

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА №1

Здійснити аналітичний розрахунок багатокаскадного підсилювача низької частоти на транзисторах, наведеного на рисунку 3.1. Вважати, що ПНЧ працює в стаціонарних умовах. Температура оточуючого середовища: $T_{min}=+15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{max}=+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вихідними даними для розрахунку є (табл..9.1):

- 1) $P_{вих}$, Вт - потужність на виході підсилювача;
- 2) R_H , Ом - опір навантаження;
- 3) M_H – допустиме значення коефіцієнта частотних викривлень в області нижчих частот;
- 4) $(f_H - f_{\theta})$, Гц - нижня та верхня межі частот, що підсилюються.

Необхідно визначити:

- 1) напругу джерела живлення E_K ПНЧ;
- 2) тип транзисторів;
- 3) режими роботи транзисторів;
- 4) опори резисторів дільника R_1, R_2, R_5, R_6, R_7 ;
- 5) опір резистора колекторного навантаження R_3 ;
- 6) опір резистора в колі емітера R_4 ;
- 7) ємність розділяючих конденсаторів C_1, C_2, C_4 ;
- 8) ємність конденсатора в колі емітера C_3 ;
- 9) значення коефіцієнтів підсилення каскаду за потужністю K_p .

Примітка. Вибір варіанту завдання 9.1. здійснюється за двома останніми цифрах залікової книжки студента.

Таблиця 9.1- Вихідні дані для розрахунку ПНЧ

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десять ки	одиниц і										
$P_{вих}$, Вт		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
M_H		2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
f_{θ} , Гц		20000									
	R_H , Ом	10 0	15 0	20 0	25 0	30 0	35 0	40 0	45 0	50 0	55 0
	f_H , Гц	50 0	45 0	40 0	35 0	30 0	25 0	20 0	15 0	10 0	50 0

Приклад вибору варіанта для номера залікової книжки 132:
 з колонки 3 маємо: $P_{вих}=2$ Вт, $M_H=1,9$, $f_{\theta} = 20000$ Гц;
 з колонки 2 маємо: $R_H = 200$ Ом; $f_H = 400$ Гц.

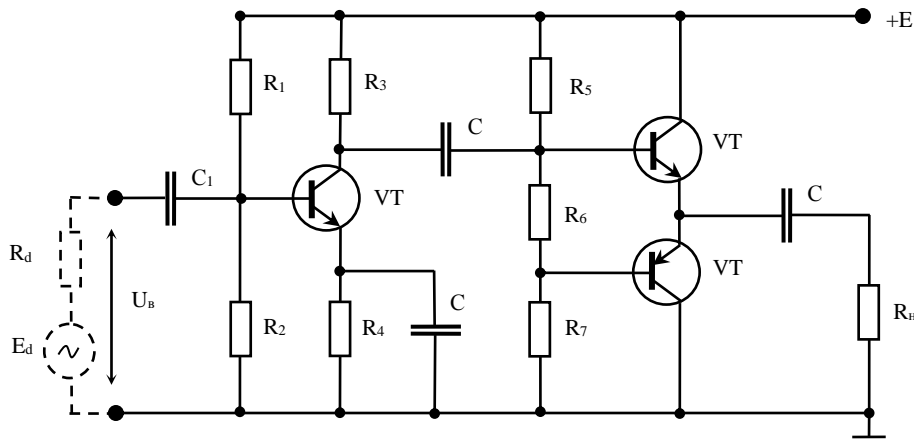


Рисунок 9.1 – Розрахункова схема двокаскадного ПНЧ.

9.1 Теоретичні рекомендації щодо розрахунку

ПНЧ призначені для підсилення безперервних періодичних сигналів, частотний спектр яких перебуває у межах від десятків герц до десятків кілогерц. Сучасні ПНЧ будуються переважно на біполярних та польових транзисторах у дискретному або інтегральному виконанні.

