

*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 №5

з дисципліни Аналогова та оптоелектроніка

Дослідження елементної бази підсилювачів змінного струму

Студента (ки) 2 курсу, групи _____

(прізвище та ініціали)

Викладач _____

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

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Мета роботи: ознайомитися з виміром сімейств вольт-амперних характеристик біполярних транзисторів у статичному та динамічному режимах, засвоїти методи розрахунку елементів схем підсилювачів, ознайомитись зі схемами багатокаскадних підсилювачів.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Найбільш важливі показники, які характеризують роботу підсилювального каскаду, можуть бути визначені графічним або аналітичним шляхом.

При графічному розрахунку підсилювача в режимі малого сигналу необхідно побудувати пряму навантаження в сімействі вихідних статичних характеристик транзистора, а також скористатися статичною вхідною характеристикою, знятою (в разі схеми із загальним емітером) при $U_{KE} \neq 0$. Так, наприклад, користуючись вольт-амперними характеристиками, можна визначити наступні величини.

Вхідний опір

$$R_{вх} = \frac{U_{m\ вх}}{I_{m\ вх}} = \frac{U_{BE\ m}}{I_{B\ m}}; \quad (5.1)$$

Коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_U = \frac{U_{m\ вих}}{U_{m\ вх}}. \quad (5.2)$$

де

$$U_{m\ вих} = \frac{U_{KE\ max} - U_{KE\ min}}{2}; \quad (5.3)$$

$$U_{m\ вх} = \frac{U_{BE\ max} - U_{BE\ min}}{2}; \quad (5.4)$$

Коефіцієнт підсилення за струмом

$$K_I = \frac{I_{m\ вих}}{I_{m\ вх}} = \frac{I_{m\ к}}{I_{m\ б}}. \quad (5.5)$$

Коефіцієнт підсилення за потужністю

$$K_P = K_U K_I. \quad (5.6)$$

Корисна вихідна потужність

$$P_{вих} = \frac{1}{2} \frac{U_{m\ вих}^2}{R_{к}}. \quad (5.7)$$

Потужність, яка розсіюється колектором

$$P_{кп} = U_{кп} I_{кп}. \quad (5.8)$$

Потужність, яка споживається підсилювачем

$$P = E_{к} I_{кп}. \quad (5.9)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД)

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P}. \quad (5.10)$$

Знайдемо максимальний ККД. З формул (3.21), (3.23) та (3.24) маємо

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{U_{m\ вих} I_{m\ к}}{E_{к} I_{кп}}. \quad (5.11)$$

З рисунка 3.3 випливає, що

$$U_{m\ вих} \leq \frac{1}{2} E_{к}; \quad (5.12)$$

Приймаючи в останніх формулах рівність, одержуємо

$$\eta_{max} = \frac{1}{4}. \quad (5.13)$$

Таким чином, максимальний ККД для розглянутого режиму підсилювача не може бути більше за 25%.

75% потужності, яка споживається від джерела живлення E_k виділяються на колекторному переході транзистора. Тому припустима потужність транзистора $P_{K_{max}}$ завжди має бути утричі більше за корисну вихідну потужність:

$$P_{K_{max}} \geq 3P_{вих.} \quad (5.14)$$

Для визначення параметрів підсилювального каскаду аналітичним методом слід скористатися його еквівалентною схемою, представленою у вигляді чотириполосника (рис. 5.1).

