

|                         |                                                                                                                                                   |                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                         | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 20                                |

### Практичне заняття № 3

#### Розрахунок підсилювача низької чистоти на біполярному транзисторі

*Мета заняття:* ознайомлення з методикою розрахунку підсилювача низької чистоти на біполярному транзисторі.

#### Стислі теоретичні відомості

Електронним підсилювачем називається пристрій, що дозволяє перетворювати вхідні електричні сигнали в сигнали більшої потужності без істотного спотворення їхньої форми. Процес перетворення здійснюється за допомогою нелінійного активного елемента (в даному випадку – транзистора), який збільшує потужність сигналу, беручи додаткову енергію з джерела живлення. Підсилення сигналу відбувається в результаті зміни напруги і струмів, які формуються на елементах та колах підсилювача в результаті приєднання до нього джерела живлення. Тому існує залежність показників підсилювача за змінним струмом і електричним режимом, що обумовлений постійною напругою джерела живлення.

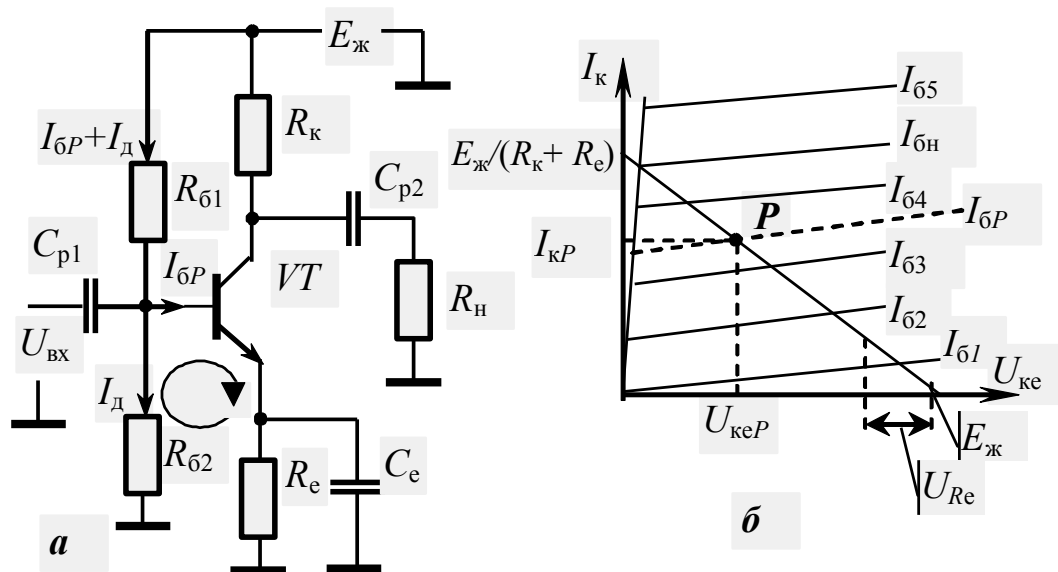


Рис. 3.1

Відповідно до цього розрахунок підсилювача проводиться у два етапи. Спочатку визначають параметри елементів, які визначають електричний режим роботи за постійним струмом (встановлюють номінали резисторів та вибирають тип транзистора). На другому етапі встановлюють номінали реактивних елементів (в наданій схемі це конденсатори) і розраховують параметри та характеристики підсилювача за змінним струмом.

Основа розрахунку за постійним струмом являє вибір положення точки спокою (точка  $P$  рис.3.1,б) на лінії навантаження та визначення номіналів резисторів, при яких забезпечується визначений розподіл напруги в вихідному колі транзистора при струмі колектора  $I_{кP}$ . Величина останнього визначається з нерівності:

$$I_{кP} \geq (1,2 \dots 1,5) I_{н \max}, \quad (3.1)$$

|                         |                                                                                                                                                   |                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                         | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 21                                |

де  $I_{H \max}$  – максимальний струм навантаження.

На основі законів Кірхгофа та Ома для напруги в вихідному колі транзистора маємо:

$$E_{\text{ж}} = U_{R_k} + U_{k_e} + U_{R_e} \approx I_{kP} R_k + U_{k_e} + I_{kP} R_e. \quad (3.2)$$

Останній вираз отриманий з припущенням рівності струмів колектора і емітера.