Функція ПНЧ полягає в отриманні на заданій величині опору навантажувального пристрою сигналу потрібної потужності від джерела, яким може бути мікрофон, звукознімач, фотоелемент, індукційний датчик та ін. За навантаження може слугувати гучномовець, вимірювальний прилад (вольтметр, осцилограф), наступний каскад підсилення та ін.

При виконанні ПНЧ розраховують параметри елементів кожного каскаду, кіл міжкаскадних зв'язків, режими роботи транзисторів. Розрахунок зазвичай виконують у послідовності, зворотній послідовності проходження сигналу в підсилювальному каскаді: спочатку розраховують елементи кінцевого каскаду, потім - передкінцевого, а далі - каскадів попереднього підсилення. Така послідовність обумовлена орієнтацією розрахунку на забезпечення на навантаженні ПНЧ заданої вихідної потужності за допустимих значень нелінійних та частотних викривлень сигналу.

Елементи схеми вибирають з урахуванням вимог стандартів до певних типів компонент. Так, резистори вибирають за номінальним значенням, найближчим до розрахункової величини опору, та за величиною потужності, що розсіюється в резисторі у робочому режимі. Конденсатори вибирають за номінальним значенням ємності, найближчим до розрахункової величини, та за величиною робочої напруги.

Номінальні значення опорів резисторів та ємностей конденсаторів (між іншим, як і номінальні значення параметрів будь-яких стандартних елементів) відповідають стандартним рядам, що, як правило, є десятковими рядами геометричної прогресії зі знаменником $q_N = \sqrt[N]{10}$, де N - кількість значень ряду. Номінальне значення параметру, що відповідає конкретній позиції ряду (від 1 до N) обчислюється як $a_i = b_0 q_N^{i-1}$. Деякі ряди номінальних значень наведені у табл. Д1. Так, для ряду E24: $N=24$; $q_{24} = \sqrt[24]{10}$; $a_0 = 1$.

Числу в індексі знаменника ряду відповідає кількість позицій ряду: так ряд E24 має 24 номінальних значення у проміжку від 1 до 10 (більша кількість при допустимому відхиленні $\pm 5\%$ не потрібна).

Будь-яке номінальне значення ряду може бути помножене на множник 10^T . Множники та їх позначення наведені в табл. Д2 (може бути, наприклад, 6,8 Ом; 680 Ом; 6,8 кОм; 68 кОм; 6,8 мкФ; 0,68 нФ; 6800 пФ та ін.).

Номінальні значення деяких елементів, особливо застарілої розробки, можуть відповідати іншим рядам.

Деякі найпоширеніші типи резисторів, що виробляються для електронних пристроїв, наведено в табл. Д4, а конденсаторів - в табл. Д6.

Примітки до табл.Д6:

1) якщо розрахункова величина ємності більша за максимальне номінальне значення конденсаторів даного типу, то необхідне значення ємності забезпечують за рахунок паралельного вмикання потрібної кількості конденсаторів;

2) якщо розрахункова величина робочої напруги більша за номінальне значення напруги конденсатора, то використовують послідовне вмикання конденсаторів.

9.2. Рекомендації щодо виконання РГР1

При побудові схеми каскаду доцільно використовувати елементи з допустимим відхиленням від номінальної величини $\pm 5\%$ (виходячи з цього, в результатах розрахунку можна залишати не більше трьох значущих цифр).

Порядок розрахунку ПНЧ доцільно проводити у наступній послідовності: спочатку розраховується кінцевий каскад підсилювача, а потім каскад попереднього підсилення.

1. Визначають напругу джерела живлення за формулою:

$$E_K \geq 2\sqrt{2P_H R_H} + |U_{KEHac}|,$$
$$P_H \approx P_{вих}$$

де $|U_{KEHac}|$ - напруга насичення транзистора, орієнтовно можна прийняти $|U_{KEHac}| = 0,5 B$;

значення E_K заокруглюють до ближнього цілого числа, (по можливості до ближнього стандартного значення).

