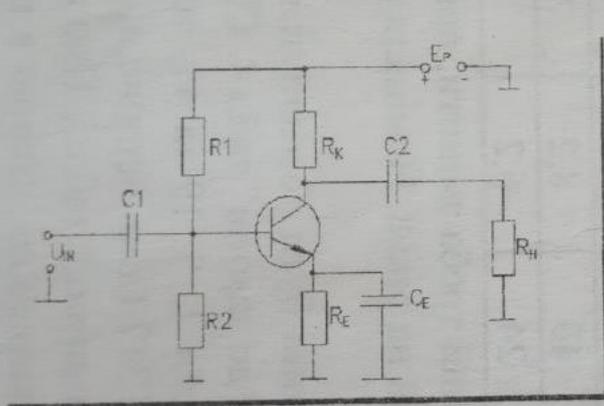
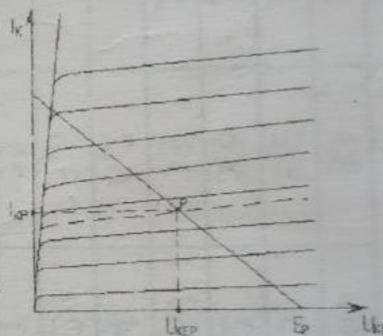


Розрахунок ПНЧ на біполярному транзисторі

Завдання 1.2. У відповідності до варіанту табл.3 розрахувати схему підсилювача спільної емітерної стабілізації, який працює у режимі А (рис.8).



а



б

Таблиця 3.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_H, \text{Гц}$	100	50	150	100	75	120	60	40	60	30
$f_B, \text{кГц}$	25	15	50	75	100	50	16	18	20	30
$U_{BX}, \text{В}$	0.20	0.20	0.3	0.30	0.25	0.20	0.20	0.20	0.40	0.15
$U_{ВНХ}, \text{В}$	3	4	4	5	6	3	4	5	4	2.5
$R_{НТ}, \text{кОм}$	0,5	0,4	1,0	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,5
$t_m, ^\circ\text{C}$	+60	+50	+60	+45	+50	+60	+50	+40	+60	+50
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$f_H, \text{Гц}$	200	140	50	90	250	90	50	140	200	30
$f_B, \text{кГц}$	25	80	75	12	60	12	75	80	100	40
$U_{BX}, \text{В}$	0.35	0.30	0.2	0.2	0.45	0.3	0.4	0.3	0.15	0.3
$U_{ВНХ}, \text{В}$	5	4	3	4	7	4	5	5	4	3
$R_{НТ}, \text{кОм}$	0,4	0,3	0,1	0,2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,3	0,15
$t_m, ^\circ\text{C}$	+40	+40	+50	+60	+60	+50	+60	+50	+45	+50
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$f_H, \text{Гц}$	60	80	40	120	75	100	50	100	75	75
$f_B, \text{кГц}$	20	30	40	70	100	50	25	25	80	60
$U_{BX}, \text{В}$	0.4	0.4	0.2	0.5	0.25	0.3	0.3	0.5	0.3	0.25
$U_{ВНХ}, \text{В}$	4	5	4	7	5	6	6	9	5	2
$R_{НТ}, \text{кОм}$	0,25	0,3	0,1	0,4	0,15	0,5	0,35	0,5	0,4	0,05
$t_m, ^\circ\text{C}$	+50	+40	+60	+50	+40	+40	+50	+60	+40	+50

Примітки до табл.3.

1. Коефіцієнти частотних спотворень на нижній та верхній частотах $M_n = M_v = 1,21$. Вихідний опір генератора сигналу $R_f = 300 \text{ Ом}$.

2. f_n, f_v - нижня і верхня частоти сигналу; $U_{вх}, U_{вих}$ - вхідна і вихідна напруги підсилювача; R_n - опір навантаження, t_m - максимальна температура зовнішнього середовища, при якій повинен працювати підсилювач.

3. У таблиці наведені діючі значення напруг. При визначенні максимальних значень можна користуватися виразом (1.3):

4. Вибирати тільки ті транзистори, які мають позначення у відповідності до державних стандартів.

Вказівки до виконання завдання

Розрахунок підсилювача (рис.8,а) полягає у визначенні: типу транзистора, номіналів резисторів та конденсаторів, коефіцієнтів підсилення за струмом K_i , напругою K_u , потужністю K_p ; вхідного $R_{вх}$ та вихідного $R_{вих}$ опорів підсилювача.

Опори зовнішніх резисторів визначають режим роботи транзистора за постійним струмом, задають так звану робочу точку спокою, яка характеризується падінням напруги на транзисторі і струмами, які через нього протікають при відсутності змінного сигналу (рис.8,б)

Якщо транзистор не заданий (як це слідує з табл.3), то його вибір знаходять по гранично (максимально)допустимим параметрам:

- $I_{к \text{ max доп}}$ - максимально допустимий струм колектора;
- $U_{ке \text{ max доп}}$ - максимально допустима напруга колектор-емітер;
- $P_{к \text{ max доп}}$ - максимально допустима потужність розсіяння на колекторі при максимальній температурі навколишнього середовища;
- t_{max} - максимальна температура навколишнього середовища;
- $f_{h21э}$ - предільна частота транзистора з СЭ.