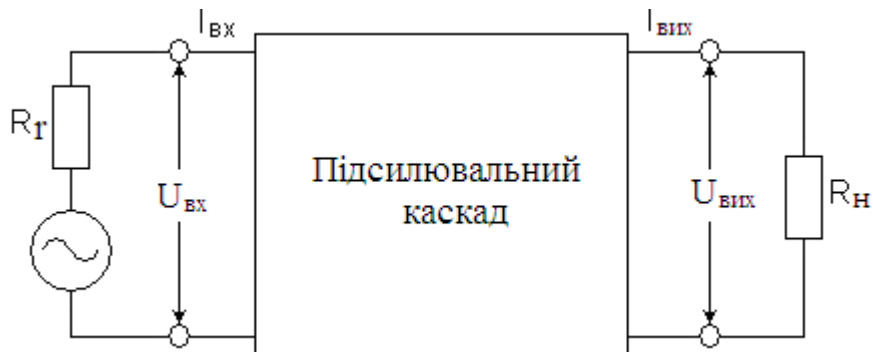


Рисунок 5.1 – Резистивний каскад у вигляді чотириполосника

Під опором R_H розуміють результуюче навантаження транзистора для змінної складової колекторного струму. Практично вона складається з паралельно сполучених опорів: R_K даного каскаду і $R_{вх.под.}$ подальшого каскаду:

$$R_H \approx \frac{R_K \cdot R_{вх.под.}}{R_K + R_{вх.под.}} \quad (5.15)$$

Коефіцієнти посилення резистивного каскаду на транзисторі залежать від опору навантаження так, як це представлено на рисунку 5.2.

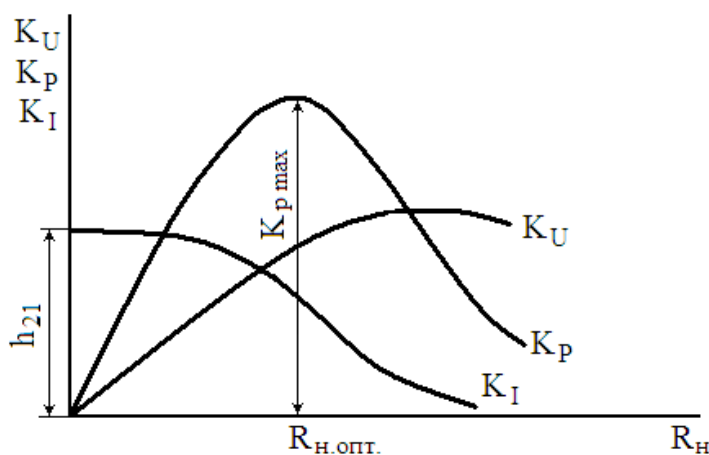


Рисунок 5.2 – Залежність коефіцієнтів посилення резистивного каскаду від опору навантаження

З приведених кривих видно, що для здобуття максимального посилення по потужності необхідно вибрати певний оптимальний опір навантаження транзистора.

Практично в попередніх каскадах резистивних підсилювачів не ставиться завдання максимального посилення потужності вхідних сигналів. Тому зазвичай в таких каскадах $R_H \ll R_{H.опт.}$.

5.2 Опис віртуального стенду EWB

1. Побудувати лабораторний стенд для дослідження статичних характеристик біполярних транзисторів в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 5.3).

