

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Тема. Розрахунок параметрів однокаскадного підсилювача

Мета роботи: вивчення методики розрахунку транзисторного однокаскадного підсилювача змінного струму низької частоти.

Теоретичні відомості

Електронним підсилювачем називається пристрій, призначений для підсилення потужності електричного сигналу без спотворень його форми і частоти.

Підсилювачі класифікують за такими ознаками:

1. Призначення.
2. Частота сигналу, що підсилюється.
3. Форма сигналу.
4. Характер зміни з часом сигналу, що підсилюється.

Розрахунок каскаду транзисторного підсилювача розпочинають з вибору класу роботи цього підсилюючого каскаду (A , B , C чи їх комбінацій). Клас роботи визначається режимом спокою, тобто режимом роботи транзистора за постійним струмом, що і визначає ККД, коефіцієнт нелінійних спотворень, інші параметри каскаду.

Підсилювальні властивості підсилювача оцінюються коефіцієнтами підсилення:

- для схеми СЕ: $K_U \gg 1$, $K_I \gg 1$, $K_P \gg 1$;
- для схеми СК: $K_U \leq 1$, $K_I \gg 1$, $K_P \gg 1$;
- для схеми СБ: $K_U \gg 1$, $K_I \leq 1$, $K_P \gg 1$.

Всі ці ознаки накладають специфічні вимоги до побудови конкретних схем підсилювачів.

Основні формули та рівняння

Коефіцієнти підсилення каскаду:

- за напругою $K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$;
- за струмом $K_I = \frac{I_{вих}}{I_{вх}}$;
- за потужністю $K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} = K_U K_I$.

Коефіцієнт підсилення виражений у децибелах:

$$K_{и\text{дБ}} = 20\lg K_U, \quad K_{i\text{дБ}} = 20\lg K_I, \quad K_{p\text{дБ}} = 20\lg K_P. \quad (6.1)$$

Зворотне перетворення:

$$K_u = 10^{\frac{K_{u_{ДБ}}}{20}}, K_i = 10^{\frac{K_{i_{ДБ}}}{20}}, K_p = 10^{\frac{K_{p_{ДБ}}}{10}}. \quad (6.2)$$

Коефіцієнт підсилення за струмом:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}, \quad (6.3)$$

де $\alpha = 0,9 \div 0,95$.

Коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K_U = \frac{\alpha \cdot R_H}{R_E + R_B(1 - \alpha)}, \quad (6.4)$$

де R_H, R_E, R_B - відповідно опір навантаження, емітера і бази каскаду.

Вхідний опір каскаду:

$$R_{BX} = R_B + \frac{R_E}{1 - \alpha}. \quad (6.5)$$

Вихідний опір каскаду:

$$R_{ВИХ} = R_K(1 - \alpha) + R_E \frac{\alpha \cdot R_K + R_{ДЖ}}{R_E + R_B + R_{ДЖ}}. \quad (6.6)$$

Коефіцієнт частотних спотворень підсилювального каскаду:

$$M = \frac{K_0}{K}, \quad (6.7)$$

де K_0 - коефіцієнт підсилення на середніх частотах; K – коефіцієнт підсилення на будь-якій частоті робочого діапазону.

Коефіцієнт підсилення транзисторного каскаду на середніх частотах:

$$K_0 = \frac{h_{21e} R_H}{R_{ex}}. \quad (6.8)$$

Напруга зміщення в транзисторному каскаді під час використання схеми емітерної температурної стабілізації:

$$U_{BE} = I_D R_{B2} - I_{E0} R_E, \quad (6.9)$$

де $I_D = \frac{E_K}{R_{B1} + R_{B2}}$ - постійний струм діляника в колі бази транзистора; I_{E0} - постійна складова струму емітера.

Для розрахунку параметрів діляника використовують такі спів-відношення:

$$R_{B1} = \frac{E_K - U_{B0}}{I_{B0} + I_D}, \quad (6.10)$$

$$R_{B2} = \frac{U_{B0}}{I_D}, \quad (6.11)$$

$$I_D = (2 \div 5) I_{B0} . \quad (6.12)$$

де U_{B0} , I_{B0} - відповідно вхідна напруга та струм каскаду, що визначають положення робочої точки на вхідній характеристиці транзистора.

Ємність конденсатора в колі емітера:

$$C \geq \frac{10}{2\pi f_H R_E} , \quad (6.13)$$

де f_H – нижня частота спектру підсилюваних коливань, Гц.

Для забезпечення стабільної роботи каскаду використовують зворотні зв'язки. Коефіцієнт підсилення каскаду зі зворотним зв'язком:

$$K_0^* = \frac{K_0}{1 \pm K_{33} K_0} , \quad (6.14)$$

де K_0 – коефіцієнт підсилення каскаду до введення зворотного зв'язку; K_{33} – коефіцієнт зворотного зв'язку; знак «+» - використовується при від'ємному зворотному зв'язку, а знак «-» - при додатному зворотному зв'язку.

