

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Информационная безопасность систем и технологий»

РАСЧЁТ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Пояснительная записка к курсовому проекту
по дисциплине «Электроника и схемотехника»

ПГУ 3.090106.001 ПЗ

Руководитель КР,

к.т.н., доцент

_____ В. В. Богданов

Исполнитель КР,

студент

_____ М. А. Захаров

г. Пенза, 2009

Утверждаю
Зав. кафедрой ИБСТ
_____ С. Л. Зефилов
«_____» _____ 2009 г.

Задание

на курсовое проектирование

по теме: «Расчёт усилителя низкой частоты»

1 Дисциплина _____ Электроника и схемотехника

2 Вариант задания _____ 5

3 Студент _____ Захаров М. А. _____ группа _____ 06УИ1

4 Исходные данные на проектирование

- напряжение питания $E_K = 10 \text{ В}$;
- входное напряжение $U_{\text{вх}} = 10 \text{ мВ}$;
- выходное напряжение $U_{\text{вых}} = 5 \text{ В}$;
- сопротивление нагрузки $R_H = 1 \text{ кОм}$;
- частотный диапазон $F_H \div F_B = 150 \div 5000 \text{ Гц}$;
- температура окружающей среды $t_{\text{окр}}^{\circ} \leq 40^{\circ}\text{C}$.

5 Структура проекта

5.1 Пояснительная записка (содержание работы):

- выбор схемы усилителя;
- расчёт режимов работы по постоянному и переменному току;
- составление принципиальной электрической схемы и перечня элементов;
- оформление пояснительной записки.

5.2 Графическая часть

- схема принципиальная электрическая — ЭЗ, формата А4;
- перечень элементов к схеме принципиальной электрической.

6 Календарный план выполнения проекта

6.1 Сроки выполнения работ по разделам:

- Выдача задания _____ к 19.02.2009 г.
- Этап 1 «Составление функциональной схемы» _____ к 26.02.2009 г.

- Этап 2 «Расчёт окончного каскада» к 12.03.2009 г.
- Этап 3 «Расчёт предварительного каскада» к 26.03.2009 г.
- Этап 4 «Составление перечня элементов» к 09.04.2009 г.
- Этап 5 «Оформление графической части» к 23.04.2009 г.
- Оформление пояснительной записки к 07.05.2009 г.

Дата защиты проекта 14 мая 2009 г.

Руководитель работы Богданов В. В.

Задание получил 19 февраля 2009 г.

Студент Захаров М. А.

Нормоконтролёр Богданов В. В.

Реферат

Отчёт содержит 23 с, 1 таблицу, 1 рисунок, 2 источника, 2 прил.

УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ, БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР,
УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД С ОЭ.

Целью данного курсового проекта является расчёт усилителя низкой частоты на дискретных элементах по заданному техническому заданию.

Задачей на курсовой проект является освоение навыков расчёта усилителей низкой частоты по заданным параметрам.

В процессе работы рассчитываются основные параметры разрабатываемого усилителя, выбирается элементная база, обеспечивающая необходимые характеристики УНЧ.

Результатом выполнения курсового проекта является расчёт схемы трёхкаскадного усилителя низкой частоты, обеспечивающего необходимый коэффициент усиления 500, при напряжении питания 10 В, входном и выходном напряжении соответственно 10 мВ и 5 В, в диапазоне частот от 150 Гц до 5 кГц, при температуре не более 40°C. В соответствии с требуемыми параметрами в схеме используются следующие приборы: 3 биполярных транзистора МП40А, двенадцать резисторов типа С2-29В и четыре конденсатора типа К-53-22.

Содержание

Введение	6
1 Выбор принципиальной электрической схемы усилителя	7
2 Выбор транзистора	8
3 Расчёт оконечного каскада	9
3.1 Выбор режима работы по постоянному току	9
3.2 Выбор режима работы по переменному току	9
4 Расчёт каскада предварительного усиления	11
4.1 Расчёт режима работы по постоянному току	11
4.2 Расчёт режима по переменному току	11
5 Расчёт входного каскада	13
5.1 Расчёт режима работы по постоянному току	13
5.2 Расчёт режима по переменному току	13
6 Расчёт параметров элементов схемы	15
6.1 Расчёт рассеиваемых мощностей резисторов	15
6.2 Расчёт емкостей усилителя	16
6.3 Расчёт рабочих напряжений конденсаторов	17
Заключение	18
Список использованных источников	23

Введение

В электронных устройствах транзисторы могут включаться по схеме с *общей базой* (ОБ), с *общим эмиттером* (ОЭ) и *общим коллектором* (ОК). Наилучшими усилительными свойствами (усиление тока, напряжения и мощности) обладает транзистор в схеме с ОЭ. В схеме с ОБ усиление мощности значительно меньше, чем в схеме с ОЭ. Кроме того, в схеме с ОБ транзистор имеет сравнительно малое входное и большое выходное сопротивление, что затрудняет согласование каскадов.