Предільно допустимі параметри транзистора повинні задовольняти нерівностям

$$\begin{aligned} I_{к \text{ max доп}} &\geq 2 I_{кр}, \\ U_{ке \text{ max доп}} &\geq K_1 E_{ж*}, \\ P_{к \text{ max доп}} &\geq K_1 P_{к}, \\ f_{h21э} &\geq K_2 f_v, \end{aligned} \quad (1.7)$$

де K_1, K_2 - коефіцієнти запасу ($K_1 = 1,2 \dots 1,5$; $K_2 = 3 \dots 5$);

$I_{кр}$ - колекторний струм спокою;

$E_{ж}$ - напруга джерела живлення;

P_k - потужність, яка розсіюється на транзисторі при його роботі в підсилювачі, що розраховують.

Величини, що розташовані праворуч від знаку нерівняння, характеризують умови роботи транзистора в підсилювачі.

Допустима потужність, яка розсіюється на колекторі, при максимальній температурі навколишнього середовища визначається по формулі:

$$P_{k \text{ max доп}} = \frac{T_{\text{доп}} - t_m}{R_T}, \quad (1.8)$$

де $T_{\text{доп}}$ - допустима температура колекторного переходу;

t_m - максимальна температура навколишнього середовища;

R_T - температурний опір між переходом та корпусом транзистора.

Можливі інші засоби визначення допустимою потужності, яка розсіюється транзистором при заданій температурі зовнішнього середовища. Наприклад, в довідниках для конкретних транзисторів [36, 39] часто приводять відповідні вказівки. (Якщо транзистор заданий (чи обраний), то по виразам (1.7); з врахуванням (1.8), перевіряється можливість його застосування.)

Значення струму спокою в колекторному ланцюзі транзистора

$$I_{кр} \geq (1,2 \dots 1,5) I_{н \text{ max}}, \quad (1.9)$$

де $I_{н \text{ max}}$ - максимальний струм сигналу в навантаженні.

При виборі значення струму спокою конкретного транзистора необхідно стежити за тим, щоб він не влучив в режим мікрострумів, при якому спостерігається значна нестабільність його роботи. Щоб уникнути цього режиму, необхідно щоб

$$I_{кр} > 10 I_{ко \text{ t}}$$

де $I_{ко \text{ t}}$ - зворотний струм колекторного переходу при максимальній його температурі.

Ця температура дорівнює

$$T_{k \text{ max}} = t_m + P_k R_T. \quad (1.10)$$

Щоб скоротити розрахунки можна за $T_{k \text{ max}}$ прийняти максимальну температуру колекторного $p-n$ переходу, яка надана в дові-

днику. Нагадуємо, що зворотний струм $p-n$ переходу подвоюється при зростанні його температури на 10°C у германієвих чи на $7,5^{\circ}\text{C}$ у кремнієвих приладів.

Опір резисторів в ланцюзі колектора і емітера визначають по формулам:

$$R_e = \frac{U_{Re}}{I_{кр}}; \quad R_k = \frac{E_{ж} - U_{Re}}{2 I_{кр}}. \quad (1.11)$$

Падіння напруги на емітерному опорі звичайно вибирають з співвідношення:

$$U_{Re} = (0,05 \dots 0,2) E_{ж}. \quad (1.12)$$

Для того, щоб вихідний сигнал був невикривлений,

$$E_{ж} \geq 2 U_{вих \cdot \max} + (2 \dots 3) \text{ В.}$$

Знайдене значення уточнюють в відповідності з рекомендованим рядом напруг (див. додаток 2).

На вихідних статичних характеристиках обраного транзистора відзначають положення робітничої точки P з координатами $I_{кp}$ та $U_{кe p}$ (рис. 8,б). Знайденому положенню робітничої точки відповідає струм бази $I_{бp}$:

$$I_{бp} = I_{кр} / h_{21e}. \quad (1.13)$$

Отримане значення струму бази дозволяє визначити положення робітничої точки на вхідній характеристиці транзистора, знятої при $U_{кe} \neq 0$. Знаючи положення робітничої точки на вхідній характеристиці, можна визначити напругу спокою $U_{бe p}$ та вхідний опір транзистора по змінному струму:

$$R_{вх тр} = \frac{dU_{бe}}{dI_{б}}, \quad (1.14)$$

де $dI_{б}$ - зміна струму бази при зміні напруги на базі на величину $dU_{бe}$ відносно точки спокою.

