

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи з дисципліни
"Теорія електричних кіл та сигналів"

для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми
«Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні
технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»)
усіх форм навчання

2019

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни "Теорія електричних кіл та сигналів" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Огренич Є.В., Поспеева І.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 42 с.

Укладачі : Огренич Євген Вікторович, канд. техн. наук, ст. викл.
 Поспеева Ірина Євгенівна, ст. викл.

Рецензент: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, д.т.н., доц., зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 6 від 01.02.19 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
протокол № 7 від 21.03.19 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	5
2 ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	7
3 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	8
4 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЮВАЧА.....	10
5 РОЗРАХУНОК КІНЦЕВОГО КАСКАДУ.....	11
5.1 Загальні положення.....	11
5.2 Розрахунок вихідного кола.....	12
5.3 Розрахунок усереднених характеристик	15
5.4 Розрахунок кола зміщення	15
5.5 Розрахунок результуючих характеристик кінцевого каскаду з урахуванням зворотного зв'язку	16
6 РОЗРАХУНОК ПЕРЕДКІНЦЕВОГО КАСКАДУ	17
6.1 Загальні положення.....	17
6.2 Вибір типу транзистора	19
6.3 Вибір режиму роботи транзистора за постійним струмом	20
6.4 Розрахунок усереднених характеристик каскаду	22
6.4.1 Розрахунок параметрів каскаду за статичними характеристиками транзистора	22
6.4.2 Розрахунок характеристик каскаду за параметрами транзистора в точці спокою	23
6.5 Розрахунок кола зміщення	25
6.6 Розрахунок результуючих характеристик каскаду.....	26
7 РОЗРАХУНОК ВХІДНОГО КАСКАДУ	27
7.1 Загальні положення.....	27
7.2 Вибір типу транзистора та розрахунок режиму роботи за постійним струмом	28
7.3 Розрахунок характеристик каскаду та кола зміщення	30
8 РОЗРАХУНОК ЄМНОСТЕЙ КОНДЕНСАТОРІВ	32
8.1 Розрахунок розділових конденсаторів	32
8.2 Розрахунок ємітерного конденсатора.....	33
8.3 Розрахунок конденсатора кола фільтру	33
9 РОЗРАХУНОК НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ	34
9.1 Загальні положення.....	34
9.2 Побудова кризової динамічної характеристики і розрахунок нелінійних спотворень передкінцевого каскаду	36
9.3 Побудова кризової динамічної характеристики і розрахунок нелінійних спотворень кінцевого каскаду	38
10 РОЗРАХУНОК РЕЗУЛЬТУЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДСИЛЮВАЧА	40
ЛІТЕРАТУРА	42

ВСТУП

Мета курсової роботи - придбати навички самостійного розв'язання інженерних задач по розрахунку та аналізу підсилювальних каскадів.

Основні задачі курсової роботи:

- навчитися користуватися технічною та довідковою літературою;
- оволодіти засобами інженерного розрахунку підсилювальних каскадів по заданим технічним вимогам;
- навчитися вірно вибирати типи розрахункових схемотехнічних елементів(транзисторів, діодів, резисторів, конденсаторів);
- оволодіти засобами аналізу підсилювальних каскадів на OEM;
- реалізувати знання діючих нормативно-технічних документів при оформленні пояснювальної записки та графічної частини роботи.

Мета методичних вказівок - упорядкувати і полегшити роботу студентів у процесі проектування та оформлення пояснювальної записки.

Методичні вказівки містять як рекомендації загального характеру, так і детальне викладення методик розрахунку типових каскадів підсилювача.

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Задача курсової роботи - розрахунок трьохкаскадного підсилювача.

В процесі розрахунку необхідно за заданими і вибраними елементами схеми визначити наступні параметри підсилювача:

- потужність, що виділяється в навантаженні, $P_{вих}$;
- коефіцієнт підсилення по потужності в області середніх частот, $K_{Pзгг}$;

- амплітуду ЕРС джерела вихідного сигналу, $E_{дж}$;
- коефіцієнт частотних спотворень в області нижніх частот, $M_{Нзгг}$;

- коефіцієнт частотних спотворень в області верхніх частот, $M_{Взгг}$;

- вхідний опір в області середніх частот, $R_{ВХзгг}$;
- коефіцієнт гармонії, $K_{Гзгг}$;
- струм, що споживається від джерела живлення, $I_{згг}$;
- ККД, $\eta_{згг}$.

В завдання входить також розрахунок амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик вихідного та передкінцевого каскаду, включаючи конденсатори $C3$ та (або) $C5$, рис. 3.1.

Вхідними даними для розрахунку підсилювача є:

типи транзисторів кінцевого каскаду;

величина джерела живлення, $E_{дж}$;

опір навантаження підсилювача, $R_{н}$;

коефіцієнт асиметрії характеристик транзисторів, γ ;

внутрішній опір джерела сигналу, $R_{дж}$;

граничні частоти смуги пропускання, F_H та F_B ;

коефіцієнти частотних спотворень в області нижніх частот для конденсаторів C_i схеми підсилювача, M_{Hi} .

Вхідні дані для розрахунку вибирають з табл. 1.1 - 1.3 згідно номеру варіанту. Номер варіанту визначається трьома останніми цифрами номеру залікової книжки.

Наприклад, номер залікової книжки - 801410. Цьому номеру відповідає варіант завдання 410. Вхідні дані для варіанту 410 повинні бути виписані з стовпця 4 табл. 1.3, стовпця 1 табл. 1.2 та з стовпця 0 табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Вихідні дані для розрахунку за останньою цифрою шифру

Тип парам	Тип транзистора та величина параметра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип	ГТ	ГТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ
VT3	402Б	402Б	814Б	814Б	814Б	814Б	816Б	816Б	816Б	816Б
Тип	ГТ	ГТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ	КТ
VT4	404Б	404Б	815Б	815Б	815Б	815Б	817Б	817Б	817Б	817Б
Е _ж , В	12	10	8	16	12	14	16	14	12	10
R _н , Ом	15	12	10	8	6	10	8	7	6	5
γ, %	15	12	10	15	12	10	15	12	10	15

Таблиця 1.2 - Вихідні дані для розрахунку за другою цифрою шифру

Позн параметру	Величина параметру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R _{дж} , кОм	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F _н , Гц	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
F _в , кГц	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

Таблиця 1.3 - Вихідні дані для розрахунку за першою цифрою шифру

Позн елементу	Коефіцієнт частотних спотворень, Мн									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
C1, C3, C5	1,020	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,032	1,034	1,036	1,038
C4, C6	1,040	1,042	1,044	1,046	1,048	1,050	1,052	1,054	1,056	1,058

2 ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Курсова робота повинна складатися з пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини.

Пояснювальну записку необхідно оформлювати у відповідності з вимогами СТП15-96 та ДСТУ 3008-95.

Пояснювальна записка повинна містити:

- титульний лист (додаток А);
- технічне завдання;
- реферат;
- зміст;
- вступ;
- електричний розрахунок каскадів;
- розрахунок результуючих характеристик підсилювача;
- розрахунок на OEM характеристик вхідного та (або)

передкінцевого каскадів підсилювача;

- висновок;
- список джерел, що використовувались.

Обсяг пояснювальної записки повинен бути у межах 20-25 листів рукописного тексту.

У графічну частину входять наступні розділи:

- схема принципова електрична (ЕЗ), що розробляється, виконана за ДСТУ ГОСТ 2.702: на форматі А4;
- перелік елементів (ПЕЗ), виконаний за ДСТУ ГОСТ 2.702:2013.

3 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Схема електрична принципова проектованого підсилювача зображена на рис.3.1.

Підсилювач складається з трьох каскадів: вхідного, попереднього та кінцевого. У каскадах використані типові схеми, що застосовуються у напівпровідниковій схемотехніці.

Каскад на транзисторі VT1 є вхідним. Він являє собою емітерний повторювач (RC-каскад з загальним колектором - ЗК). Завдяки наявності глибокого негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) емітерний повторювач має високий вхідний та низький вихідний опір, широку смугу пропускання, стабільні характеристики. Однак його коефіцієнт підсилення по напрузі не перевищує одиниці. Застосовується емітерний повторювач найчастіше для погодження високого внутрішнього опору джерела сигналу з низькоомним вхідним опором каскадів попереднього підсилення. Каскад попереднього підсилення зібраний на транзисторі VT2 та являє собою RC-каскад на транзисторі з загальним емітером. Цей каскад забезпечує найбільше підсилення по напрузі і потужності у порівнянні з іншими схемами включення транзистора.