Вхідний і вихідний опори підсилюючого каскаду зі зворотним зв'язком знаходяться аналогічно:

$$R_{BX.33} = \frac{R_{BX}}{1 \pm K_{33} K_0} \quad (6.15)$$

$$R_{ВИХ.33} = \frac{R_{ВИХ}}{1 \pm K_{33} K_0} \quad (6.16)$$

Практичне завдання

Виконайте аналітичний розрахунок підсилювача низької частоти на транзисторі зображеного на рис. 7.1 за такими вихідними даними: h – параметри транзистора; параметри робочої точки транзистора у стані спокою; опір навантаження підсилювача R_H ; опір резистора у колі колектора R_K ; найменша (нижня) гранична частота підсилення f_H ; падіння напруги на резисторі R_E , яке вибирається відповідно до вимог температурної стабільності підсилювача.

Розрахувати: параметри інших елементів схеми, напругу на цих елементах і струми, що проходять через них, коефіцієнти підсилення за напругою, струмом і потужністю.

Вихідні дані підсилювача наведені у табл.7.1.

Примітка. Вибір варіанту задачі здійснюється за списком у групі.

Розраховуємо струм бази транзистора у стані спокою: $I_{0B} = \frac{I_{0K}}{h_{21E}}$.

Струм дільника, що проходить у резисторах R_1 , R_2 приймаємо рівним: $I_D = 5I_{0B}$.

Розраховуємо напругу живлення схеми як суму трьох напруг: $E_K = U_{KE} + U_{0K} + U_\delta$.

Визначаємо падіння напруги на резисторі R_2 дільника як суму двох напруг: $U_D = U_2 = U_\delta + U_{0B}$.

Визначаємо падіння напруги на резисторі R_1 : $U_1 = E_K - U_2$.

Розраховуємо опір резистора R_2 : $R_2 = \frac{U_2}{I_D}$.

При розрахунку опору резистора R_1 потрібно врахувати, що через нього протікає сума струмів: $R_1 = \frac{U_1}{I_D + I_{0B}}$.

Знаходимо вхідний опір підсилювача R_{BX} як еквівалентний опір трьох паралельно ввімкнених опорів: R_1 , R_2 , h_{11E} .

Розраховуємо опір резистора R_E : $R_E = \frac{U_{0E}}{I_{0K} + I_{0B}}$.

Із табл. Д1 приймаємо стандартні значення опорів R_E , R_1 , R_2 , які і застосовуємо для подальших розрахунків.

Розраховуємо потужність, що розсіюється на прийнятих резисторах за формулою $P_R \geq I^2 \cdot R_{ст}$, для кожного R_E , R_1 , R_2 , окремо із врахуванням величин струмів, що проходять через них (див. вище формули).

Із табл. Д3 вибираємо тип резисторів за опором і потужністю.

Визначаємо ємність шунтуючого конденсатора C_E в емітерному колі за наближеною формулою: $C_E \geq \frac{1}{2\pi f_H r_E}$, де $r_E = \frac{2h_{12E}}{h_{22E}}$.

Визначаємо ємність роздільного конденсатора на вході схеми за наближеною формулою: $C_B \geq \frac{1}{f_H R_{BX}}$.

Ємність роздільного конденсатора колекторного кола визначаємо за формулою: $C_K \geq \frac{1}{f_H R_H}$.

Визначаємо робочу напругу на конденсаторах за формулою:

$$U_{C_B} = U_{C_K} = 1,5E_K;$$

$$U_{C_E} = R_E \cdot (I_{0K} + I_{0B}).$$

З табл. Д10 за обчисленою ємністю та робочою напругою вибираємо тип конденсаторів C_E, C_B, C_K .

Визначаємо коефіцієнти підсилення:

$$\text{за напругою: } K_U = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{h_{21E} R_K}{h_{11E} (1 + h_{22E} R_K)},$$

$$\text{за струмом: } K_I = \frac{I_{\text{вих}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{h_{21E} R_B}{(R_B + h_{11E})(1 + h_{22E} R_K)},$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{за потужністю: } K_P = K_U K_I.$$

Таблиця Д1 - Ряди номінальних значень

Індекс ряду	Позиції ряду	Допустиме відхилення від номінальної величини, %
E24	1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1	± 5
E48	1,0; 1,05; 1,1; 1,15; 1,21; 1,27; 1,33; 1,4; 1,47; 1,54; 1,62; 1,69; 1,78; 1,87; 1,96; 2,05; 2,15; 2,26; 2,37; 2,49; 2,61; 2,74; 2,87; 3,01; 3,16; 3,32; 3,48; 3,65; 3,83; 4,02; 4,22; 4,42; 4,64; 4,87; 5,11; 5,36; 5,62; 5,9; 6,19; 6,49; 6,81; 7,15; 7,5; 7,87; 8,25; 8,66; 9,09; 9,53	± 2

Таблиця Д3 - Постійні резистори

Тип резистора	Діапазон опорів	Номінальна потужність, Вт
МЛТ	1 Ом ÷ 3,01 МОм	0,025; 0,05; 0,125
	1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,25; 0,5
	1 Ом ÷ 10 МОм	1; 2
С2-33	1 Ом ÷ 3 МОм	0,125
	1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,25
	0,1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,5
	1 Ом ÷ 10 МОм	1
	1 Ом ÷ 22 МОм	2
ПЕВ-2, 5	45 Ом ÷ 430 Ом	2, 5
ПЕВ-8	5 Ом ÷ 33 кОм	8
ПЕВ-10, 16, 25, 50	5 Ом ÷ 10 кОм	10, 16, 25, 50