Постійна напруга на емітерному резисторі в зв'язку з тим, що резистор шунтований конденсатором значної ємності не бере участі в формуванні змінної напруги навантаження. Значення цієї напруги визначають з відношення:

$$U_{R_e} = I_{kP} R_e = (0,05 \dots 0,2) E_{\text{ж}}. \quad (3.3)$$

Сигнал, що пройде крізь конденсатор  $C_{p1}$ , бо його опір для змінного струму буде незначним, почне міняти напругу бази та, відповідно, й її струм. Це призведе до зміни струму колектора

$$I_k = h_{21e} I_b, \quad (3.4)$$

де  $h_{21e}$  – коефіцієнт передачі струму бази.

Почне змінюватись струм та розподіл напруги між елементами схеми рис. 3.1,а. Тобто в вихідному ланцюгу з'явиться змінний сигнал, керований вхідним. Динамічне переміщення точки  $P$  під впливом сигналу буде спостерігатись тільки вздовж лінії навантаження між точками її пересічення з координатними висіями. Максимальні (амплітудні) значення зміни струму та напруги визначаться положенням точки спокою відносно точок пересічення висівів. Щоб мати мінімальні викривлення вихідного сигналу *при його максимальних амплітудах*, точку спокою розташовують в середині відрізка лінії навантаження, на якому можлива зміна напруги під впливом вхідного сигналу, тобто:

$$U_{k_e} = U_{R_k} = I_{kP} R_k = 1/2 (E_{\text{ж}} - U_{R_e}) \quad (3.5)$$

Якщо врахувати, що амплітуда вихідного сигналу за напругою не перевищує падіння напруги на транзисторі або колекторному резисторі, то можна визначити умову для значення напруги джерела живлення:

$$E_{\text{ж}} \geq 2 U_{\text{мак нав}} + (3 \dots 5) V, \quad (3.6)$$

де  $U_{\text{мак нав}}$  – максимальна амплітуда напруги сигналу в навантаженні. Додаток в декілька вольтів обумовлений врахуванням падіння напруги на емітерному резисторі.

Вибрані значення падіння напруги на елементах вихідного кола підсилювача дозволяють визначити (згідно закону Ома) необхідну величину опору резисторів  $R_e$  та  $R_k$ .

На даному етапі розрахунку вже можна сформулювати вимоги до припустимих параметрів транзистора за потужністю, напругою та струмом, на основі яких встановлюють його тип.

У стані спокою через транзистор протікає струм  $I_{kP}$  та існує напруга  $U_{kP}$ . Тому на ньому виділяється потужність

$$P_{kP} = I_{kP} U_{kP}, \quad (3.7)$$

яка має бути розсіяна транзистором у навколишній простір. Отже, припустима постійна потужність транзистора  $P_{k \max}$  повинна задовольняти нерівності:

$$P_{k \max} \geq K_{\text{зап } P} P_{kP}, \quad (3.8)$$

де  $K_{\text{зап } P}$  – коефіцієнт запасу за потужністю, використання якого забезпечує надійну роботу приладу в реальних умовах. Зазвичай  $K_{\text{зап } P}$  вибирається з діапазону 1,2...1,5, хоча можуть бути й інші значення, обумовлені особливостями експлуатації та призначення апаратури, для якої розробляють підсилювач.

|                         |                                                                                                                                                   |                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                         | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 22                                |

Довідкове значення потужності  $P_{\text{к макс}}$ , яку здатен розсіяти транзистор, необхідно визначити з урахуванням температури навколишнього середовища, в якому працюватиме підсилювач.

Вхідний сигнал може повністю закрити транзистор, тому припустима напруга колектор-емітер повинна задовольняти нерівності:

$$U_{\text{ке макс}} \geq K_{\text{зап } U} E_{\text{ж}}. \quad (3.9)$$

Коефіцієнт запасу за напругою  $K_{\text{зап } U}$  зазвичай беруть таким же, як і коефіцієнт запасу за потужністю.