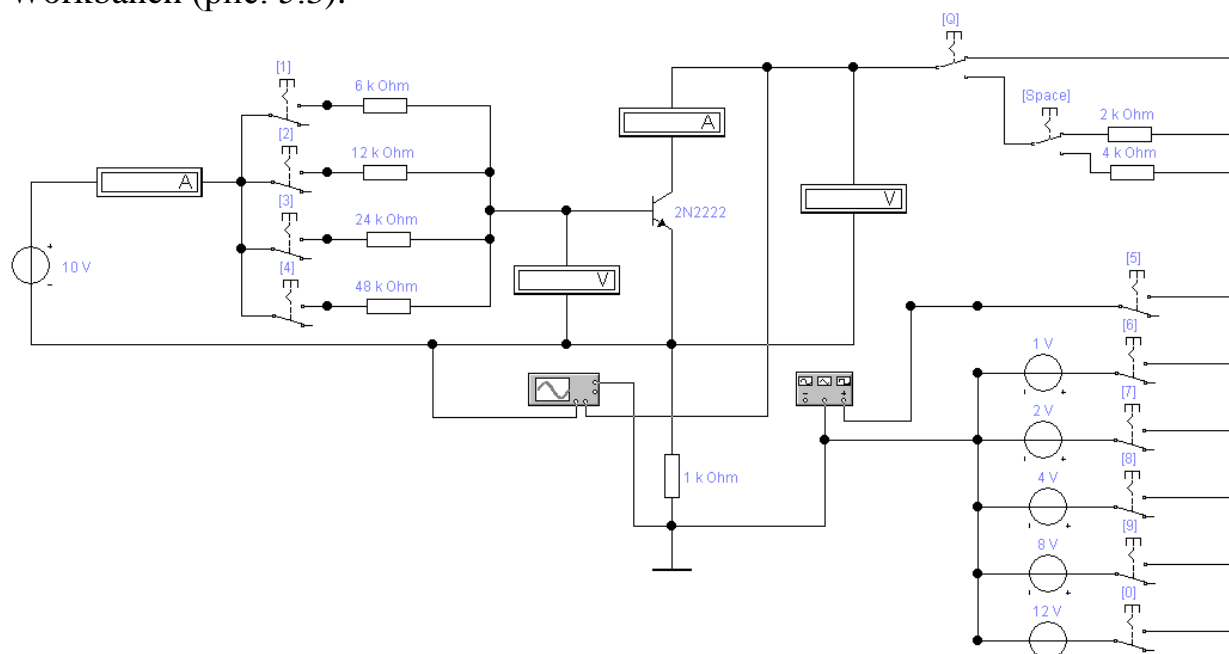


Рисунок 5.3 - Схема для зняття вольт-амперних характеристик біполярного транзистора

5.3 Дослідження статичних і динамічних характеристик

1. Забезпечити статичний режим транзистора. Міняючи струм бази (I_B) в межах від 0 до 500мкА та напругу колектор-емітер (U_{KE}) в межах від 0,05В до 12В, зафіксувати як змінюються значення напруги база-емітер (U_{BE}); струму емітера (I_E) та напруги “колектор-емітер” (U_{KE}). Дані занести в таблицю 5,1, побудовану для кожного значення струму бази (I_B).

Таблиця 5.1 – Експериментальні данні виміру U_{KE} і I_K від значення I_B
 $I_B = \dots\dots, U_{BE} = \dots\dots$

U_{KE} (В)	0,05	0,1	1,0	2,0	4,0	8,0	12,0
I_K (мА)							

2. За отриманими даними побудувати сімейство вольт-амперних характеристик, як показано на рисунку 5.4.

3. За отриманими даними розрахувати:

- порогове значення напруги база-емітер (U_0), при апроксимації $U_{BE} = U_0 + r_{BE} \cdot I_B$, а також величину опору переходу база-емітер (r_{BE}) як

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

на лінійному відрізку залежності $U_{BE} = f(I_B)$;