Замість кінцевого каскаду (підсилювача потужності) застосований двохтактний безтрансформаторний каскад на транзисторах VT3 і VT4 різної провідності. Для зменшення споживання енергії від джерела живлення $E_{ж}$ кінцевий каскад працює в режимі АВ. Режим АВ має достатньо високий ККД і малі нелінійні викривлення за рахунок вибору точки спокою у нижній частині лінійної ділянки ВАХ транзисторів. Подальше зниження нелінійних спотворень забезпечене включенням транзисторів VT3 та VT4 по схемі з ЗК. Пари резисторів: R1-R2, R4-R5, R9-R10 - подільники напруги, що забезпечують напругу зміщення на бази транзисторів. Діод VD1 також входить в подільник напруги та водночас виконує функції елемента схеми термокомпенсації.

У каскаді на транзисторі VT2 використана емітерна термостабілізація режиму включенням резистора R7. Для усунення НЗЗ по змінному струму введений блокувальний конденсатор C4. Елементи C1, C3, C5, C6 є розділовими конденсаторами.

Для зменшення небезпеки самозбудження підсилювача за рахунок паразитного зворотного зв'язку між каскадами через загальне джерело живлення введений RC-фільтр на елементах C2, R8. Резистори R3, R6 - навантаження по постійному струму відповідних каскадів, а R11 - навантаження підсилювача.

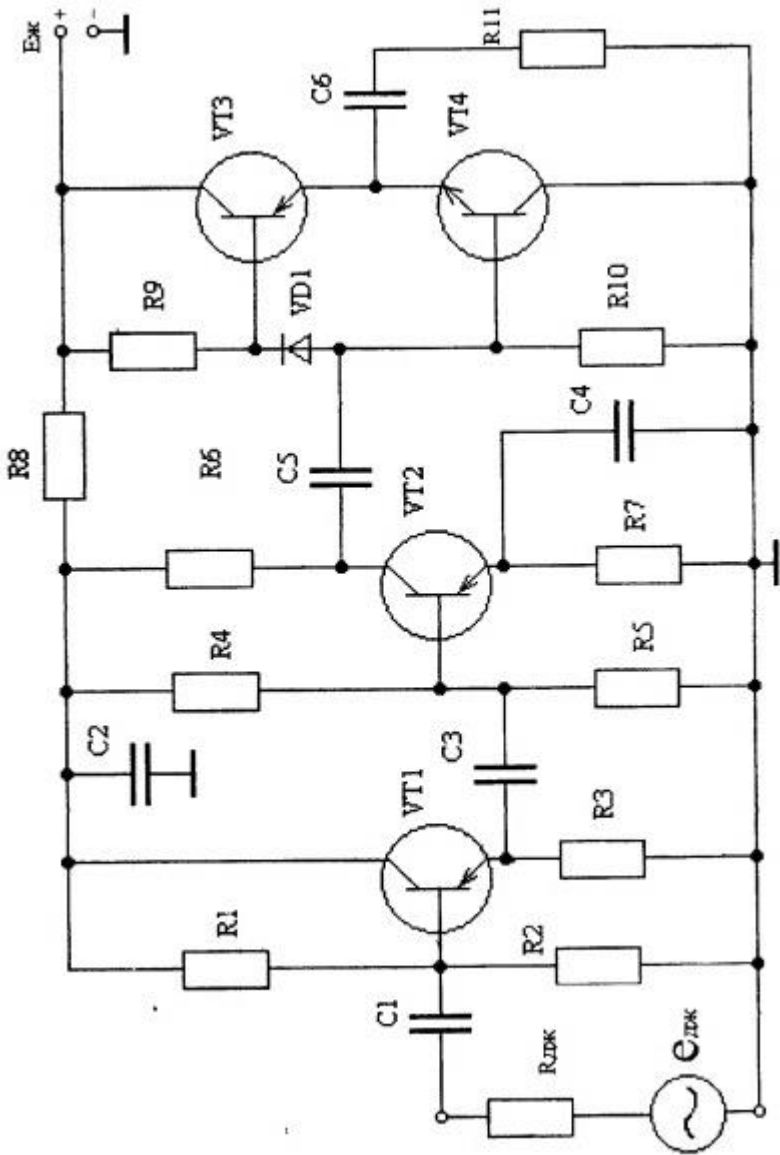


Рисунок 3.1 - Схема електрична принципа на підсилювача

4 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЮВАЧА

Розрахунок підсилювача починають з кінцевого каскаду, після чого розраховують передкінцевий каскад і закінчують розрахунком вхідного каскаду.

Спочатку проводять попередній розрахунок підсилювача на середній частоті, не враховуючи вплив реактивних елементів схеми.

В результаті розрахунку визначають:

- постійні і змінні струми та напруги в колах каскадів;
- опори резисторів схеми каскадів.

При виборі стандартного номіналу опору його розрахункове значення округляють до найближчого значення, враховуючи при цьому похибку вибраного резистора. В обов'язковому порядку необхідно визначити потужність, що розсіюється (P_r), за формулою:

$$P_r = (I_0^2)R ,$$

де I_0 - постійний струм, що протікає через резистор.

За розрахованим значенням P_r необхідно вибрати потужність резистора, причому розраховане значення P_r повинно бути менше вибраного.

Після розрахунку підсилювача на середній частоті визначають коефіцієнт частотних спотворень $M_{Нзаг}$ та $M_{Взаг}$, за допомогою яких оцінюють зменшення підсилення на нижній F_H та верхній F_B частотах смуги пропускання по порівнянню з середньою частотою. За значенням коефіцієнта частотних спотворень роблять вибір ємності та типу конденсатора. Значення ємності обов'язково округляють до найближчого стандартного значення. При виборі типу конденсатора напруга на ньому повинна бути менша припустимої для даного типу в 2-3 - рази.

На заключному етапі розрахунку підсилювача визначаються нелінійні спотворення, що вносяться кінцевими та передкінцевими каскадами.

5 РОЗРАХУНОК КІНЦЕВОГО КАСКАДУ

5.1 Загальні положення

5.1.1 Кінцевий каскад підсилювача працює у режимі великого сигналу, тому його розрахунок робиться графоаналітичним засобом з використанням статичних ВАХ транзисторів. Припускається, що транзистори VT3, VT4 мають ідентичні характеристики, тому розрахунок ведеться тільки для одного плеча каскаду. Можливі відмінності характеристик транзисторів враховуються на заключному етапі розрахунку при визначенні нелінійних спотворень введенням коефіцієнта асиметрії γ , що встановлює відмінність струмів транзисторів плечей у $(1 + \gamma)$ раз.

5.1.2 Розрахунок одного плеча каскаду проводиться за наведеними в довідниках, наприклад [1; 2], ВАХ для схеми виключення транзисторів з ЗЕ. Після знаходження всіх характеристик кінцевого каскаду при включенні транзистора з ЗЕ, т.е. без врахування зворотного зв'язку, проводиться перелік характеристик для схеми включення транзистора з ЗК. Для цього вводиться коефіцієнт F , який ураховує глибину НЗЗ, що має місце, при Включенні транзистора з ЗК.

5.1.3 Оцінка нелінійних спотворень у кінцевому каскаді здійснюється після розрахунку передкінцевого каскаду на транзисторі VT2, бо на нелінійні спотворення впливає його вихідний опір.

5.1.4 Вхідні дані для розрахунку:

- опір навантаження підсилювача, R_{11} ;
- напруга джерела живлення, $E_{жс}$;
- статистичні вхідна і вихідна ВАХ транзистора VT3 або VT4 для схеми включення з ЗЕ.

В результаті розрахунку необхідно визначити:

- потужність сигналу, що виділяється на навантаженні, $P_{вих}$;
- коефіцієнти підсилення по потужності K_p та по напрузі K_u ;
- амплітуду вхідної напруги $U_{вх}$ і струму $I_{вх}$;
- ККД, η ;
- вхідний опір каскаду, $R_{вх}$;
- типи та номінали елементів схеми.

5.2 Розрахунок вихідного кола

5.2.1 На статичній вихідній характеристиці транзистора (рис. 5.1а) проводимо нагрузочну пряму через точки А і В. Точка А відповідає напрузі, що визначається за формулою:

$$E_K = E_{жс} / 2$$

де $E_{жс}$ – напруга джерела живлення, В.

Точка В відповідає струмові, що визначається за формулою:

$$I = E_K / R_{II}$$

де R_{II} – опір навантаження підсилювача, Ом.

5.2.2 Визначаємо з рис 5.1а остаточну напругу $U_{ост}$, що відсікає нелінійну частину вихідних характеристик. Одержуємо точку С на нагрузочній прямій, точці С відповідає струм I_{Kmax} .

5.2.3 Вибираємо на нагрузочній прямій точку спокою Д, що визначається силою струму $I_{ко}$. Зменшення значення $I_{ко}$ підвищує η каскаду, однак збільшує нелінійні спотворення за рахунок нелінійності початкової ділянки вхідних характеристик транзистора (рис. 5.1, б). Звичайно сила струму $I_{ко}$ складає 5...10% від I_{Kmax} . Переносимо точки С та Д на вхідну характеристику (рис. 5.1, б) та визначаємо струми $I_{б0}$, $I_{бmax}$ та напруги $U_{б0}$, $U_{бmax}$.