Процес виходу транзистора з ладу при проходженні через нього значного струму інший, ніж при прикладанні значної напруги. Він інерційний і походить на процес руйнування від розігріву в результаті виділення електричної потужності. Тому припустимий колекторний струм визначають, виходячи зі струму спокою:

$$I_{\text{к макс}} = K_{\text{зап } I} I_{\text{кР}}, \quad (3.10)$$

однак коефіцієнт запасу за струмом  $K_{\text{зап } I}$  зазвичай беруть більшим, ніж для потужності та напруги. Найчастіше беруть  $K_{\text{зап } I} = 2$ .

Вибір типу транзистора дозволяє визначити і його параметри, в тому числі й коефіцієнт передачі струму бази, який згідно довідковим даним, зазвичай, має розкид від  $h_{21\text{е мин}}$  до  $h_{21\text{е макс}}$ . Використовуючи *середнє* значення  $h_{21\text{е}}$  встановлюють (на підставі виразу (2.4)) струм спокою бази  $I_{\text{БР}}$ . Це дозволяє визначити значення опору резисторів  $R_{\text{б1}}$  та  $R_{\text{б2}}$ , які формують у вхідному колі підсилювача ділянку напруги джерела живлення. Необхідні для розрахунку падіння напруги визначаються виразами:

$$U_{R_{\text{б2}}} = U_{R_{\text{е}}} + U_{\text{беР}}, \quad (3.11)$$

$$U_{R_{\text{б1}}} = E_{\text{ж}} - U_{R_{\text{б2}}}, \quad (3.12)$$

а струм ділянки  $I_{\text{д}}$  знаходять на підставі нерівності:

$$I_{\text{д}} \geq (2 \dots 5) I_{\text{БР}},$$

де  $U_{\text{беР}}$  – постійна напруга емітерного переходу, що визначається з вхідної характеристики транзистора, при якій струм бази дорівнює  $I_{\text{БР}}$ . В разі відсутності вхідної характеристики можна прийняти одне з значень з відношення  $U_{\text{беР}} = (0,5 \dots 0,8)$  В. Постійні струми, які протікають крізь резистори ділянки, вказані на рис.2.1,а.

Найважливішими технічними показниками підсилювача за змінним струмом є: коефіцієнти підсилення (напруги, струму і потужності), вхідний і вихідний опори, діапазон підсилювальних частот, а також показники, що характеризують спотворення сигналу.

*Коефіцієнт підсилення* – відношення сталих значень параметрів вихідного і вхідного сигналів підсилювача. В залежності від параметру електричного сигналу, яким цікавляться, розрізняють коефіцієнти підсилення

- напруги  $K_u = \Delta U_2 / \Delta U_1$ ;
- струму  $K_i = \Delta I_2 / \Delta I_1$ ;
- потужності  $K_p = P_2 / P_1$ ,

де  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$ ,  $\Delta I_1$ ,  $\Delta I_2$  – прирости діючого (або амплітудного) значення напруги чи струму сигналів на вході та виході;

$P_1$ ,  $P_2$  – потужність вхідного та вихідного сигналів.

Замість приросту величин використовують також їх абсолютні значення.

За умов діючих значень напруги та струму  $P_1 = U_1 I_1$  і  $P_2 = U_2 I_2$ , тому коефіцієнт підсилення потужності  $K_p = K_u K_i$ .

Для визначення параметрів підсилювача за змінним струмом скористуємось його еквівалентною схемою для середніх частот (рис. 3.2).

|                         |                                                                                                                                                   |                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                         | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 23                                |

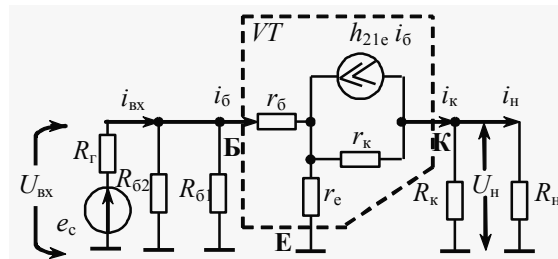


Рис. 3.2

Коефіцієнти підсилення можна визначити поділивши на відповідні вхідні показники напругу та струм навантаження, встановивши їх згідно еквівалентної схеми. Однак, частіше коефіцієнти встановлюють на підставі деяких спрощень. Такий підхід виправданий в зв'язку з значним розкидом параметрів реальних елементів схеми – транзисторів та резисторів.