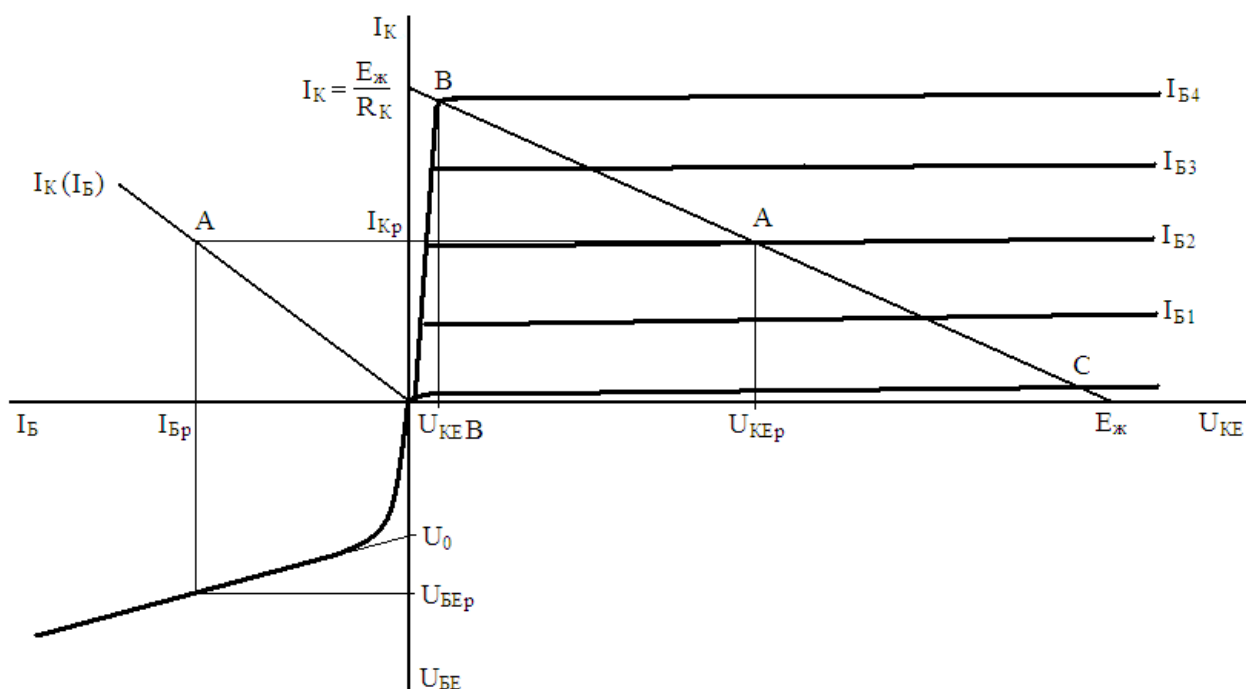


Рисунок 5.4 - Сімейство вольт-амперних характеристик біполярного транзистора

- коефіцієнт підсилення струму

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

при його включенні по схемі з загальним емітером.

4. Забезпечити динамічний режим роботи транзистора з $R_K = 2\text{кОм}$ (Spase). Мінючи I_B від 0 до 500мкА зафіксувати як змінюються значення I_K і U_{KE} . Дані занести в таблицю 5.2. Визначити при яких значеннях I_B транзистор знаходиться у режимі насичення.

Таблиця 5.2 – Експериментальні данні виміру U_{KE} , I_K , I_B

I_B (мА)						
I_K (мА)						
U_{KE} (В)						

5. На графіку (рис. 5.2.), з використанням даних таблиці 5.2. побудувати навантажувальну характеристику динамічного режиму при $R_K = 2\text{кОм}$ і $U_{KE} = 12\text{В}$. Визначити коефіцієнт підсилення по напрузі транзистора у динамічному режимі (в його лінійній зоні) як

$$K_U = \frac{\Delta U_{KE}}{\Delta U_{BE}},$$

де значення ΔU_{KE} і ΔI_B взяті з таблиці. 5.2.

6. Змінити $R_K = 2\text{кОм}$ на $R_K = 4\text{кОм}$. Повторити дії згідно п.4 і п.5. Зробити висновки щодо впливу величини R_K на значення I_B при якому транзис-

тор входить в насичення (U_{KEB}). Порівняти їх і пояснити причини їх нерівності.

5.4 Дослідження однокаскадних підсилювачів

7. Розрахувати значення опорів $R1$ і $R2$ схеми (рис. 5.3), які забезпечує середнє значення робочої точки А на навантажувальній характеристиці (рис. 5.5) при $R_K = 2\text{кОм}$, застосовуючи дані отримані в розділі 5.3. та наступні формули:

$$I_{Kp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_{жс}}{R_K}; I_{Br} = \frac{I_{Kp}}{\beta}; U_{BEp} = U_0 + r_{BE} \cdot I_{Br}; R2 = \frac{U_{BEp}}{I_D}; R1 = \frac{E_{жс} - U_{BEp}}{I_D + I_{Br}};$$