2. Знаходять максимальну амплітуду напруги на навантаженні:

$$U_{mH} = 0,5E_K - U_{Kmin},$$

де U_{Kmin} - мінімальне значення напруги, що прикладається до колектора, можна прийняти для розрахунку $U_{Kmin} = 1B$.

3. Максимальну потужність, що розсіюється на колекторі знаходять за формулою:

$$P_K = \frac{E_K^2}{4\pi^2 R_H}$$

4. Максимальний струм колектора визначають за формулою:

$$I_{Km} = \sqrt{\frac{2P_H}{R_H}}.$$

5. Визначають граничну частоту:

$$f_{h21EG} \geq \frac{F_B}{\sqrt{M_H^2 - 1}}.$$

6. За отриманими значеннями: $P_K, I_{Km}, E_K, f_{h21EG}$ вибираються транзистори вихідного каскаду з табл. Д11 за умови:

$$\begin{aligned} P_K &\leq P_{K \max}, \\ I_{Km} &\leq I_{K \max}, \\ E_K &\leq U_{KE \max}, \\ f_{h21EG} &\leq f_{h21E} \end{aligned} \quad (9.1)$$

Якщо одна з умов не виконується, то потрібно вибрати потужніший транзистор.

7. Вибір резисторів дільника.

Дільник підмикається до напруги:

$$U_D = E_K.$$

Величина струму дільника визначається за формулою:

$$I_D = 5I_{0B},$$

де I_{0B} – струм бази транзистора в робочій точці:

$$I_{0B} = \frac{I_{0K}}{h_{21Emin}},$$

де I_{0K} – струм колектора транзистора в робочій точці орієнтовно може бути прийнятий:

$$I_{0K} = (0,2 \div 0,45)I_{Km}.$$

Амплітудне значення струму бази:

$$I_{Bm} = \frac{I_{Km}}{h_{21E}}$$

Опори дільника кінцевого каскаду:

$$R'_5 = \frac{U_D - U_{0B}}{I_{0B} + I_D},$$

$$R'_6 = \frac{U_{0B}}{I_D},$$

де U_{0B} - напруга спокою бази транзисторів, яка приймається залежно від типу вибраного транзистора (для кремнієвих: $U_{0B} = (0,6-0,7)V$, для германієвих: $U_{0B} = (0,2-0,3)V$).

Приймають: $R'_5 = R'_7$ і зі стандартного ряду (табл.Д1) вибирають ближні стандартні значення опорів: R_5, R_6, R_7 , які і використовуються для подальших обчислень.

Потужність, що виділяється на резисторах, визначається за формулою:

$$P_{R5} = P_{R7} = (I_{0B} + I_D)^2 R_5,$$

$$P_{R6} = I_D^2 R_6.$$

За табл. Д3 вибирається тип резисторів.

8. Вибір конденсаторів.

Визначають ємність конденсатора C_4 за умови забезпечення допустимого значення коефіцієнта частотних викривлень:

$$C_4 = \frac{10^6}{2\pi f_H \left(R_H + \frac{R_{exE}}{h_{21E}} \right) \sqrt{M_H^2 - 1}},$$

де множник 10^6 дозволяє отримувати значення ємності у мікрофарадах;

R_{exE} - вхідний емітерний опір:

$$R_{exE} = \frac{U_{R7}}{I_{Bm}}$$

$$U_{R7} = \frac{E_K}{R_5 + R_6 + R_7} \cdot R_7$$

Напряга на конденсаторі:

$$U_{C4} = 1,5E_K$$

За табл. Д10 вибирається за C_4 , і U_{C4} відповідний конденсатор.