Найчастіше коефіцієнт підсилення струму приймають рівним статичному коефіцієнту передачі струму в схемі зі СЕ,  $K_i = h_{21e}$ . Однак, це приводить до завищеної оцінки величини коефіцієнта підсилення струму. Тому, пропонується вважати  $K_i$  рівним мінімальному значенню  $h_{21e}$ , яке надається в довідковій літературі:

$$K_i = h_{21e \text{ мін}}. \quad (3.13)$$

Проведемо деякі очевидні перетворення коефіцієнта підсилення напруги:

$$\begin{aligned} K_u &= U_n / U_{вх} = i_k R_{н \text{ екв}} / (i_{вх} R_{вх \text{ під}}) \approx \\ &\approx K_i R_{н \text{ екв}} / R_{вх \text{ під}} = h_{21e \text{ мін}} R_{н \text{ екв}} / R_{вх \text{ під}}, \end{aligned} \quad (3.14)$$

де  $R_{вх \text{ під}}$  – вхідний опір підсилювача;

$R_{н \text{ екв}}$  – еквівалентний опір паралельного з'єднанням  $R_k$  та  $R_n$ :

$$R_{н \text{ екв}} = (R_n R_k) / (R_n + R_k). \quad (3.15)$$

Вхідний опір каскаду визначається паралельним з'єднанням резисторів  $R_{61}$ ,  $R_{62}$  ділника та вхідного опору транзистора:

$$1 / R_{вх \text{ під}} = 1 / R_{61} + 1 / R_{62} + 1 / R_{тр \text{ вх}}, \quad (3.16)$$

де  $R_{тр \text{ вх}}$  – вхідний опір транзистора, який можна визначити з виразу:

$$R_{тр \text{ вх}} = \frac{U_{r_6} + U_{r_e}}{i_6},$$

де  $U_{r_6}$  та  $U_{r_e}$  – падіння напруги сигналу на диференціальних опорах бази та емітера транзистора.

Виконавши заміни на підставі рис. 2.2, отримаємо:

$$R_{тр \text{ вх}} = \frac{i_6 \cdot r_6 + i_e \cdot r_e}{i_6} = \frac{i_6 \cdot r_6 + i_6 (h_{21e} + 1) \cdot r_e}{i_6} = r_6 + (h_{21e} + 1) \cdot r_e. \quad (3.17)$$

Найчастіше, цей опір  $i$  визначає величину вхідного опору каскаду.

З огляду на великий диференціальний опір закритого колекторного переходу для вихідного опору підсилювача маємо:

$$R_{вих \text{ під}} = R_k. \quad (3.18)$$

Частотні спотворення сигналу на нижніх частотах визначаються номіналами ємності конденсаторів та частотними параметрами транзистора. Формули для визначення номіналів конденсаторів та впливу властивостей транзистора на підставі заданих коефіцієнтів частотних спотворень надані далі.

|                         |                                                                                                                                                   |                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                         | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 24                                |

### Постановка завдання

Розрахувати підсилювач з емітерною стабілізацією (рис. 3.1), який працює у режимі класу А.

Основні вхідні дані надані в табл. 3.1. Додатково необхідно вважати, що

- коефіцієнти частотних спотворень на нижній та верхній частотах  $M_n = M_v \leq 1,21$ ;
- вихідний опір генератора сигналу  $R_r = 300 \text{ Ом}$ .