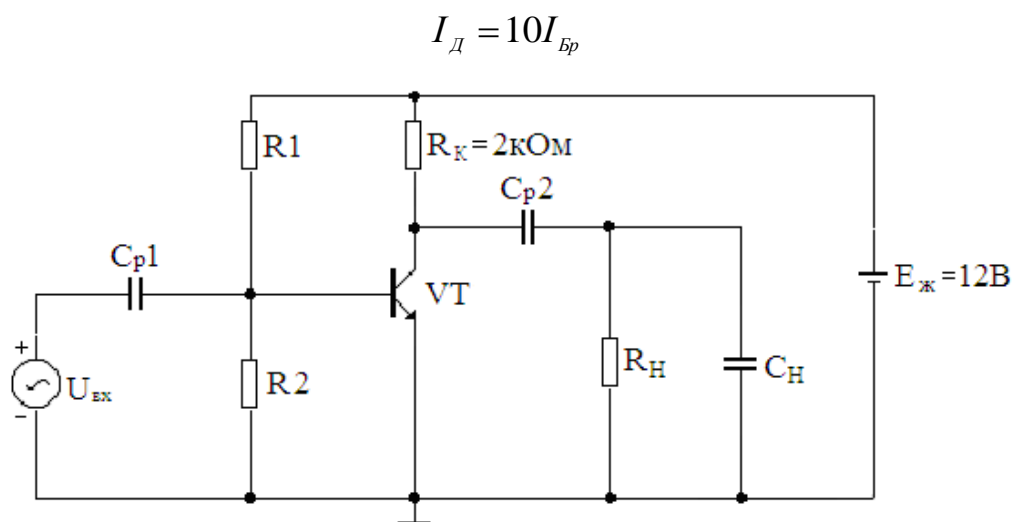


Рисунок 5.5 - Схема однокаскадного підсилювача на біполярному транзисторі

8. Побудувати лабораторний стенд для дослідження однокаскадного підсилювача на біполярному транзисторі (рис. 5.6).

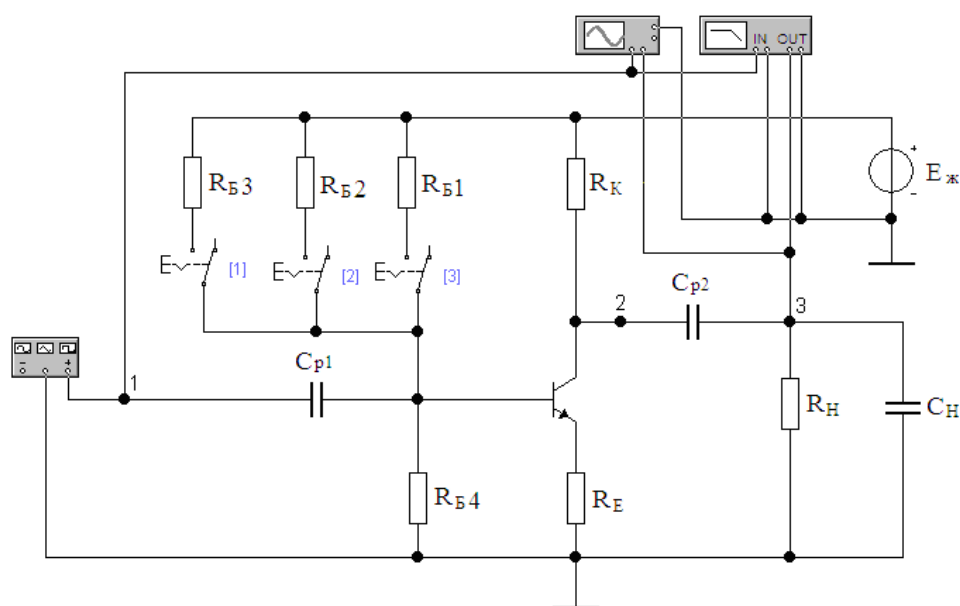


Рисунок 5.6 - Схема дослідження однокаскадного підсилювача на біполярному транзисторі

9. Встановити на схемі розрахункове значення R_{B4} ; значення резисторів R_{B1} ; R_{B2} ; R_{B3} прийняти рівним $0,8R_{B4}$; R_{B4} ; $1,2R_{B4}$.