5.2.4 Визначаємо середнє значення сили струму I_{Kcp} , що споживається транзистором за формулою:

$$I_{Kcp} = \alpha_0 (\beta) \cdot I_{Kmax},$$

де $\alpha_0 (\beta)$ – коефіцієнт постійної складової колекторного струму;

β – кут відсічки колекторного струму.

Кут відсічки β береться з таблиці 5.1 в залежності від співвідношення струмів $I_{ко}$ та I_{Kmax} :

$$a = I_{ко} / I_{Kmax}$$

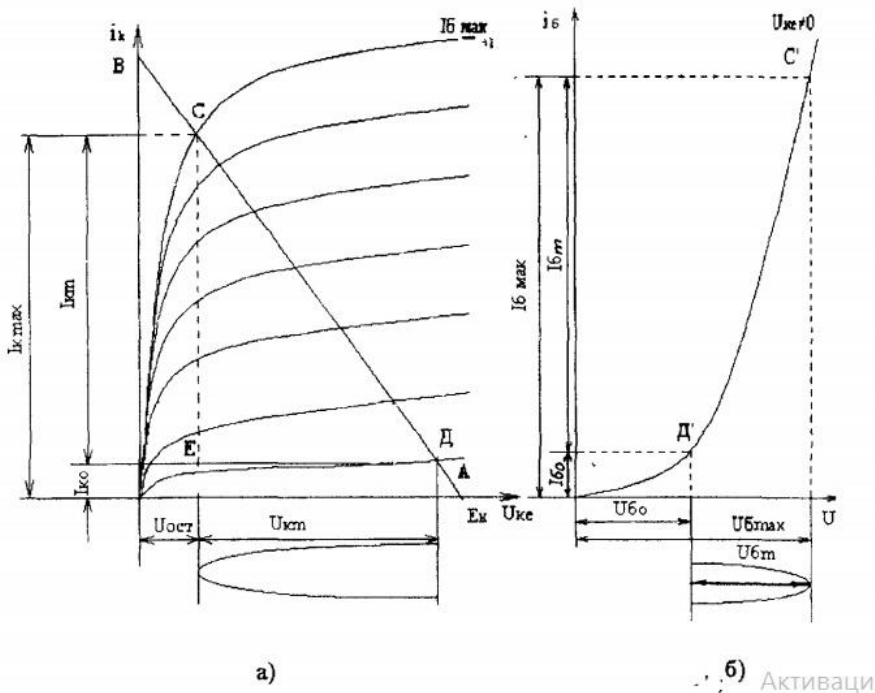


Рисунок 5.1 - Статичні характеристики транзистора

Таблиця 5.1-Значення кутів відсічки колекторного струму

α	β^0	$\alpha_0 (\beta)$	α	β^0	$\alpha_0 (\beta)$	α	β^0	$\alpha_0 (\beta)$
0	90	0.319	0.10	96.5	0.338	0.20	104.5	0.362
0.05	93	0.328	0.12	98	0.343	0.25	109.5	0.379
0.08	95	0.334	0.15	100	0.35	0.30	115.5	0.393

5.2.5 Будуємо на рис. 5.1, а, трикутник потужності СДЕ, сторони якого визначають амплітуди колекторного струму $I_{км}$ (СЕ) і напруги $U_{км}$ (ЕД). Розраховуємо вихідну потужність, що віддається в навантаження за формулою:

$$P_{вих} = (U_{км} \cdot I_{км}) / 2$$

де $P_{вих}$ – вихідна потужність, що віддається в навантаження,
Вт;

$U_{кт}$ – амплітуда колекторної напруги, В;

$I_{кт}$ – амплітуда колекторного струму, А.

5.2.6 Визначаємо потужність, що споживається каскадом за формулою:

$$P_o = E_{жс} \cdot I_{к ср}$$

5.2.7 Визначаємо потужність, розсіювання на колекторах транзисторів за формулою:

$$P_{рас} = P_o - P_{вих}$$

5.2.8 Перевіряємо виконання умов:

$$P_{к доп} \geq P_{рас} / 2,$$

$$I_{к доп} > (1,2 \div 1,3) I_{к max} \quad (5.1)$$

де $P_{к доп}$ – потужність розсіювання на колекторі транзистора, що допускається;

$I_{к доп}$ – допустимий струм колектора.

$P_{к доп}$ та $I_{к доп}$ беремо з довідкової літератури для заданого типу транзистора.

5.2.9 Розраховуємо ККД каскаду за формулою:

$$\eta = P_{вих} / P_o$$

5.3 Розрахунок усереднених характеристик

5.3.1 З рис. 5.1б визначаємо амплітуду струму бази за формулою:

$$I_{\bar{b}m} = I_{\bar{b}max} - I_{\bar{b}o}$$

Визначаємо напругу на базі за формулою:

$$U_{\bar{b}m} = U_{\bar{b}max} - U_{\bar{b}o}$$

5.3.2 Визначаємо усереднену вхідну провідність транзистора за формулою:

$$g_{11} = I_{\bar{b}m} / U_{\bar{b}m}$$

5.3.3 Розраховуємо усереднену крутизну характеристики транзистора за формулою:

$$S = I_{km} / U_{\bar{b}m}$$

5.4 Розрахунок кола зміщення

5.4.1 Визначаємо напругу на діоді VD1 за формулою:

$$U_{\bar{d}} = 2 \cdot U_{\bar{b}o}$$

Якщо отримане значення досить значне, то для отримання заданої напруги треба увімкнути послідовно два діоди.

Для напруги $U_{\bar{d}}$ за характеристиками діоду знаходимо відповідну силу струму $I_{\bar{d}}$, що повинна задовольняти умові:

$$(10-12) \cdot I_{\bar{b}o} > I_{\bar{d}} > (2-3) \cdot I_{\bar{b}o}$$

5.4.2 Вважаючи струм подільника рівним струму діоду, визначаємо опір резисторів в колі подільника $R_{\bar{d}}$ та $R_{I\bar{d}}$ за формулою:

$$R_{\bar{d}} = R_{I\bar{d}} = R_{\bar{d}} = (E_{жс} - U_{\bar{d}}) / 2 \cdot I_{\bar{d}}$$

Номинальне значення опору резисторів і ємностей конденсаторів слід вибирати з певних рядів чисел. В виробництві

резисторів і конденсаторів найчастіше використовуються ряди Е6, Е12 і Е24.

5.4.3 Розраховуємо опір подільника по змінному струму за формулою:

$$R_{\text{дil}} \approx R_{\text{д}} / 2$$

5.5 Розрахунок результуючих характеристик кінцевого каскаду з урахуванням зворотного зв'язку

5.5.1 Визначаємо глибину негативного зворотнього зв'язку за формулою:

$$F = 1 + S \cdot R_{11} \quad (5.2)$$

5.5.2 За отриманим значенням глибини НЗЗ визначаємо коефіцієнт підсилення за напругою за формулою:

$$K_o = S \cdot R_{11} / F$$

5.5.3 Розраховуємо амплітуду вхідної напруги за формулою:

$$U_{m \text{ вх}} = U_{k \text{ м}} / K_o$$

5.5.4 Розраховуємо вхідний опір по змінному струму за формулою:

$$R_{\text{вх}} = F \cdot R_{\text{дil}} / (F + g_{11} \cdot R_{\text{дil}})$$

5.5.5 Знаходимо амплітуду вхідного струму за формулою:

$$I_{m \text{ вх}} = U_{m \text{ вх}} / R_{\text{вх}}$$

5.5.6 Визначаємо коефіцієнт підсилення по струму за формулою:

$$K_i = I_{k \text{ м}} / I_{m \text{ вх}}$$

5.5.7 Визначаємо коефіцієнт підсилення по потужності за формулою:

$$K_p = K_o \cdot K_i$$

6 РОЗРАХУНОК ПЕРЕДКІНЦЕВОГО КАСКАДУ

6.1 Загальні положення

6.1.1 Передкінцевий каскад, зібраний на транзисторі VT2 за схемою з ЗЕ, що забезпечує високий коефіцієнт підсилення по напрузі і потужності.

Навантаження каскаду R_n - вхідний опір кінцевого каскаду $R_{вх\ кк}$, на якому повинна бути виділена напруга $U_{км}$, що дорівнює вхідній напрузі кінцевого каскаду $U_{твк\ кк}$.

Передкінцевий каскад працює в режимі А, рівень сигналу в колах каскаду ще достатньо високий, тому розрахунок каскаду проводиться графоаналітичним способом з використанням ВАХ транзистора.

6.1.2 Схема передкінцевого каскаду з урахуванням введених позначок приведена на рис. 6.1.