Таблиця 3.1

|                                  |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант                          | 1    | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $f_n, \text{Гц}$                 | 100  | 50   | 150 | 100  | 75   | 120  | 60   | 40   | 60   | 30   |
| $f_v, \text{кГц}$                | 25   | 15   | 50  | 75   | 100  | 50   | 16   | 18   | 20   | 30   |
| $U_r, \text{В}$                  | 0,20 | 0,20 | 0,3 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,15 |
| $U_R, \text{В}$                  | 3    | 4    | 4   | 5    | 6    | 3    | 4    | 5    | 4    | 2,5  |
| $R_n, \text{кОм}$                | 0,5  | 0,4  | 1,0 | 0,3  | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,1  | 0,5  |
| $T_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$ | +60  | +50  | +60 | +45  | +50  | +60  | +50  | +40  | +60  | +50  |
| Варіант                          | 11   | 12   | 13  | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |
| $f_n, \text{Гц}$                 | 200  | 140  | 50  | 90   | 250  | 90   | 50   | 140  | 200  | 30   |
| $f_v, \text{кГц}$                | 25   | 80   | 75  | 12   | 60   | 12   | 75   | 80   | 100  | 40   |
| $U_r, \text{В}$                  | 0,35 | 0,30 | 0,2 | 0,2  | 0,45 | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,15 | 0,3  |
| $U_R, \text{В}$                  | 5    | 4    | 3   | 4    | 7    | 4    | 5    | 5    | 4    | 3    |
| $R_n, \text{кОм}$                | 0,4  | 0,3  | 0,1 | 0,2  | 0,5  | 0,2  | 0,2  | 0,1  | 0,3  | 0,15 |
| $T_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$ | +40  | +40  | +50 | +60  | +60  | +50  | +60  | +50  | +45  | +50  |
| Варіант                          | 21   | 22   | 23  | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| $f_n, \text{Гц}$                 | 60   | 80   | 40  | 120  | 75   | 100  | 50   | 100  | 75   | 75   |
| $f_v, \text{кГц}$                | 20   | 30   | 40  | 70   | 100  | 50   | 25   | 25   | 80   | 60   |
| $U_r, \text{В}$                  | 0,4  | 0,4  | 0,2 | 0,5  | 0,25 | 0,3  | 0,3  | 0,5  | 0,3  | 0,25 |
| $U_R, \text{В}$                  | 4    | 5    | 4   | 7    | 5    | 6    | 6    | 9    | 5    | 2    |
| $R_n, \text{кОм}$                | 0,25 | 0,3  | 0,1 | 0,4  | 0,15 | 0,5  | 0,35 | 0,5  | 0,4  | 0,05 |
| $T_{\text{сер}}, ^\circ\text{C}$ | +50  | +40  | +60 | +50  | +40  | +40  | +50  | +60  | +40  | +50  |

Примітки до табл. 3.1:

1. Використані позначення:

- $f_n, f_v$  – нижня і верхня частоти сигналу;
- $U_r$  – напруга джерела сигналу (генератора);
- $U_R$  – напруга сигналу на навантаженні;
- $R_n$  – опір навантаження;
- $T_{\text{сер}}$  – максимальна температура зовнішнього середовища, при якій може працювати підсилювач.

2. У таблиці наведені діючі значення напруги. Для визначення максимальних (амплітудних) значень можна користуватись виразом (2.3).

### Вказівки до виконання завдання

Розрахунок підсилювача (рис.3.1,а) полягає у визначенні: типу транзистора, номіналів резисторів та конденсаторів, коефіцієнтів підсилення за струмом  $K_i$ , напругою  $K_u$ , потужністю  $K_p$ ; вхідного  $R_{\text{вх}}$  та вихідного  $R_{\text{вих}}$  опорів підсилювача. Основні положення їх визначення надані в попередньому розділі. В цьому розділі зроблені їх деякі уточнення та роз'яснення.

|                         |                                                                                                                                                   |                                            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                         | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 25                                |

Для розрахунку підсилювача необхідно встановити напругу джерела живлення (вир. (3.6)) та визначити струм і необхідний розподіл цієї напруги на елементах вихідного кола (вир. (3.1), (3.6)). Знайдене значення напруги джерела живлення уточнюють у відповідності з рекомендованим рядом напруги (див. додаток Б). Необхідні для розрахунків максимальні значення струму і напруги навантаження можуть бути отримані на підставі даних табл. 3.1.

Після розрахунку опорів резисторів  $R_k$  і  $R_e$  на основі обраного розподілу падіння напруги та струму колектора необхідно визначити їх номінальні значення у відповідності з рядами номінальних опорів (додаток А). Рекомендується використовувати ряд Е12 (допустимо – Е24), причому вибирається номінал, *найближчий* до результату, отриманому при розрахунку. *В подальших розрахунках повинні використовуватись тільки обрані номінальні значення.*

При виборі типу транзистора необхідно звернути увагу на його граничну частоту для схеми зі спільним емітером  $f_{h21e}$ . Бажано, щоб  $f_{h21e} \geq (2...3) f_v$ , що забезпечить виконання вимог до припустимим спотворенням на верхній частоті.