10. Подати на вхід підсилювача синусоїдну напругу $U_{вх} = 10\text{мВ}$, $F = 1\text{кГц}$ і для кожного з опорів R_{B1} ; R_{B2} ; R_{B3} зняти осцилограми вхідної та вихідної напруг (точки 1, 2, 3). Пояснити отримані осцилограми, особливо наявність зсуву фази $\varphi = 180^\circ$.

11. Активізувати аналізатор частотних характеристик і зняти залежність коефіцієнта підсилювання K_U від частоти вхідного сигналу F при R_{B2} яке дорівнює розрахунковому R_{B4} та фазовий зсув $U_{вих}$ відносно $U_{вх}(\varphi)$. Заповнити таблицю 5.5 (8-10 значень F в робочому діапазоні).

Таблиця 5.3 - Експериментальні данні виміру K_U , φ від F

F (кГц)								
K_U								
Φ (град)								

12. Збільшити в два рази значення перехідних ємностей C_{p1} і C_{p2} та зменшити в два рази значення ємності C_H . Повторити дії згідно п.10. Пояснити зміну в залежностях $K_U(F)$ і $\varphi(F)$, побудувавши їх на одному графіку.

Визначити смугу підсилення на рівні $0,707K_0$, де K_0 – середнє значення K_U в середині робочого діапазону.

5.5 Дослідження двокаскадного підсилювача

13. Побудувати лабораторний стенд для дослідження двокаскадного підсилювача на транзисторах (рис. 5.7). Пояснити призначення кожного елемента схеми.

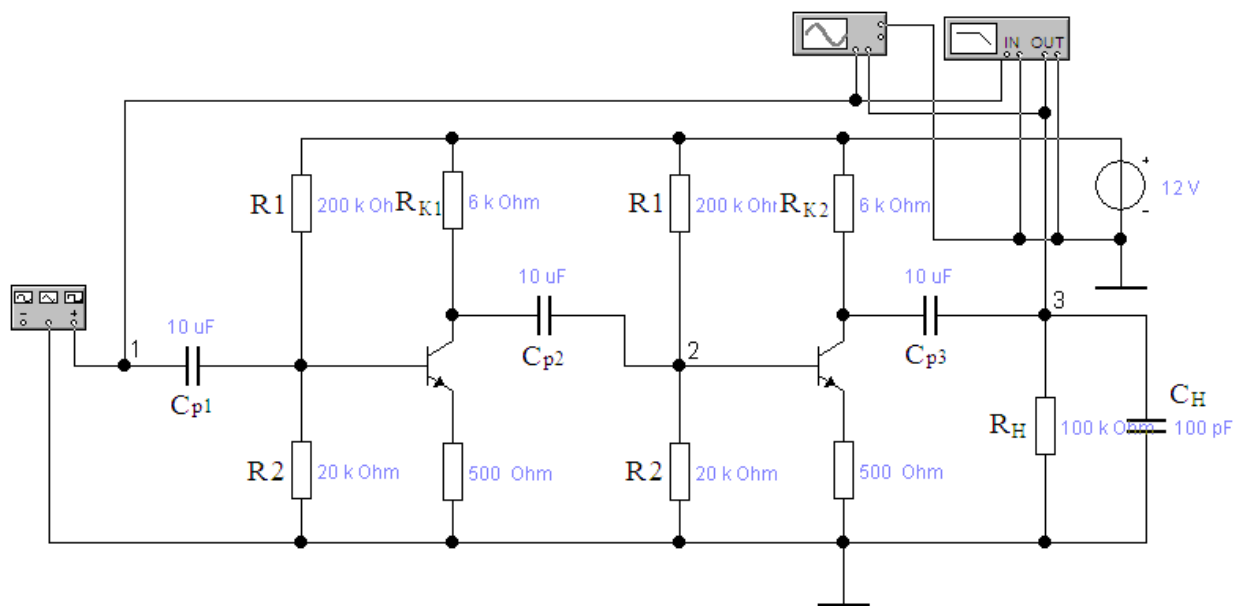


Рисунок 5.7 - Схема дослідження двокаскадного підсилювача

14. Подати на вхід синусоїдальний сигнал $U_{вх} = 10\text{мВ}$, $F = 1\text{кГц}$. Зняти осцилограми вхідної та вихідної напруги $U_{вих1}$ для першого каскаду підси-