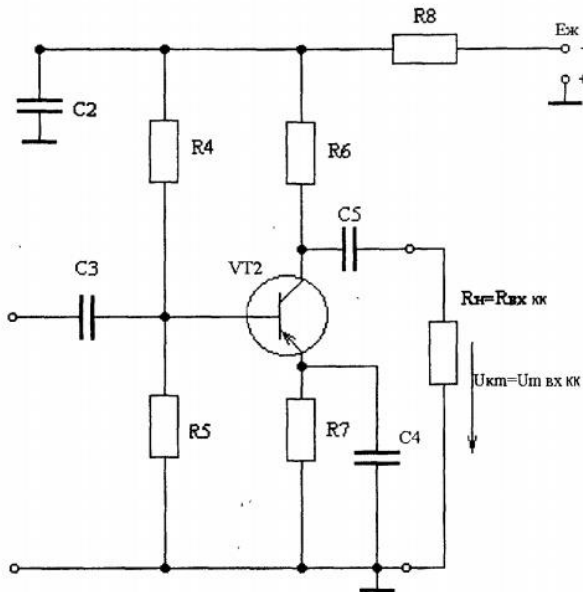


Рисунок 6.1 - Схема перед кінцевого каскаду підсилювача

В колекторному колі для постійних струму I_{k0} та напруги U_{k0} , що визначають точку спокою транзистора, мають місце співвідношення:

$$I_{k0} = I_{km} + I_{ост} \quad (6.1)$$

$$U_{k0} = U_{к ост} + U_{m вх кк} = E_k - I_{k0} \cdot R_6 - U_{e0} \quad (6.2)$$

де: $U_{e0} = I_e \cdot R_7$

I_{e0} - сила струму емітера в точці спокою.

Зв'язок між амплітудами вихідного струму $I_{mвк кк}$ та струму колектора I_{km} визначається за формулою:

$$I_{km} = \frac{1+R_{вх кк}}{R_6} I_{m вх кк} \quad (6.3)$$

З (6.1), (6.2), (6.3) випливають залежності:

$$R_6 = \frac{E_k - U_{e0} - U_{к ост} - 2 \cdot R_{вх кк}}{1 + \frac{I_{к ост}}{I_{m вх кк}}}$$

$$I_{k0} = I_{к ост} + \frac{1+R_{вх кк}}{R_6} \cdot I_{m вх кк} \quad (6.4)$$

де $U_{к ост}$ - напруга, що відсікає початкову нелінійну ділянку на вихідних характеристиках транзисторів,

$I_{к ост}$ - початкове значення струму, нижче якого виявляється нелінійність вхідних характеристик транзистору.

Звичайно $U_{к ост}$ дорівнює 1...2 В для германієвих та 1,5...2,5 В для кремнієвих транзисторів; $I_{к ост}$ дорівнює 0.3...0.5 мА для транзисторів малої потужності та 10...30 мА для транзисторів середньої та великої потужності.

6.1.3 Падіння напруги на опорі фільтру R8 рекомендується брати в межах (10-20)% від $E_{\text{Ж}}$.

При цьому:

$$E_K = (0,8 \dots 0,9) E_{\text{Ж}} \quad (6.5)$$

Падіння напруги на R7:

$$U_{e0} = (0,1 \dots 0,2) E_{\text{Ж}} \quad (6.6)$$

6.1.4 Підсилення каскаду залежить від коефіцієнту K_R :

$$K_R = 1 + \frac{R_{\text{вх кк}}}{R_6} \quad (6.7)$$

З його збільшенням підсилення зростає, але при цьому зростає необхідна величина напруги живлення. Найкращі умови мають місце при $K_R = (1,2 \dots 1,5)$

6.1.5 Початкові дані для розрахунку:

- напруга живлення, $E_{\text{Ж}}$;
- амплітуда вхідної напруги кінцевого каскаду, $U_{\text{т вх кк}}$;
- вхідний опір кінцевого каскаду, $R_{\text{вх кк}}$;
- амплітуда вхідного струму кінцевого каскаду, $I_{\text{т вх кк}}$.

В результаті розрахунку необхідно вибрати тип транзистора та визначити коефіцієнти підсилення за напругою, струмом, потужністю; ККД; вхідний та вихідний опір; номінали і типи резисторів.

6.2 Вибір типу транзистора

Транзистор вибирається за: максимально допустимою напругою між колектором та емітером $U_{\text{кє доп}}$, максимально допустимим струмом колектора $I_{\text{к доп}}$, максимально допустимою потужністю розсіювання на колекторі $P_{\text{к доп}}$. Крім цього можуть бути задані вимоги до частотних властивостей транзистора. Транзистор повинен задовольняти наступним умовам:

$$\begin{aligned}
 U_{ке доп} &> (1,5 \dots 2,0) E_{жс}, \\
 I_{к доп} &> (1,5 \dots 2,0) I_{т вх кк}, \\
 P_{к доп} &> (1,5 \dots 2,0) P_{вх кк}, \\
 f_{h 2le} &> (2 \dots 4) F_{в}
 \end{aligned}
 \tag{6.8}$$

де $U_{ке доп}$ – допустима напруга на переході колектор емітер обраного транзистора, В;

$I_{к доп}$ – допустимий струм колектора обраного транзистора, А;

$I_{т вх кк}$ – амплітуда вхідного струму кінцевого каскаду, А;

$P_{к доп}$ – допустима потужність розсіювання на колекторі, Вт;

$F_{в}$ – верхня межа частоти пропускання, Гц;

6.3 Вибір режиму роботи транзистора за постійним струмом

6.3.1 На вихідних характеристиках транзистора, наведених рис. 6.2а, приблизно визначаємо межі лінійної ділянки за допомогою величин $U_{к ост}$ та $I_{к ост}$.

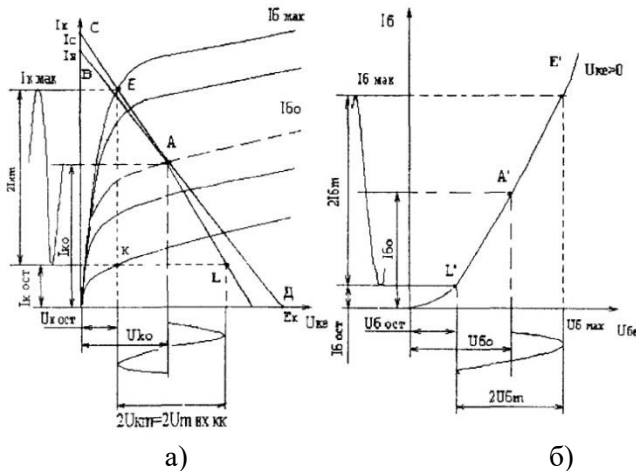


Рисунок 6.2 - Статичні характеристики транзистора

З (6.5) знаходимо напругу живлення каскаду $E_{к}$.

6.3.2 Задаємось у відповідності з (6.6) величиною U_{e0} та за відомими з розрахунку кінцевого каскаду $R_{вх\ кк}$ та $I_{т\ вх\ кк}$ знаходимо з (6.4) опір R_6 у колі колектора.

Якщо R_6 виявиться негативним, або не задовольнить умовам, які накладаються на K_R (6.7), то необхідно перерахувати кінцевий каскад, зменшивши вихідну потужність, тобто опустити точку C на рис. 5.1.а.

6.3.3 З (6.4) та (рис. 6.2б) знаходимо координати $I_{к0}$, $U_{к0}$ точки спокою A на вихідних характеристиках транзистору.

6.3.4 Переносимо точку спокою A на вхідні характеристики, одержуємо точку A' на рис. 6.2б та визначаємо струм бази $I_{б0}$ та напругу на базі $U_{б0}$ у точці спокою.

6.3.5 Знаходимо значення R_7 :

$$R_7 = \frac{U_{e0}}{I_{к0}}$$

6.3.6 Перевіримо правильність вибору положення точки спокою. Для цього на рис. 6.2а побудуємо нагрузочні прямі за постійним (пряма ВД) та змінним струмом (пряма СА).

Струм I_e розраховується за формулою:

$$I_e = \frac{E_k}{R_6 + R_7}$$

Струм I_c розраховується за формулою:

$$I_c = I_{к0} + \frac{U_{к0} - U_{e0}}{R_{H\sim}}$$

де $R_{H\sim}$ – опір навантаження транзистора за змінним струмом, Ом, що визначається за формулою:

$$R_{H\sim} = \frac{R_{вх\ кк} \cdot R_6}{R_{вх\ кк} + R_6}$$

Відрізок KL на рис. 6.2а повинен відповідати $2U_{кт} = 2Um_{вх\ кк}$

6.3.7 Визначимо потужність, що споживається транзистором за формулою:

$$P_o = U_{кo} \cdot I_{кo}$$

Перевіряємо виконання умов:

$$P_{к доп} \geq P_o$$

$$I_{к доп} \geq (1,2 \dots 1,3) (I_{кo} + I_{кm})$$

де $P_{к доп}$ – допустима потужність розсіювання на колекторі, Вт;
 $I_{к доп}$ – допустимий струм колектора обраного транзистора, А.