В схеме с ОК транзистор тоже обеспечивает меньшее усиление мощности. Однако в схеме с ОК транзистор имеет сравнительно большое входное и небольшое выходное сопротивления, и поэтому схема с ОК часто применяется в качестве согласующего каскада между источником сигнала с высокоомным выходным сопротивлением и низкоомной нагрузкой. Наиболее же часто в электронных устройствах применяется включение транзистора по схеме с ОЭ. [1].

В данном курсовом проекте стоит задача рассчитать усилитель низкой частоты с заранее заданными параметрами, разработать принципиальную электрическую схему и перечень дискретных элементов, на которых будет собран усилитель. В качестве активного элемента используется биполярный транзистор.

1 Выбор принципиальной электрической схемы усилителя

Первым этапом при расчете усилителя является расчет общих параметров необходимого устройства. Для начала определяется схема каскада усилителя.

В данном курсовом проекте необходимо рассчитать усилитель по схеме с общим эмиттером. Стандартной разновидностью такого устройства является резистивный каскад, в котором токи регулируются сопротивлениями. Схема такого усилителя берется за основу для данного проекта.

На рисунке 1.1 показана выбранная схема каскада.

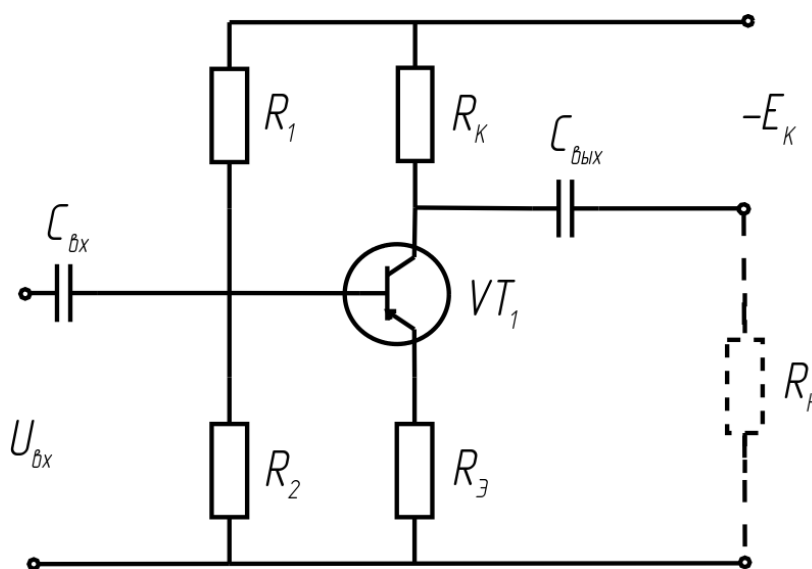


Рисунок 1.1 — Схема усилителя

Для определения необходимого числа каскадов используются заданные входное и выходное напряжение, соответственно 10 мВ и 5 В. Исходя из этих данных, рассчитывается требуемый коэффициент усиления усилителя.

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{5}{10^{-2}} = 500.$$

Требуемое устройство реализуется на трёх каскадах. Коэффициенты усиления предварительного каскада и каскада предварительного усиления и окончного каскада будут равны 7, 8 и 10 соответственно.