лення (точки 1, 2), потім для двох каскадів ($U_{вих2}$) (точки 1, 3). Визначити K_{U1} та $K_{U_{заг}}$. Довести, що $K_{U_{заг}} = K_{U1} \cdot K_{U2}$.

15. Побудувати лабораторний стенд (рис. 5.8) який містить підсилювач з деякими дефектами схеми. Спираючись на показники приладів, визначити значення якого з елементів схеми слід змінити, щоб забезпечити роботу підсилювача на середині лінійного діапазону (в класі А).

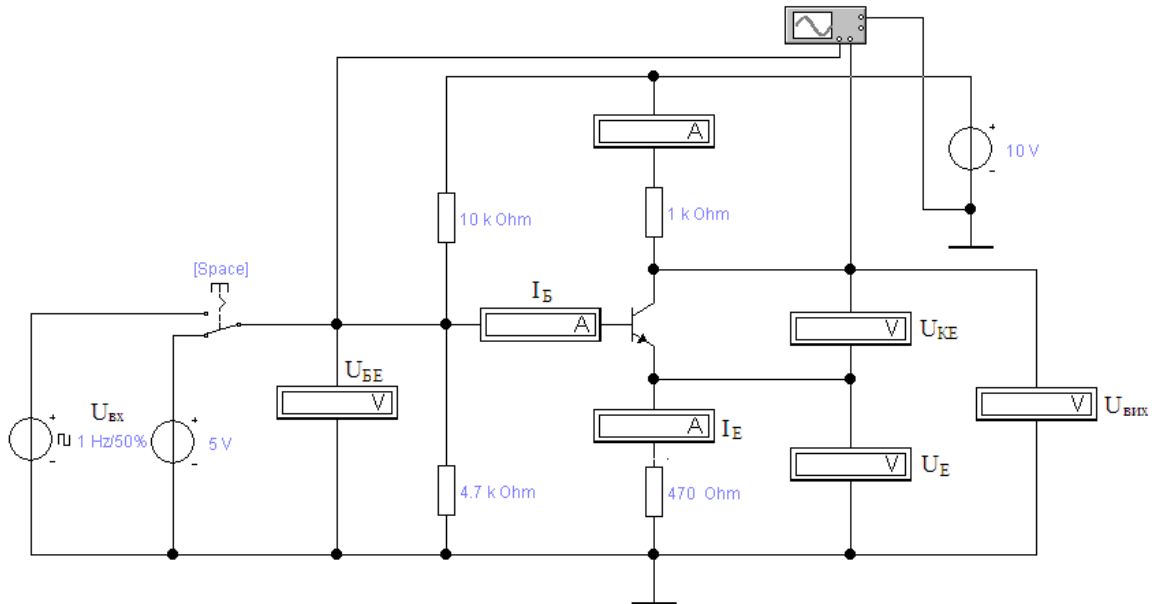


Рисунок 5.8 - Пошук дефектів у схемі підсилювача

5.6 Вміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схему кожного експерименту.
3. Таблиці експериментальних даних.
4. Необхідні осцилограми.
5. Необхідні розрахунки.
6. Висновки по кожному експерименту.
7. Загальні висновки по роботі.

5.7 Контрольні питання

1. Як забезпечується режим роботи транзистора за постійним струмом?
2. Навіщо використовуються конденсатори C_{p1} та C_{p2} ?
3. Як зменшити нелінійні спотворення сигналів у підсилювачі з ЗЕ?
4. Від чого залежить коефіцієнт підсилення каскаду на низьких частотах?
5. Призначення кола $R_E C_E$?