Якщо умови не виконуються, слід змінити режим роботи транзистора за постійним струмом, або вибрати більш потужний транзистор.

6.4 Розрахунок усереднених характеристик каскаду

Можливе застосування двох варіантів розрахунку.

За першим варіантом розрахунок проводиться аналогічно розрахунку кінцевого каскаду безпосередньо за геометричними побудовами на вхідній та вихідній статичних характеристиках транзистора.

Другий варіант розрахунку ґрунтується на використанні “у” або “h” - параметрів транзистора, визначених у робочій точці.

Перший варіант застосовується в режимі великого сигналу, другий - для режиму малого сигналу.

6.4.1 Розрахунок параметрів каскаду за статичними характеристиками транзистора

6.4.1.1 З рис. 6.2б визначаємо амплітуду струму бази $I_{бm}$ та напруги на базі $U_{бm}$:

$$I_{бm} = \frac{I_{б max} - I_{б ост}}{2} = I_{б0} - I_{б ост}$$

$$U_{\text{бт}} = \frac{U_{\text{б max}} - U_{\text{б ост}}}{2} = U_{\text{б0}} - U_{\text{б ост}}$$

6.4.1.2 Знаходимо усереднену вхідну провідність транзистора в схемі:

$$q_{11} = \frac{I_{\text{бт}}}{U_{\text{бт}}}$$

6.4.1.3 Розраховуємо вихідний опір каскаду:

$$R_{\text{вих}} = \frac{R_{\text{вих заг}} \cdot R_{\text{вх кк}}}{R_{\text{вих заг}} + R_{\text{вх кк}}}$$

$$\text{де: } R_{\text{вих заг}} = \frac{U_{\text{к т}}}{I_{\text{к т}}}$$

6.4.1.4 Визначаємо коефіцієнти підсилення за напругою:

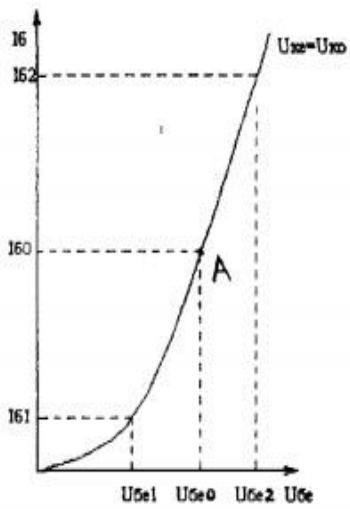
$$K = \frac{U_{\text{к т}}}{U_{\text{б т}}}$$

6.4.2 Розрахунок характеристик каскаду за параметрами транзистора в точці спокою

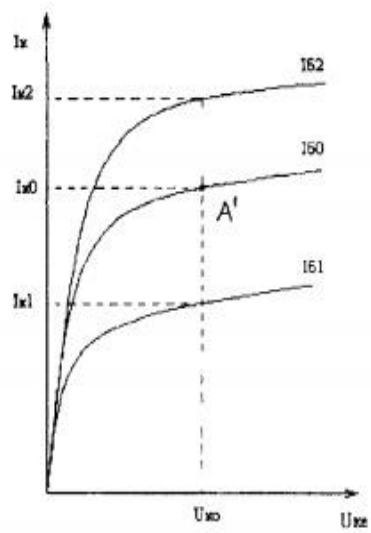
6.4.2.1 В точці спокою (точки А, А' на рис. 6.3) способом прирощення визначаємо параметри транзистору,

Вхідну провідність розраховуємо за вхідною характеристикою при $U_{\text{ке}} = U_{\text{ко}}$ за допомогою побудовань, наведених на рис. 6.3 а:

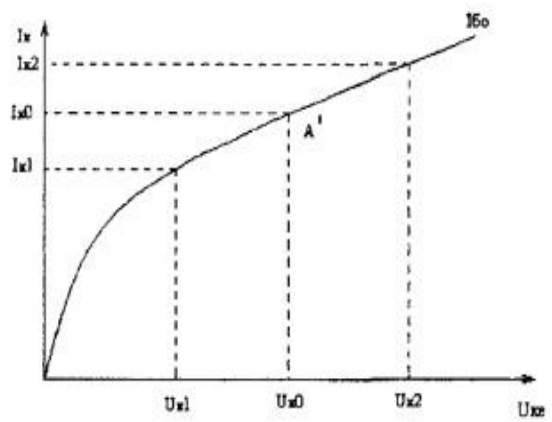
$$q_{110} = \frac{\Delta I_{\text{б}}}{\Delta U_{\text{б3}}} \Big|_{U_{\text{к3}}=U_{\text{к0}}} = \frac{I_{\text{б2}} - I_{\text{б1}}}{U_{\text{б2}} - U_{\text{б1}}}$$



a)



б)



в)

Рисунок 6.3 - Сімейства статичних характеристик транзистора

Крутизну S_0 визначаємо за вхідною характеристикою та сімейством вихідних на рис. 6.3 б.

$$S_0 = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta U_{\text{бз}}} \right|_{U_{\text{бз}}=U_{\text{б0}}} = \frac{I_{\kappa 2} - I_{\kappa 1}}{U_{\text{б2}} - U_{\text{б1}}}$$

Вихідну провідність q_{220} знаходимо в вихідній характеристиці для точки спокою (див. рис. 6.3 в).

$$q_{220} = \left. \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta U_{\kappa 2}} \right|_{U_{\text{бз}}=U_{\text{б0}}} = \frac{I_{\kappa 2} - I_{\kappa 1}}{U_{\kappa 2} - U_{\kappa 1}}$$

6.4.2.2 Розраховуємо коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K = \frac{S_0}{q_{220} + \frac{1}{R_{H\sim}}}$$

$$R_{H\sim} = \frac{R_{\text{вх кк}} \cdot R_6}{R_{\text{вх кк}} + R_6}$$

6.4.2.3 Визначаємо амплітуду напруги на базі транзистора:

$$U_{\text{бm}} = \frac{U_{m \text{ вх кк}}}{K}$$

6.4.2.4 Розраховуємо вихідний опір каскаду:

$$R_{\text{вих}} = \frac{R_6}{1 + q_{220} \cdot R_6}$$

6.5 Розрахунок кола зміщення

6.5.1 Вибираємо струм в колі подільника: $I_{\text{д}} > (2 \dots 3) I_{\text{б0}}$

6.5.2 Знаходимо значення R_4 та R_5 :

$$R4 = \frac{E_k - U_{\text{б0}} - U_{e0}}{I_d + I_{\text{б0}}}$$

$$R5 = \frac{U_{\text{б0}} + U_{e0}}{I_d}$$

6.5.3 Перевіряємо виконання умови $R5 = (5 \dots 10) / q_{110}$

При необхідності коригуємо величину струму I_d та знов перевіряємо умову.

6.6 Розрахунок результуючих характеристик каскаду

6.6.1 Визначаємо з урахуванням опору подільника вхідний опір каскаду:

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{діл}}}{1 + G_{11} \cdot R_{\text{діл}}}$$

$$\text{де: } R_{H_{\text{діл}}} = \frac{R4 \cdot R5}{R4 + R5}$$

G_{11} в залежності від способу розрахунку дорівнює або q_{11} з п. 6.4.1.2, або q_{110} з п. 6.4.2.1.

6.6.2 Знаходимо амплітуду вхідного струму каскаду;

$$I_{m \text{ вх}} = \frac{U_{\text{бm}}}{R_{\text{вх}}}$$

Коефіцієнт підсилення каскаду за струмом:

$$K_I = \frac{I_{m \text{ вх кк}}}{I_{m \text{ вх}}}$$

Коефіцієнт підсилення за потужністю:

$$K_P = K \cdot K_I$$

7 РОЗРАХУНОК ВХІДНОГО КАСКАДУ

7.1 Загальні положення

7.1.1 Вхідний каскад зібраний на транзисторі VT1 за схемою емітерного повторювача (схема с ЗК) та призначений для погодження високого внутрішнього опору джерела сигналу $R_{дж}$ з низьким вхідним опором каскаду попереднього підсилення $R_{вх\text{ ПК}}$. Схема вхідного каскаду наведена на рис. 7.1, де $U_{m\text{ вх\text{ ПК}}}$, $I_{m\text{ вх\text{ ПК}}}$ - амплітуди вхідної напруги та струму передкінцевого каскаду. Рівень сигналу в колах каскаду малий, тому розрахунок проводиться аналітично з використанням малосигнальних "у"- або "h"- параметрів транзистора, визначених в точці спокою. Вибір типу транзистора та режиму роботи за постійним струмом проводиться за умовами, що використовувались у розділі 6.

