K .
4. Розрахунок струму бази спокою.
5. Осцилограми вхідних і вихідних сигналів.
6. Розрахувати величину зменшення коефіцієнта посилення при зменшеному R_H .
7. Виводи.

3.5 Контрольні питання

1. Принцип побудови підсилювального каскаду.
2. Побудова динамічної перехідної характеристики.
3. Режим насичення.
4. Класи посилення.
5. Вплив R_K на посилення.
6. Вплив навантаження R_H на посилення.