9. Розраховують вхідний опір схеми з відповідного рівняння:

$$\frac{1}{R_{BXm}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6 + \frac{R_7 (R_{exE} + R_H h_{21E})}{R_7 + R_{exE} + R_H h_{21E}}},$$

10. Знаходять амплітудні значення напруги та потужності на вході каскаду:

$$U_{BXm} = \frac{I_{Bm} (R_6 + R_{exE} + R_H h_{21E})}{2},$$

$$P_{BXm} = \frac{U_{BXm}^2}{2R_{BXm}},$$

Слід зауважити, що даний підсилювач підсилення за напругою не дає, оскільки $U_{BXm} \geq U_{mH}$.

11. Знаходять розрахунковий коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю:

$$K_p \approx \frac{P_H}{P_{BXm}},$$

і для зручності переводять його у децибелі:

$$[K_p]_{дБ2} = 10 \cdot \lg K_p$$

Для розрахунку каскаду попереднього підсилення приймають:

- напруга на виході каскаду $U_{вих.м} = U_{ex.м}$;

- опір навантаження $R_H = R_{BXm}$;

12. Вибір транзистора здійснюють за виконання умов (9.1):

а) допустима напруга між колектором та емітером повинна перевищувати напругу джерела живлення:

$$U_{Kmax} \geq E_K ;$$

б) величина допустимого струму колектора повинна перевищувати максимальне значення струму у колекторному колі транзистора:

$$I_{Kmax} \geq I_{0K} + I_{Km},$$

де I_{0K} - струм спокою у колі колектора;

I_{Km} - амплітуда змінної складової струму у колі колектора;

$$I_{Km} = \frac{U_{вих.м}}{R_{H\Box}},$$

де $R_{H\Box} = \frac{R_3 R_H}{R_3 + R_H}$ - еквівалентний опір навантаження каскаду за змінним струмом. При цьому R_{12} є навантаженням за постійним струмом.

Виходячи з того, що даний каскад є підсилювачем потужності, для забезпечення максимальної передачі потужності задають:

$$R_3 = R_H,$$

(до речі, за умови підсилення напруги задають $R_3 \ll R_H$, а при підсиленні струму $R_3 \gg R_H$).

Для забезпечення економічності каскаду за мінімальних нелінійних викривлень обирають:

$$I_{0K} = (1,05 \dots 1,1) I_{Km}$$

13. Знаходять напругу між колектором та емітером транзистора у режимі спокою:

$$U_{0K} = U_{вих.м} + U_{осм},$$

де $U_{осм}$ - напруга між колектором та емітером, нижче якої при роботі каскаду виникають значні нелінійні викривлення через те, що у робочу зону потрапляють ділянки характеристик транзистора зі значною кривизною. Для транзисторів малої потужності, як правило, задають $U_{осм} = 0,5V$; для транзисторів великої та середньої потужностей $U_{осм} = 1V$.

14. Знаходять потужність, що виділяється на колекторі транзистора:

$$P_K = I_{0K} U_{0K}$$

За проведеними розрахунками п.12-п.14 з табл. Д.11 вибирається відповідний транзистор.

15. Приймають ближнє стандартне значення опору навантаження R_3 у колі колектора за таблицею Д.1. Потужність, що розсіюється на резисторі R_3 :

$$P_{R3} = I_{0K}^2 R_3$$

За табл. Д.3 вибирають тип резистора R_3 .

16. Знаходять опір резистора R_4 у колі термостабілізації із співвідношення:

$$\frac{R_4}{R_3} = (0,1 \dots 0,4),$$

що забезпечує незначне зниження динамічного діапазону каскаду і падіння напруги на R_4 , яке перевищує значення контактного потенціалу p - n переходу транзистора (для забезпечення умов температурної стабілізації режиму спокою каскаду).

Отже,

$$R_4 = 0,25 \cdot R_3$$

Із табл. Д1 вибирають стандартний опір R_4 , який і приймається для подальших обчислень.

Потужність, що розсіюється на R_4 :

$$P_{R4} = I_{0K}^2 \cdot R_4$$

За табл. Д4 вибирають тип резистора R_4 .