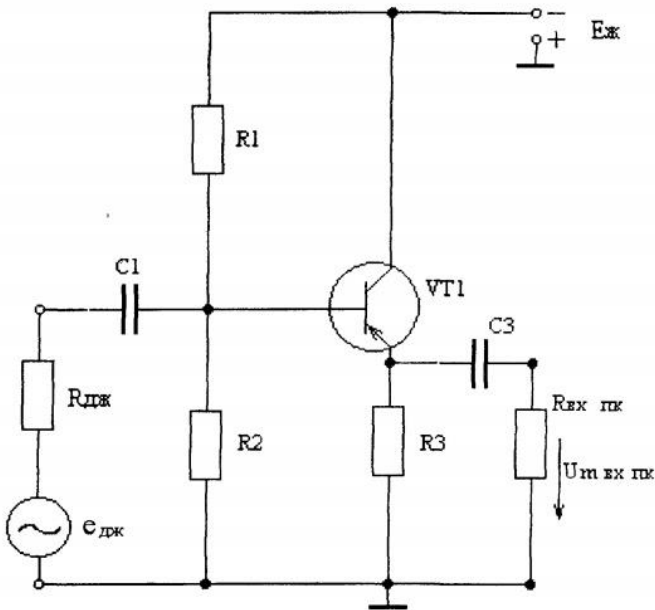


Рисунок 7.1- Схема вхідного каскаду підсилювача

7.1.2 Вхідний опір емітерного повторювача зростає зі збільшенням еквівалентного навантаження $R_{H \text{ екв}}$:

$$R_{H \text{ екв}} = \frac{R_{\text{вх пк}} \cdot R_3}{R_{\text{вх пк}} + R_3} \quad (7.1)$$

Тому необхідно, щоб виконувалась умова:

$$R_3 \gg R_{\text{вх пк}} \quad (7.2)$$

7.1.3 Завдяки глибокому негативному зворотному зв'язку емітерний повторювач має дуже малі частотні спотворення в області верхніх частот. Тому, якщо $F_B \leq (10..20)$ кГц, то при виборі типу транзистора можна не враховувати вимоги до його частотних властивостей.

7.2 Вибір типу транзистора та розрахунок режиму роботи за постійним струмом

7.2.1 Транзистор вибираємо у відповідності з умовами (6.8).

7.2.2 Визначаємо постійну складову колекторної напруги:

$$U_{k0} \geq U_{m \text{ вх пк}} + U_{\text{ост}}$$

Вибір $U_{\text{ост}}$ наведений у п. 6.1.2. Якщо величина U_{k0} виявиться малою, то доцільно збільшити її до (2...3) В.

7.2.3 Вважаючи умову (7.2) виконаною, приймаємо:

$$I_{em} \approx I_{m \text{ вх пк}}$$

де I_{em} - амплітуда змінного струму емітера.

7.2.4 Приймаючи: $I_{km} \approx I_{em}$; $I_{k0} \approx I_{e0}$, визначаємо постійну що складає струм колектора:

$$I_{k0} = I_{km} + I_{k \text{ ост}} - \frac{I_{km}}{K_3}$$

де: K_3 - коефіцієнт запасу, $K_3 = 0,7..0,95$

Якщо величина $I_{к0}$ виявиться малою, то доцільно збільшити її приблизно до 0,5 мА.

7.2.5 Знаходимо потужність, що споживається транзистором:

$$P_o = U_{к0} I_{к0}$$

Перевіряємо умову: $P_{к доп} \geq P_o$

де: $P_{к доп}$ – максимальна допустима потужність, що розсіюється на колекторі транзистора (наведена в довідниках).

При невиконанні цієї умови слід змінити режим за постійним струмом або вибрати більш потужний транзистор.

7.2.6 На статичних характеристиках транзистора, наведених на рис. 7.2, відзначаємо точку спокою А.

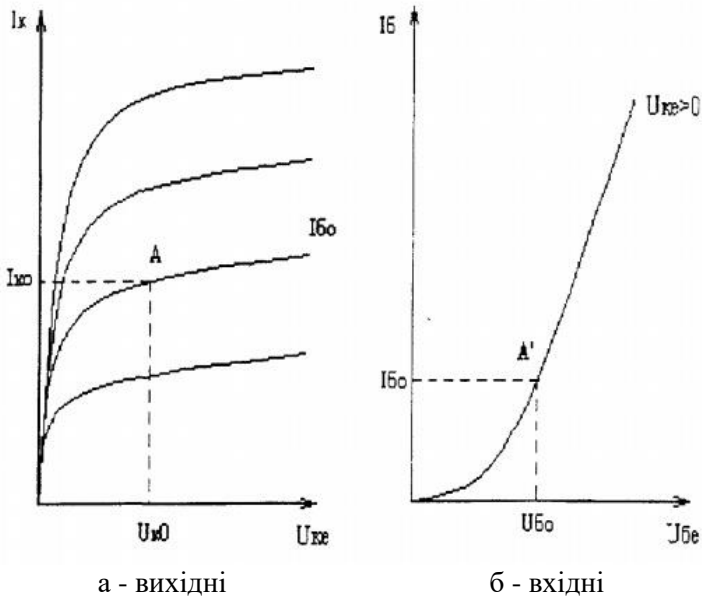


Рисунок 7.2 - Статичні характеристики транзистора

Якщо режим за постійним струмом відрізняється від того, що рекомендувався в довідниках по транзисторам, то проводимо розрахунок параметрів транзистора в точці А по методиці, викладеній у розділі 6.4.2.

В іншому випадку параметри транзистора беруться прямо з довідника.

7.3 Розрахунок характеристик каскаду та кола зміщення

7.3.1 Розраховуємо величину опору R3:

$$R3 = \frac{E_{ж} - U_{к0}}{I_{e0}}$$

7.3.2 Розраховуємо коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K = \frac{K_{зе}}{F} \quad (7.3)$$

де: $K_{зе}$ - коефіцієнт підсилення при включенні транзистора по схемі з 3Е:

$$K_{зе} = \frac{S_0}{q_{220} + \frac{1}{R_{вхпк}} + \frac{1}{R3}}$$

$$F = 1 + K_{зе}$$

7.3.3 Визначаємо вхідну провідність транзистора:

$$q_{вхТ} = \frac{q_{110}}{F}$$

7.3.4 Розраховуємо подільник у колі бази транзистора. Заданося струмом подільника:

$$I_{д} \approx (0,1 \dots 1,0) I_{б0}$$

Визначаємо опір плечей подільника:

$$R1 = \frac{E_{ж} - U_{б0} - U_{e0}}{I_{д} + I_{б0}}$$

$$R2 = \frac{U_{\text{б}0} + U_{e0}}{I_{\text{д}}}$$

$$\text{де: } U_{e0} = I_{e0} \cdot R3$$

7.3.5 Перевіряємо умову та при необхідності коригуємо струм.

7.3.6 Розраховуємо вхідний опір каскаду:

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{діл}}}{1 + q_{\text{вхТ}} \cdot R_{\text{діл}}}$$

$$\text{де: } R_{\text{діл}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

7.3.7 Розраховуємо вихідний опір каскаду:

$$R_{\text{вих}} = \frac{R3}{1 + q_{\text{вих0}} \cdot R3}$$

$$\text{де: } q_{\text{вих0}} = \frac{S_0}{1 + q_{110} R3}$$

7.3.8 Визначаємо амплітуди вхідної напруги та струму:

$$U_{\text{бт}} = \frac{U_{m \text{ вх ПК}}}{K}; I_{m \text{ вх}} = \frac{U_{\text{бт}}}{R_{\text{вх}}}$$

7.3.9 Знаходимо коефіцієнти підсилення за струмом, потужністю та ККД каскаду:

$$K_I = \frac{I_{m \text{ вх ПК}}}{I_{m \text{ вх}}}$$

$$K_P = K \cdot K_I$$

$$\eta = \frac{U_{m \text{ вх ПК}} \cdot I_{m \text{ вх ПК}}}{2P_0}$$

8 РОЗРАХУНОК ЄМНОСТЕЙ КОНДЕНСАТОРІВ

8.1 Розрахунок розділових конденсаторів

8.1.1 Вплив розділових конденсаторів C_1 , C_3 , C_5 , C_6 виявляється в зменшенні коефіцієнта підсилення підсилювача за рахунок збільшення падіння напруги сигналу на конденсаторах зі зменшенням частоти. Вибір величин ємностей цих конденсаторів здійснюється за заданою для даного конденсатора величиною частотних спотворень $M_{н\ C_p}$ на нижній граничній частоті F_H смуги пропускання підсилювача.