2 Выбор транзистора

Коэффициент передачи тока базы рассчитывается по формуле:

$$h_{21э} = K_3 \frac{R_{\text{БХ.э}}}{R_{\text{БХ}}}. \quad (1)$$

Для заданных исходных данных:

$$h_{21э} = 10 \cdot \frac{200}{1000} = 2;$$

Требуемая предельная частота коэффициента передачи тока низкочастотных транзисторов рассчитывается по формуле:

$$f_{h21э} = \frac{f_{\text{В}}}{\sqrt{M_{\text{В}}^2 - 1}}. \quad (2)$$

Для одного каскада получаем:

$$f_{21э} \geq \frac{5}{\sqrt{1,14^2 - 1}} = 9,1 \text{ (кГц)};$$

По справочнику [2] выбираем нужный транзистор **МП40А**. Для этого транзистора:

$$f_{h21э} \simeq \frac{1000}{30} = 33 \text{ (кГц)};$$

$$U_{\text{кэмакс}} = 30 \text{ В} > E_{\text{к}} = 10 \text{ В}; P_{\text{Кмакс}20^\circ} = 50 \text{ мВт}.$$

Максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{Кмакс}} = P_{\text{Кмакс}t_{\text{T}}^\circ} \frac{t_{\text{п.макс}}^\circ - t_{\text{окр}}^\circ}{t_{\text{п.макс}}^\circ - t_{\text{T}}^\circ} \quad (3)$$

$$P_{\text{Кмакс}40^\circ} = 150 \frac{85^\circ - 40^\circ}{85^\circ - 25^\circ} = 100 \text{ (мВт)}$$

3 Расчёт окончного каскада

3.1 Выбор режима работы по постоянному току

В каскаде используется транзистор МП40А.

Находим амплитуду тока коллектора

$$I_{Km} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{н}}} = \frac{5}{1000} = 5 \text{ (мА)}.$$

Постоянная составляющая тока коллектора $I_{\text{КП}} \geq \frac{I_{\text{КМ}}}{k_3} = \frac{5}{0,7} = 7 \text{ (мА)}$. Принимаем типовое значение $U_{\text{КЭП}} = -5 \text{ (В)}$ и по коллекторным характеристикам транзистора находим $I_{\text{БП}} = 0,3 \text{ (мА)}$. По базовой характеристике транзистора определяем $R_{\text{ВХ.Э}} = \frac{\Delta U_{\text{БЭ}}}{\Delta I_{\text{Б}}} = \frac{0,05}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ (Ом)}$. Рассчитываем мощность, рассеиваемую на коллекторе:

$$I_{\text{КП}} \cdot U_{\text{КЭП}} = 7 \cdot 5 = 35 \text{ (мВт)} < P_{\text{Кмакс } 40^\circ} = 100 \text{ (мВт)}. \quad (4)$$

Определяем общее сопротивление коллекторной цепи определяется по формуле:

$$R_{\text{к}} + R_{\text{э}} \simeq \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{КЭП}}}{I_{\text{КП}}} \quad (5)$$

$$R_{\text{к}} + R_{\text{э}} = \frac{10 - 5}{7} = 0,71 \text{ (кОм)}.$$

3.2 Выбор режима работы по переменному току

Коэффициент усиления каскада без ООС:

$$K = h_{21\text{э}} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{ВХ.Э}}}. \quad (6)$$

Для окончного каскада:

$$K = 30 \frac{1000}{200} = 150.$$

Коэффициент передачи цепи ОС:

$$\gamma = \frac{K - K_{\text{ос}}}{K K_{\text{ос}}}. \quad (7)$$

В нашем случае:

$$\gamma = \frac{150 - 10}{150 \cdot 10} = 0,09.$$

Отсюда вычисляем сопротивление в цепи эмиттера:

$$R_{\text{э}} = \frac{\gamma R_{\text{н}} h_{21\text{э}}}{h_{21\text{э}} + 1}. \quad (8)$$

$$R_{\text{э}}^3 = \frac{0,09 \cdot 1000 \cdot 30}{31} = 90 \text{ (Ом)}.$$

Следовательно, уточнённое значение $R_{\text{к}}^3 = 710 - 90 = 620 \text{ (Ом)}$.

Сопротивления резисторов в цепи базы определяются по формулам:

$$R_6 = \frac{E_{\text{к}} - (I_{\text{кп}} + I_{\text{бп}})R_{\text{э}}}{I_{\text{бп}}} = \frac{10 - (7 + 0,3) \cdot 10^{-3} \cdot 90}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 31,1 \text{ (кОм)}. \quad (9)$$

$$I_{\text{дел}} = 10 \cdot I_{\text{бп}} = 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ (мА)}.$$

$$R_5 = \frac{|E_{\text{к}} - I_{\text{дел}}R_6|}{I_{\text{дел}} + I_{\text{бп}}} = \frac{10 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot 31,1 \cdot 10^3}{(3 + 0,3) \cdot 10^{-3}} = 25,2 \text{ (кОм)}. \quad (10)$$

Общее сопротивление каскада:

$$R_{\text{вх.н}}^3 = R_{\text{вх.э}} + R_{\text{э}}^3(h_{21\text{э}} + 1) = 200 + 90(30 + 1) = 2990 \text{ (Ом)}. \quad (11)$$

4 Расчёт каскада предварительного усиления

4.1 Расчёт режима работы по постоянному току

В каскаде используется транзистор МП40А.