Вхідний опір транзистора по змінному струму також можна визначити по одному з слідуючих виразів (якщо необхідні для розрахунку параметри ϵ в довідниках):

- $R_{вх тр} = h_{11e}$;
- $R_{вх тр} = h_{11б} (h_{21e} + 1)$;
- $R_{вх тр} = r_{б} + r_{e} \cdot (h_{21б} + 1)$;

$$(1.15)$$

Опір r_b відповідає диференційному опору бази і може бути визначений на основі виразу:

$$r_b = \tau_{до} / C_k,$$

де $\tau_{до}$ - постійна часу ланцюга зворотного зв'язку транзистора (надається в довідниках);

C_k - ємність колекторного переходу.

Значення r_e може бути визначена з виразу:

$$r_e = m \phi_T / I_{кр},$$

де $\phi_T \approx 25$ мВ - температурний потенціал.

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

Струм ланцюга дільника $R_1 R_2$, що забезпечує живлення бази транзистора постійним струмом, береться з співвідношення

$$I_d \geq (2 \dots 5) I_{бр}.$$

Вибір величини цього струму дозволяє визначити опори резисторів в ланцюзі дільника:

$$R_2 = \frac{U_{Re} + U_{бep}}{I_d}; \quad R_1 = \frac{E_{ж} - U_{R2}}{I_d + I_{бр}}. \quad (1.16)$$

Всі знайдені значення опорів резисторів уточнюються в відповідності з рядами державного стандарту (додаток 1). Рекомендується використовувати ряд E12.

Визначення номіналів резисторів дозволяє розрахувати коефіцієнти підсилення:

$$\begin{aligned} K_i &= h_{21E \min}; \\ K_u &= K_i (R_k \parallel R_n) / R_{вх}; \\ K_p &= K_i K_u; \end{aligned} \quad (1.17)$$

де $h_{21E \min}$ - мінімальне значення коефіцієнта передачі струму в схемі із СЕ;

$R_k \parallel R_n$ - опір, що еквівалентний паралельному сполученню R_k і R_n ;

$R_{вх}$ - вхідний опір каскаду, рівний еквівалентному опору трьох, паралельно з'єднаних резисторів:

$$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{вх \text{ тр}}, \quad (1.18)$$

$R_{вх \text{ тр}}$ - вхідний опір транзистора змінному сигналу.

Коефіцієнт підсилення по напрузі повинен бути не менш, ніж задане вхідними даними табл. 3.

Вихідний опір підсилювача

$$R_{\text{вих}} = R_k.$$

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

$$M = M_1 M_2 M_e,$$

де M_1 , M_2 , M_e - коефіцієнти частотних викривлень, які зумовлені ємностями C_1 , C_2 , C_e .

Ємність C_e найбільш часто визначають по формулі:

$$C_e \geq 10 / (2 \pi \cdot f_n R_e), \quad (1.19)$$

Де f_n - нижня частота підсилювача.

В цьому випадку можна вважати $M_e = 1$. Тоді,

$$C_1 \geq \left[2 \pi f_n (R_e + R_{\text{вв}}) \sqrt{M_1^2 - 1} \right]^{-1} \quad (1.20)$$

$$C_2 \geq \left[2 \pi f_n (R_k + R_n) \sqrt{M_2^2 - 1} \right]^{-1}$$

Номінали ємностей конденсаторів уточнюють в відповідності з рядом E12 державного стандарту (див. додаток 1).

Коефіцієнт частотних викривлень на верхній частоті підсилювача рівний

$$M_v = \sqrt{1 + \left[2 \pi f_v (R_n \parallel R_k) C_i \right]^2}, \quad (1.21)$$

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

C_k , C_e - ємності відповідно колекторного і емітерного переходів транзистора (довідкові дані); C_n - ємність навантаження (згідно табл.3 $C_n = 0$).

Коефіцієнт частотних викривлень на f_v повинен бути менш того, що заданий згідно з параметрами табл.3.

Наприкінці рішення повинні бути вибрані типи конденсаторів [34] та резисторів [33]. Для цього для конденсаторів треба визначити вимоги до номінальної напруги, а для резисторів - до номінальної потужності:

$$\begin{aligned} U_{C_{\text{ном}}} &\geq K_1 U_c, \\ P_{R_{\text{ном}}} &\geq K_1 P_{Ri} \end{aligned} \quad (1.22)$$

де K_1 - коефіцієнт запасу;

U_c - різниця потенціалів, що може виникнути на відповідній ємності підсилювача;

$P_R = I_R U_R$ - потужність, що виділяється на резисторі;

I_R, U_R – струм, що тече крізь резистор та падіння напруги на ньому.

З врахуванням коефіцієнтів запасу можна прийняти $U_{C1 \text{ ном}} = U_{C2 \text{ ном}} = E_{\text{ж}}; U_{\text{се ном}} = 0.5 E_{\text{ж}}$.

Завершується розрахунок схемою підсилювача і переліком елементів схеми. В перелік включається транзистор та всі конденсатори і резистори з повною вказівкою їхніх номіналів [33, 34].