8.1.2 Ємності розділових конденсаторів розраховуються за формулою:

$$C_p > \frac{1}{2\pi \cdot F_H \cdot (R_{вих} + R_{вх\ наc}) \cdot \sqrt{M_{н\ C_p}^2 - 1}}$$

де: $R_{вих}$ - вихідний опір даного каскаду;

$R_{вх\ наc}$ - вхідний опір наступного каскаду, між якими включений конденсатор C_p .

Якщо конденсатор C_p підключено до входу підсилювача (C_1 на рис.3.1), то: $R_{вих} = R_{дж}$.

При розрахунку величини C_6 слід взяти $R_{вих\ наc} = R_{11}$, а вхідним опором кінцевого каскаду зневажити ($R_{вих} \ll R_{11}$).

Крім того, для C_6 повинна виконуватися нерівність:

$$C_6 > \frac{3 \dots 5}{2\pi \cdot F_H \cdot R_{11}}$$

8.2 Розрахунок емітерного конденсатора

Вплив блокувального конденсатора $C4$ в колі емітера виявляється в зменшенні коефіцієнта підсилення каскаду зі зменшенням частоти за рахунок послаблення шунтуючої дії конденсатору, внаслідок чого збільшується рівень негативного зворотного зв'язку, що знижує підсилення.

Величину $C4$ можна розрахувати за формулою:

$$C4 > \frac{1 + S_0 \cdot R7}{2\pi \cdot F_H \cdot R7 \cdot \sqrt{M_{Hcp}^2 - 1}}$$

де: S_0 - крутизна транзистора в точці спокою.

8.3 Розрахунок конденсатора кола фільтру

Опір конденсатора фільтру $C\phi = C2$ повинен бути набагато менше опору фільтру $R\phi = R8$ на нижній граничній частоті смуги пропускання, тому розрахунок величини ємності конденсатору можливо здійснити за формулою:

$$C2 > \frac{10 \dots 20}{2\pi \cdot F_H \cdot R8}$$

Опір $R8$ визначається:

$$R8 = \frac{U\phi}{I_0 \text{ сум}}$$

де: $U\phi$ - падіння напруги на фільтрі, визначається з (6.5);

$I_0 \text{ сум}$ - сумарна величина постійних струмів вхідного та передкінцевого каскадів, що протікають через фільтр.

$$I_0 \text{ сум} = I_{д \text{ вх}} + I_{б0 \text{ вх}} + I_{к0 \text{ вх}} + I_{д \text{ пк}} + I_{б0 \text{ пк}} + I_{к0 \text{ пк}}$$

9 РОЗРАХУНОК НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ

9.1 Загальні положення

9.1.1 Нелінійні спотворення виникають у каскадах, що працюють при великих рівнях сигналу, тобто в кінцевому та передкінцевому каскадах. Оцінка величини нелінійних спотворень проводиться за допомогою коефіцієнта гармонік:

$$K_r = \frac{\sqrt{I_{2m}^2 + I_{3m}^2 + I_{4m}^2}}{I_{1m}} * 100\%, \quad (9.1)$$

де: I_{km} - амплітуда k -тої гармоніки колекторного струму.

Розрахунок величини K_r проводиться за скрізною динамічною характеристикою каскаду з використанням, як правило, способу п'яти ординат, що дозволяє знайти амплітуду з 1-й гармоніки по 4-ту включно.

9.1.2 Скрізна динамічна характеристика зв'язує струм колектора транзистора з напругою джерела сигналу при заданому навантаженні каскаду по змінному струму R_n та внутрішньому опорі джерела сигналу $R_{дж}$:

$$i_k = f(e_{дж}) \quad (9.2)$$

Джерелом сигналу є вихідна напруга попереднього каскаду. Сигнал $e_{дж}$ визначається з рівняння:

$$e_{дж} = U_{бэ} + i_b * R_{дж}$$

Опір $R_{дж}$ еквівалентний паралельному сполученню вихідного опору $R_{вих}$ попереднього каскаду та опору $R_{діл}$ розглянутого каскаду:

$$R_{дж} = \frac{R_{вих} * R_{діл}}{R_{вих} + R_{діл}} \quad (9.3)$$

9.1.3 В кінцевому двотактному каскаді при ідеальній симетрії плечей відбувається взаємна компенсація парних гармонік. У формулі (9.1) залишаються тільки непарні гармоніки. Тому при використанні засобу п'яти ординат достатньо визначити тільки величину коефіцієнту спотворень за 3-ю гармонікою:

$$K_{\Gamma 3f} = \frac{I_{3m}}{I_{1m}} \quad (9.4)$$

Якщо є асиметрія плечей з коефіцієнтом асиметрії γ (див. п. 5.1.1), то виникають нелінійні спотворення на другій гармоніці з коефіцієнтом спотворень:

$$K_{\Gamma 2f} = \frac{\gamma}{2(2+\gamma)} \quad (9.5)$$

9.1.4 Загальний коефіцієнт гармонік кінцевого каскаду при включенні транзисторів за схемою з ЗЕ:

$$K_{\Gamma f} = \sqrt{K_{\Gamma 2f}^2 + K_{\Gamma 3f}^2} \quad (9.6)$$

9.1.5 Негативний зворотний зв'язок, що має місце в схемі з ЗЕ, зменшує нелінійні спотворення пропорційно глибині зв'язку F , тому остаточно коефіцієнт гармонік кінцевого каскаду визначиться за формулою:

$$K_{\Gamma 3k} = \frac{K_{\Gamma 3e}}{F} \quad (9.7)$$

де F розраховується за (5.2).

9.2 Побудова крізної динамічної характеристики і розрахунок нелінійних спотворень передкінцевого каскаду

9.2.1 Визначаємо точки перетину загрузочної прямої за змінним струмом з сімейством вихідних статичних характеристик на рис.6.2а та переносимо на вхідну характеристику (рис.6.2б).

Для зручності, геометричні побудови на рис. 6.2 повторені на рис. 9.1.

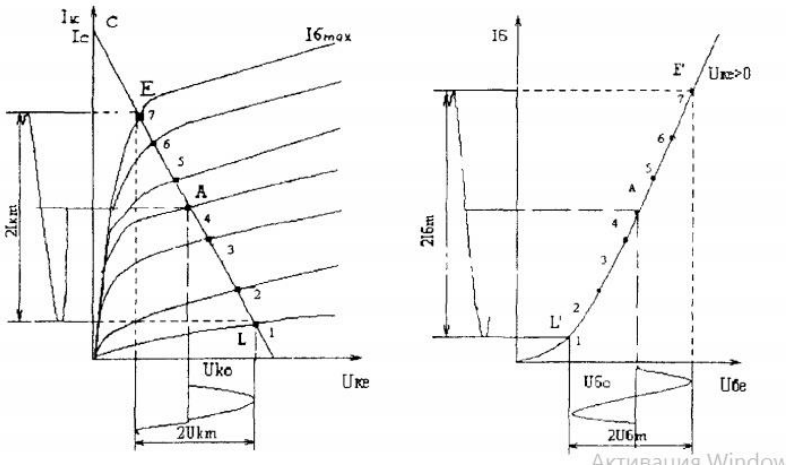


Рисунок 9.1 - Статичні характеристики транзистора

9.2.2 За рис. 9.1 будемо на рис 9.2а прохідну характеристику

$$i_{kn} = \varphi(U_{бэп}), \quad n=1,2,3\dots$$

9.2.3 Будемо залежність $i_k = f(e_{дж})$ на підставі рис.9.2а та рівняння для вхідного кола каскаду:

$$e_{дж} = U_{бп} + i_{bn} * R_{дж} \quad n=1,2,3\dots$$

Вигляд крізної динамічної характеристики представлений на рис.9.2.б.

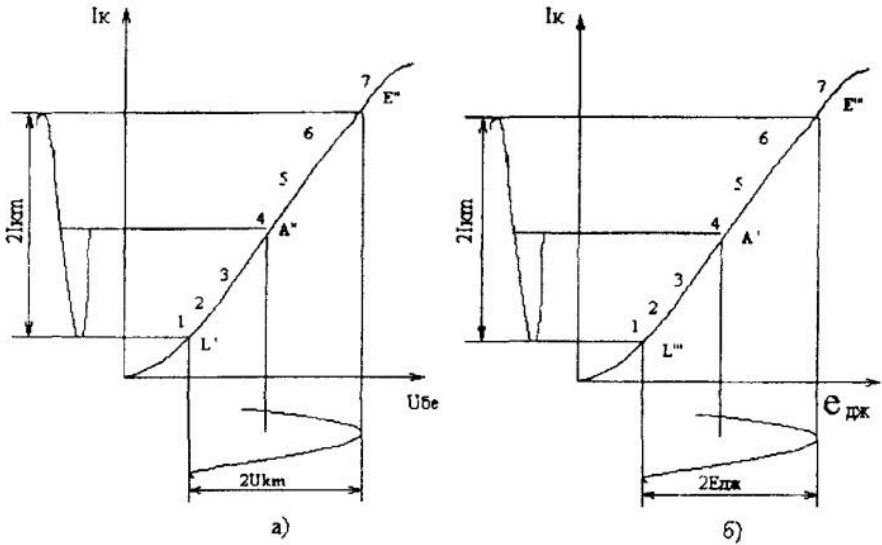


Рисунок 9.2 - Характеристики транзистора
а - прохідна; б - кризна

Активация Windc
Проблема...