Найбільші складності при виборі типу транзистора пов'язані з необхідністю розсіяти потужність, яка виділяється на ньому під час роботи підсилювача (вир. (3.8)). Справа в тому, що наведене в довідниках значення  $P_{k \text{ мак}}$  надається відповідно до значення температури зовнішнього середовища, яке не співпадає з температурою умов використання  $T_{\text{сер}}$ . Причому реальна температура середовища зазвичай більша. Зрозуміло, що чим вона вище, тим меншу потужність здатен розсіяти транзистор без руйнування. Тому для визначення  $P_{k \text{ мак}}$  зазвичай необхідно провести додаткові розрахунки.

Потужність, яка може бути розсіяна на колекторі, при максимальній температурі навколишнього середовища визначається по формулі:

$$P_{k \text{ мак}} = \frac{T_{\text{пер}} - T_{\text{сер}}}{R_T}, \quad (3.19)$$

де  $T_{\text{доп}}$  – максимальна припустима температура колекторного переходу;

$T_{\text{сер}}$  – максимальна температура навколишнього середовища;

$R_T$  – температурний опір між переходом та корпусом транзистора.

Необхідні для розрахунку дані на деякі транзистори можна найти в довідниках.

Можливі інші способи визначення допустимою потужності, яку здатен розсіяти транзистор при підвищеній температурі зовнішнього середовища. Наприклад, в тих же довідниках часто приводять відповідні вказівки для визначення  $P_{k \text{ мак}}$  конкретних транзисторів на підставі показників спаду припустимої потужності при підвищенні зовнішньої температури.

Після вибору типу транзистора визначають робочий струм бази та номінали резисторів вхідного ділення  $R_{61}$  і  $R_{62}$ .

На цьому розрахунок підсилювача за постійним струмом завершується.

Одним з головних параметрів за змінним струмом є вхідний опір підсилювача, знання якого також необхідно при визначенні коефіцієнту підсилення за напругою (вир. (3.14)). Для його обчислення необхідно знайти вхідний опір транзистора (вир. (3.17)). Однак в довідниках відсутні дані значень  $r_b$  і  $r_e$ . Їх безпосередньо можна визначити на основі значень  $I_{eP}$  ( $I_{eP} \approx I_{kP}$ ) та  $\tau_{до}$  – постійна часу ланцюга зворотного зв'язку транзистора (надається в довідниках на деякі типи транзисторів):

$$r_b = \tau_{до} / C_k, \quad r_e \approx m \varphi_T / I_{kP}, \quad (3.20)$$

де  $C_k$  – ємність колекторного переходу;

$\varphi_T \approx 25 \text{ мВ}$  – температурний потенціал,

$m = 1$  – для германієвих,  $m = 2$  для кремнієвих транзисторів.

Вхідний опір транзистора по змінному струму також можна визначити по одному з наступних виразів (якщо необхідні для розрахунку параметри є в довіднику):

|                            |                                                                                                                                                   |                                            |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська<br>політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                            | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 26                                |

$$\begin{aligned}
& \bullet R_{\text{вх тр}} = h_{11e}; \\
& \bullet R_{\text{вх тр}} = h_{11e} (h_{21e} + 1),
\end{aligned} \tag{3.21}$$

де  $h_{11e}$ ,  $h_{11e}$  – вхідний опір транзистора для схем зі СЕ та СБ.

Визначити  $R_{\text{вх тр}}$  можна як похідну до точки спокою ( $I_{6P}$ ,  $U_{6e P}$ ) на вхідній характеристиці транзистора (залежності  $I_{6P}$  від  $U_{6e P}$ ).

$$R_{\text{вх тр}} \approx \frac{\Delta U_{6e}}{\Delta I_6} \tag{3.22}$$

де  $\Delta I_6$  – зміна струму бази при зміні напруги на базі на величину  $\Delta U_{6e}$  відносно точки спокою.