По формуле (1) коэффициент передачи базового тока эмиттеру для каскада предварительного усиления:

$$h_{21э} = K_2 \frac{R_{\text{вх.э}}}{R_{\text{вх.н}}} = 8 \cdot \frac{200}{2990} = 0,54.$$

В качестве выходного напряжения каскада принимается

$$U_{\text{вх3}} = U_{\text{вых2}} = \frac{U_{\text{вых}}}{K_3} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ (В)}$$

Находим амплитуду тока коллектора

$$I_{\text{Км}} = \frac{U_{\text{вых2}}}{R_{\text{н}}} = \frac{0,5}{2990} = 0,17 \text{ (мА)}.$$

Постоянная составляющая тока коллектора $I_{\text{КП}} \geq \frac{I_{\text{КМ}}}{k_3} = \frac{0,17}{0,7} = 0,24 \text{ (мА)}$. Принимаем типовое значение $U_{\text{КЭП}} = -5 \text{ (В)}$ и по коллекторным характеристикам транзистора находим $I_{\text{БП}} = 0,015 \text{ (мА)}$. По базовой характеристике транзистора определяем $R_{\text{вх.э}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} = \frac{0,05}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ (Ом)}$.

Рассчитываем мощность, рассеиваемую на коллекторе:

$$I_{\text{КП}} \cdot U_{\text{КЭП}} = 0,24 \cdot 5 = 1,2 \text{ (мВт)} < P_{\text{Кмакс } 40^\circ} = 100 \text{ (мВт)}.$$

Определяем общее сопротивление коллекторной цепи определяется по формуле (5):

$$R_{\text{к}}^2 + R_{\text{э}}^2 = \frac{10 - 5}{0,24 \cdot 10^{-3}} = 20,8 \text{ (кОм)}.$$

4.2 Расчёт режима по переменному току

Для каскада предварительного усиления по формуле (6) коэффициент усиления каскада без ООС:

$$K = 30 \frac{2990}{200} = 448.$$

Коэффициент передачи цепи ОС по формуле (7):

$$\gamma = \frac{448 - 8}{448 \cdot 8} = 0,12.$$

По формуле (8) вычисляем сопротивление в цепи эмиттера:

$$R_9^2 = \frac{0,12 \cdot 2990 \cdot 30}{31} = 347,2 \text{ (Ом)}.$$

Следовательно, уточнённое значение $R_k^2 = 20,5 \text{ (кОм)}$.

Сопротивления резисторов в цепи базы определяются по формулам (9, 10):

$$R_4 = \frac{10 - (0,24 + 0,015) \cdot 10^{-3} \cdot 347,2}{0,015 \cdot 10^{-3}} = 661 \text{ (кОм)}.$$

$$I_{\text{дел}} = 10 \cdot I_{\text{БП}} = 10 \cdot 0,015 = 0,15 \text{ (мА)}.$$

$$R_3 = \frac{10 - 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 661 \cdot 10^3}{(0,15 + 0,015) \cdot 10^{-3}} = 542 \text{ (кОм)}.$$

Общее сопротивление каскада по формуле (11):

$$R_{\text{вх.н}}^2 = 200 + 347,2(30 + 1) = 11 \text{ (кОм)}.$$

5 Расчёт входного каскада

5.1 Расчёт режима работы по постоянному току

В каскаде используется транзистор МП40А.