9.2.4 Задаємось п'ятьма величинами вхідної напруги за півперіод та відзначаємо на кризній характеристиці відповідні величини струму (див. рис. 9.3).

9.2.5 Визначаємо за формулами методу п'яти ординат середнє значення і амплітуду гармонік струму:

$$I_{1m} = \frac{I_{max} - I_{min} + I_1 - I_2}{3}$$

$$I_{2m} = \frac{I_{max} + I_{min} - 2I_0}{4}$$

$$I_{3m} = \frac{I_{max} - I_{min} - 2(I_1 - I_2)}{6}$$

$$I_{4m} = \frac{I_{max} + I_{min} - 4(I_1 - I_2) + 6I_0}{12}$$

За формулою (9.1) розраховуємо коефіцієнт гармонік каскаду.

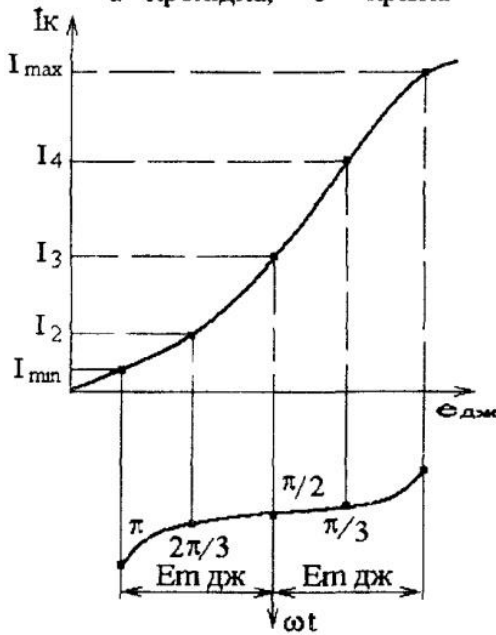


Рисунок 9.3 - Кривна характеристика перед кінцевого каскаду

9.3 Побудова кривної динамічної характеристики і розрахунок нелінійних спотворень кінцевого каскаду

9.3.1 По аналогії з п. 9.2 будемо кривну динамічну характеристику одного плеча кінцевого каскаду при включенні транзистора з ЗЕ, опір $R_{дж}$ розрахуємо за (9.3).

Вигляд характеристики показаний на рис. 9.4, де I_0 відповідає струму в точці спокою, I_1 - амплітуді $0,5 E_m дж$; I_{max} - амплітуді $E_m дж$.

9.3.2 Засобом п'яти ординат визначаємо амплітуди першої та третьої гармонік струму:

$$I_{1m} = \frac{2(I_{max} + I_1)}{3}$$

$$I_{3m} = \frac{I_{max} - 2I_1}{3}$$

9.3.3 Розраховуємо за (9.4), (9.5) коефіцієнти K_{23f} та K_{22f} .

9.3.4 Визначаємо за (9.6), (9.7) загальний коефіцієнт гармонік кінцевого каскаду.

10 РОЗРАХУНОК РЕЗУЛЬТУЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІДСИЛЮВАЧА

10.1 Загальний коефіцієнт підсилення рівний добутку коефіцієнтів підсилення каскадів з урахуванням коефіцієнта передачі вхідного кола:

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{вх ц}} * K_{\text{вх}} * K_{\text{нк}} * K_{\text{кк}}$$

де: $K_{\text{кк}}$, $K_{\text{нк}}$, $K_{\text{вх}}$ - відповідно коефіцієнти підсилення по напрузі (потужності) кінцевого, попереднього та вхідного каскадів,

$K_{\text{вх ц}}$ - коефіцієнт передачі вхідного кола підсилювача:

$$K_{\text{вх ц}} = \frac{R_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}} + R_{\text{дж}}}$$

де: $R_{\text{вх}}$ - вхідний опір вхідного каскаду,

$R_{\text{дж}}$ - внутрішній опір джерела сигналу.

10.2 Загальний коефіцієнт гармонік дорівнює середньому геометричному з суми квадратів коефіцієнтів гармонік каскадів:

$$K_{\text{Гзаг}} = \sqrt{K_{\text{Гнк}}^2 + K_{\text{Гкк}}^2}$$

де: $K_{\text{Гнк}}$, $K_{\text{Гкк}}$ - коефіцієнти гармонік передкінцевого каскаду та кінцевого каскаду

10.3 Величина струму, що споживається від джерела живлення, розраховується для режиму мовчання (в точках спокою) та дорівнює значенню сумарного постійного струму, що протікає всіма колами підсилювача.

10.4 Потужність, що споживається від джерела живлення, дорівнює сумі потужностей розсіювання на резисторах та колекторах транзисторів підсилювача.

10.5 Загальний коефіцієнт частотних спотворень дорівнює добутку коефіцієнтів частотних спотворень його каскадів.

10.5.1 Для області низьких частот:

$$M_{H \text{ заг}} = M_{H_{C1}} \cdot M_{H_{C3}} \cdot M_{H_{C4}} \cdot M_{H_{C5}} \cdot M_{H_{C6}}$$

За $M_{H \text{ заг}}$ визначають коефіцієнт підсилення підсилювача на нижній граничній частоті F_H смуги пропускання:

$$K_{H \text{ заг}} = \frac{K_{\text{заг}}}{M_{H \text{ заг}}}$$

10.5.2 В області верхніх частот частотними спотвореннями, що вносяться каскадами з ЗК, можна зневажити. Тому на частоті F_B коефіцієнт частотних спотворень $M_{B \text{ заг}}$ підсилювача буде приблизно дорівнювати коефіцієнту M_{B2} каскаду на транзисторі VT2:

$$M_{B \text{ заг}} \approx M_{B2} \approx \sqrt{1 + (2\pi \cdot F_B \cdot \tau_B)^2}$$

де: τ_B - стала часу каскаду в області верхніх частот:

$$\tau_B = \frac{C_{22} + C_{\text{ВХ сл}} + C_M}{q_{22} + \frac{1}{R_k} + q_{\text{ВХ сл}}}$$

де: q_{22} , C_{22} - вихідні провідності та ємність транзистора VT2;

$C_M = (2 \dots 5)$ пФ - ємність монтажу;

$R_k = R_6$;

$C_{\text{ВХ сл}}$, $q_{\text{ВХ сл}} = 1/R_{\text{ВХ кк}}$ - вхідні ємність та провідність наступного, тобто кінцевого каскаду.

Вхідною ємністю кінцевого каскаду можна зневажити, бо транзистори кінцевого каскаду включені з ЗК.

Коефіцієнт підсилення підсилювача на частоті F_B визначається за формулою:

$$K_{H \text{ заг}} = \frac{K_{\text{заг}}}{M_{B2}}$$

ЛІТЕРАТУРА

1 ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 ЄСКД. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93, IDT)

2 ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT)

3 Основи радіоелектроніки: навч. посібник для студ. вищ.техн. навч. закл.: рек. МОНУ / Ю. Я. Бобало, Р. І. Желяк, М. Д. Кіселічник та ін. ; за ред. Б. А. Мандзія. – Львів : ЛНУ "Львівська політехніка", 2002. – 456 с.

4 Сисоев В. М. Основи радіоелектроніки: підручник / В. М. Сисоев. – Київ : Вища школа, 2004. – 279 с.

5 Кичак В.М. Основи радіоелектроніки: навчальний посібник / В. М. Кичак, Ю. В. Крушевський, Д. В. Гаврілов. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 368 с.

6 Каяцкас А.А. Основи радіоелектроніки. - К.: Вища школа, 1998. - 464с.

7 Баскаков З. Н. Радіоелектронні кола і сигнали. - К.: Вища школа.,1998. - 448 с.

8 Матвійків М.Д. Елементи та компоненти електронних пристроїв: підручник / М.Д. Матвійків, Б.С. Вус, О.М. Матвійків. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. - 496 с.

9 Радіотехніка. Енциклопедичний навчальний довідник / за ред.. проф.. Ю.Л. Мороза, Є.А. Мачуського, В.І. Правди. - К.: Вища школа, 1993. - 837 с.

10 Цыкина А.В. Проектирование транзисторных усилителей низкой частоты. М.: Связь, 1986. - 184 с.

11 Полупроводниковые приборы: Транзисторы / В.Л. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др. Под ред. Н.Н. Горюнова. Изд. 2-е перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 904 с.