17. Знаходять ємність конденсатора C_3 , що шунтує R_4 за умови, що його опір на частоті f_H повинен бути у 10 разів меншим за опір резистора R_4 :

$$C_3 \geq \frac{10^6}{2\pi f_H \cdot 0,1R_H}.$$

Робоча напруга на C_3 :

$$U_{C3} = I_{0K} R_4.$$

За табл. Д1, Д2 та Д6 вибирають тип конденсатора, який би задовольняв умови вибору.

18. Знаходять величину струму спокою бази транзистора:

$$I_{0B} = \frac{I_{0K}}{h_{21E}},$$

де h_{21E} - мінімальне значення коефіцієнта передачі по струму прийняте з таблиці Д.3 для вибраного транзистора.

19. Оскільки у відкритому стані транзистора напруга між його базою та емітером становить близько $(0,6-0,7)V$ для кремнієвих і $(0,2-0,3)V$ для германієвих транзисторів, то напругу спокою бази U_{0B} можна прийняти залежно від вибраного типу транзистора і можна знайти орієнтовне значення вхідного опору транзистора:

$$R_{BX} = \frac{U_{0B}}{I_{0B}}.$$

20. Знаходять величини опорів резисторів дільника R_1, R_2 .

Дільник приєднують до напруги:

$$U_D = E_K.$$

Величина струму в дільнику вибирається в межах:

$$I_D = (2 \dots 5) I_{0B},$$

що забезпечує незалежність задання режиму спокою транзистора за зміни його параметрів під впливом температури, при заміні на інший і т.п.

Отже, падіння напруги на резисторі R_{13} складає:

$$U_{R4} = (I_{0K} + I_{0B}) R_4,$$

тоді:

$$R'_1 = \frac{U_D - U_{R4} - U_{0B}}{I_{0B} + I_D};$$

$$R'_2 = \frac{U_{R4} + U_{0B}}{I_D}.$$

За табл. Д1 вибирають ближні стандартні значення опорів дільника R_1, R_2 . Знаходять потужність, що виділяється на резисторах R_1, R_2 :

$$P_{R1} = (I_{0B} + I_D)^2 R_1;$$

$$P_{R2} = I_D^2 R_2.$$

З табл. Д3 вибирають тип резисторів дільника R_1, R_2 .

21. Знаходять ємність конденсатора C_2 за умови забезпечення допустимого значення коефіцієнта частотних викривлень M_H :

$$C_2 \geq \frac{10^6}{2\pi f_H (R_{H\Box} + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1}},$$

значення якої отримується у мікрофарадах.

Робочу напругу C_2 приймають рівною:

$$U_{C2} = 1,5E_K$$

За табл. Д1, Д10 вибирають тип конденсатора.

22. Знаходять амплітудні значення струму й напруги на вході каскаду:

$$I_{BX.m} = \frac{I_{Km}}{h_{21Emin}},$$

де h_{21Emin} - мінімальне значення коефіцієнта передачі струму в схемі зі СЕ для вибраного транзистора.

$$U_{BX.m} = I_{BX.m} R_{BX}$$

Необхідна потужність вхідного сигналу:

$$P_{BX} = \frac{I_{BX.m} U_{BX.m}}{2},$$

23. Знаходять розрахункові коефіцієнти підсилення каскаду за струмом, напругою і потужністю:

$$K_I = h_{21Emin} \frac{R_{H\Box}}{R_H}$$

$$K_U = h_{21Emin} \frac{R_{H\Box}}{R_{BX}}$$

$$K_P = K_I K_U$$

Значення коефіцієнта потужності виражене у децибелах:

$$[K_P]_{\text{дБ1}} = 10 \cdot \lg K_P.$$

Загальний коефіцієнт підсилення розрахованого ПНЧ становитиме:

$$[K_P]_{\text{дБ}} = [K_P]_{\text{дБ1}} + [K_P]_{\text{дБ2}}$$