По формуле (1) коэффициент передачи базового тока эмиттеру для входного каскада:

$$h_{21э} = K_1 \frac{R_{\text{вх.э}}}{R_{\text{вх.н}}} = 7 \cdot \frac{200}{10963} = 0,13.$$

В качестве выходного напряжения каскада принимается

$$U_{\text{вх2}} = U_{\text{вых1}} = \frac{U_{\text{вых}}}{K_2} = \frac{5}{8} = 0,625 \text{ (В)}$$

Находим амплитуду тока коллектора

$$I_{Km} = \frac{U_{\text{вых1}}}{R_{\text{н}}} = \frac{0.625}{10963} = 57 \text{ (мкА)}.$$

Постоянная составляющая тока коллектора $I_{\text{КП}} \geq \frac{I_{\text{КМ}}}{k_3} = \frac{57}{0,7} = 81,4 \text{ (мкА)}$. Принимаем типовое значение $U_{\text{КЭП}} = -5 \text{ (В)}$ и по коллекторным характеристикам транзистора находим $I_{\text{БП}} = 7 \text{ (мкА)}$. По базовой характеристике транзистора определяем $R_{\text{вх.э}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} = \frac{0,05}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ (Ом)}$.

Рассчитываем мощность, рассеиваемую на коллекторе:

$$I_{\text{КП}} \cdot U_{\text{КЭП}} = 5 \cdot 81,4 = 407 \text{ (мкВт)} < P_{\text{Кмакс } 40^\circ} = 100 \text{ (мВт)}.$$

Определяем общее сопротивление коллекторной цепи определяется по формуле (5):

$$R_{\text{к}}^1 + R_{\text{э}}^1 = \frac{10 - 5}{81,4 \cdot 10^{-6}} = 61425 \text{ (Ом)}.$$

5.2 Расчёт режима по переменному току

Для входного каскада по формуле (6) коэффициент усиления каскада без ООС:

$$K = 30 \frac{10963}{200} = 1644.$$

Коэффициент передачи цепи ОС по формуле (7):

$$\gamma = \frac{1644 - 7}{448 \cdot 7} = 0,14.$$

По формуле (8) вычисляем сопротивление в цепи эмиттера:

$$R_9^1 = \frac{0,14 \cdot 10963 \cdot 30}{31} = 1485 \text{ (Ом)}.$$

Следовательно, уточнённое значение $R_k^1 = 60 \text{ (кОм)}$.

Сопротивления резисторов в цепи базы определяются по формулам (9, 10):

$$R_2 = \frac{10 - (7 + 81,4) \cdot 10^{-6} \cdot 1485}{7 \cdot 10^{-6}} = 1,41 \text{ (МОм)}.$$

$$I_{\text{дел}} = 70 \text{ (мкА)}.$$

$$R_1 = \frac{10 - 70 \cdot 10^{-6} \cdot 1,41 \cdot 10^6}{(70 + 7) \cdot 10^{-6}} = 1,15 \text{ (МОм)}.$$

Общее сопротивление каскада по формуле (11):

$$R_{\text{вх.н}}^1 = 200 + 1485(30 + 1) = 46235 \text{ (Ом)}.$$

6 Расчёт параметров элементов схемы

6.1 Расчёт рассеиваемых мощностей резисторов

Следующим этапом при разработке усилителя низких частот является выбор по получившимся параметрам резисторов.

Рассчитанные сопротивления являются требуемыми. Резисторов с такими сопротивлениями не существует. Их необходимо найти в справочнике. Для подбора нужных резисторов необходимо выбрать мощность. Она рассчитывается по формуле $P = IR^2$, где R — соответствующее сопротивление, а I — ток, проходящий через резистор в схеме.

$$\begin{aligned}P_1 &= I_{\text{БП1}}^2 R_1 = (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 58,8 \text{ (мкВт)}; \\P_2 &= I_{\text{БП1}}^2 R_2 = (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 73,5 \text{ (мкВт)}; \\P_3 &= I_{\text{КП1}}^2 R_{\text{К}}^1 = (81,4 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 62 \cdot 10^3 = 41 \text{ (мкВт)}; \\P_4 &= \left(\frac{U_{\text{ВЫХ1}}}{R_{\text{Н}}} \right)^2 = (57 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1500 \cdot 10^3 = 4 \text{ (мкВт)}; \\P_5 &= I_{\text{БП2}}^2 R_3 = (15 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 560 \cdot 10^3 = 126 \text{ (мкВт)}; \\P_6 &= I_{\text{БП2}}^2 R_4 = (15 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 680 \cdot 10^3 = 153 \text{ (мкВт)}; \\P_7 &= I_{\text{КП2}}^2 R_{\text{К}}^2 = (240 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1,2 \text{ (мВт)}; \\P_8 &= \left(\frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{R_{\text{Н}}} \right)^2 = (170 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 360 \cdot 10^3 = 10 \text{ (мкВт)}; \\P_9 &= I_{\text{БП3}}^2 R_5 = (0,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 24 \cdot 10^3 = 2,16 \text{ (мВт)}; \\P_{10} &= I_{\text{БП3}}^2 R_6 = (0,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30 \cdot 10^3 = 2,7 \text{ (мВт)}; \\P_{11} &= I_{\text{КП3}}^2 R_{\text{К}}^3 = (7 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 620 = 30,4 \text{ (мВт)}; \\P_{12} &= \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}} \right)^2 = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 90 \cdot 10^3 = 2,25 \text{ (мВт)};\end{aligned}$$