Частотні спотворення на нижніх частотах визначаються ємностями конденсаторів. З достатньою точністю можна вважати, що

$$M_n = M_1 M_2 M_e,$$

де  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_e$  – коефіцієнти частотних викривлень, які зумовлені ємностями  $C_{p1}$ ,  $C_{p2}$ ,  $C_e$ .

Ємність  $C_e$  найбільш часто визначають за формулою:

$$C_e \geq 10 / (2 \pi f_n R_e), \tag{3.23}$$

де  $f_n$  – нижня частота підсилювача.

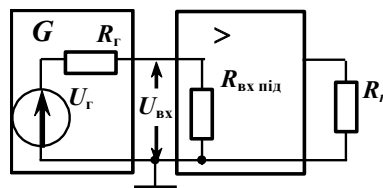


Рис. 3.3

В цьому випадку можна вважати  $M_e \approx 1$ . Тоді

$$\begin{aligned}
\tilde{N}_1 & \geq \left[ 2\pi f_i (R_a + R_{ao}) \sqrt{\dot{I}_1^2 - 1} \right]^{-1}, \\
\tilde{N}_2 & \geq \left[ 2\pi f_i (R_e + R_i) \sqrt{\dot{I}_2^2 - 1} \right]^{-1}.
\end{aligned} \tag{3.24}$$

Номинали ємностей конденсаторів уточнюють в відповідності з рядом державного стандарту (додаток А). Найчастіше в попередньому розрахунку вважають  $M_1 = M_2$ , що при заданому коефіцієнті частотних спотворень призводить до виразу:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \sqrt{\dot{I}_i}$$

Коефіцієнт частотних спотворень на верхній частоті підсилювача визначають за формулою:

$$\dot{I}_a = \sqrt{1 + [2\pi f_a R_{iaa} C_s]^2}, \tag{3.25}$$

де  $C_i = C_e + C_k (h_{21e} + 1) + C_n$ ;

|                            |                                                                                                                                                   |                                            |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Житомирська<br>політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ<br>ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»<br>Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-20.09-<br>05.02/151.00.1/Б/ОК16-<br>2024 |
|                            | Екземпляр № 1                                                                                                                                     | Арк 61 / 27                                |

$C_k, C_e$  – ємності відповідно колекторного і емітерного переходів транзистора (довідкові дані);  $C_n$  – ємність навантаження (згідно табл. 4 вона не надана, тому можна вважати, що  $C_n = 0$ ).

Коефіцієнт частотних викривлень на  $f_b$  повинен бути менш того, що заданий згідно з вхідними даними на підсилювач.

Наприкінці рішення повинні бути вибрані типи конденсаторів та резисторів. Для цього для конденсаторів треба визначити вимоги до номінальної напруги, а для резисторів – до номінальної потужності:

$$U_{C_{\text{ном}}} \geq K_1 U_C, \quad P_{R_{\text{ном}}} \geq K_1 P_{Ri} \quad (3.26)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт запасу ( $K_1 = 1,2 \dots 1,5$ );

$U_C$  – різниця потенціалів, що може виникнути на відповідній ємності підсилювача;

$P_{Ri}$  – електрична потужність, яка виділяється на резисторі при його роботі в схемі підсилювача:

$$P_{Ri} = I_{Ri} U_{Ri} \quad (3.27)$$

$I_{Ri}, U_{Ri}$  – струм, що тече крізь резистор, та падіння напруги на ньому.

З врахуванням коефіцієнтів запасу можна прийняти  $U_{C1 \text{ ном}} = U_{C2 \text{ ном}} = E_{\text{ж}}; \quad U_{Ce \text{ ном}} = 0,5 E_{\text{ж}}$ .

Номінали резисторів за потужністю, які підходять для застосування в підсилювачах, що розраховуються, дорівнюють 0,125, 0,25, 0,5, 1,0 та 2 Вт.

Завершується розрахунок схемою підсилювача і переліком елементів схеми. В перелік включається транзистор та всі конденсатори і резистори з повною вказівкою їхніх номіналів. Припустимо надавати ці дані безпосередньо після визначення кожного елементу.