Резисторы выбираются из ряда E24. В таблице 6.1 представлены значения сопротивлений (расчётные и номинальные) и мощности, рассеиваемые на них.

Таблица 6.1 — Значения мощностей

Резистор	Расчётное значение	Номинальное значение	Мощность
$R_{\mathfrak{C}}^1$	1485 Ом	1,5 кОм	4 мкВт
$R_{\mathfrak{C}}^2$	347 Ом	360 Ом	10 мкВт
$R_{\mathfrak{C}}^3$	90 Ом	91 Ом	2,25 мВт
$R_{\mathfrak{K}}^1$	60 кОм	62 кОм	41 мкВт
$R_{\mathfrak{K}}^2$	20,5 кОм	20 кОм	1,2 мВт
$R_{\mathfrak{K}}^3$	620 Ом	620 Ом	30,4 мВт
R_1	1,15 МОм	1,2 МОм	58,8 мкВт
R_2	1,41 МОм	1,5 МОм	73,5 мкВт
R_3	542 кОм	560 кОм	126 мкВт
R_4	661 кОм	680 кОм	153 мкВт
R_5	25,2 кОм	24 кОм	2,16 мВт
R_6	31,1 кОм	30 кОм	2,7 мВт

6.2 Расчёт ёмкостей усилителя

Следующим этапом при разработке усилителя низких частот является выбор по получившимся параметрам конденсаторов.

Ёмкости усилителя рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}} = \frac{1}{2\pi F_{\text{н}}(R_{\text{н}} + R_{\text{вых.н}})\sqrt{(M'_{\text{н}})^2 - 1}}. \quad (12)$$

Частотные искажения $M_{\text{в}}$ и $M_{\text{н}}$ вверху и внизу диапазона определяются по формуле:

$$M'_{\text{в}} = M'_{\text{н}} = \sqrt{\frac{M_{\text{н}} + M_{\text{в}}}{2}},$$

где $M_{\text{н}} = M_{\text{в}} = 1,14$.

Таким образом, ёмкости оконечного каскада по формуле (12):

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 150(1000 + 600) \cdot 0,38} = 1,7 \text{ (мкФ)}. \quad (13)$$

6.3 Расчёт рабочих напряжений конденсаторов

Для выбора конденсаторов необходимо рассчитать рабочие напряжения:

$$U_{\text{раб1}} = U_{\text{Б1}} - U_{\text{вх}} = 2,5 - 0,01 = 2,49 \text{ (В)};$$

$$U_{\text{раб2}} = U_{\text{КЭ1}} - U_{\text{Б2}} = 5 - 2,5 = 2,5 \text{ (В)};$$

$$U_{\text{раб3}} = U_{\text{вых}} - U_{\text{КЭ2}} = 5 - 2,5 = 2,5 \text{ (В)}.$$

Заключение

В результате выполнения курсовой работы был рассчитан трёхкаскадный усилитель низкой частоты, имеющий в качестве активного полупроводникового элемента биполярный транзистор МП40А. Разработанное устройство обеспечивает общий коэффициент усиления 520 при напряжении питания 10 В, входном напряжении 10 мВ и выходном 5 В, в диапазоне частот от 150 Гц до 5 кГц, при температуре окружающей среды не более 40°C.

Таким образом, задание на курсовой проект выполнено в полном объёме.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная усилителя низкой частоты

Схема

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Перечень элементов к схеме электрической принципиальной усилителя низкой частоты

Список элементов

Список использованных источников

- 1 *Бочаров Л. Н., Жебряков С. К., Колесников И. Ф.* Расчёт электронных устройств на транзисторах. — М.: Энергия, 1978. — 208 с.
- 2 Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / К. М. Брежнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др.; Под ред. Б. Л. Перельмана. — М.: Радио и связь, 1981. — С. 29–31.