

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Радиоэлектроники и телекоммуникаций
(наименование института (факультета), филиала)

Кафедра электронных и квантовых средств передачи информации
(наименование кафедры)

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
(шифр и наименование направления подготовки (специальности))

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине: Схемотехника телекоммуникационных устройств

на тему: Импульсный усилитель

Обучающийся

5302

(номер группы)

29.12.20

(подпись, дата)

Милочкин В.А.

(Ф.И.О.)

Руководитель

проф.

(должность)

28.12.2020

28.12.2020

Афанасьев В.В.

(Ф.И.О.)

Курсовая работа зачтена с оценкой

хор (80%)

28.12.2020

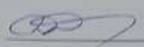
(подпись, дата)

Казань 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Кафедра электронных и квантовых средств передачи информации

“Утверждаю”
Зав. кафедрой ЭКСПИ

 Данилаев Д.П.

Задание на курсовую работу
по курсу “СХЕМОТЕХНИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ”

Студент Милочкин Владислав, гр.5302

Тема: “Импульсный усилитель”

Исходные данные:

1. Сопротивление источника сигнала, Ом,	700
2. Коэффициент усиления по напряжению	4000
3. Длительность импульса, мкс	1,3
4. Длительность фронта, мкс	0,12
5. Допустимая величина выброса, %	0,8
6. Спад плоской части вершины импульса, %	1,1
7. Сопротивление нагрузки, Ом,	450
8. Емкость нагрузки, пФ,	15
9. Максимальный размах выходного напряжения, В ..	6
10. Напряжение питания, В	18
11. Температура T_{max} , °C	35

1. Разработать структурную схему аналогового электронного усилительного устройства.
2. Выполнить разработку и полный расчет электрической принципиальной схемы аналогового электронного усилительного устройства.
3. Оформить отчетную документацию по разработке аналогового электронного усилительного устройства.

Срок сдачи пояснительной записки на проверку - не позднее 15 недели учебного семестра.

Дата выдачи задания: 15.09.2020.

Руководитель: профессор каф. ЭКСПИ Афанасьев В. В.



Оглавление

Аннотация	3
Abstract.....	4
Введение.....	5
Практическая часть	6
1. Расчет усилителя на транзисторах.....	6
1.1. Анализ технического задания и разработка структурной схемы усилителя.....	6
2. Выбор схемы оконечного каскада	9
3. Выбор схем предоконечного каскада.....	14
4. Расчет второго каскада предварительного усиления.....	19
5. Расчет первого каскада предварительного усиления.....	23
6. Расчет фильтра питания.....	27
7. Расчет подстройки усиления.....	28
Заключение.....	29
Список литературы:.....	30
Принципиальная схема	31
Спецификация.....	32
Проверка на оригинальность.....	34

Аннотация

В данной курсовой работе рассчитаны каскады импульсного усилителя в транзисторном варианте исполнения исходя из условий технического задания. Сначала рассчитываются предварительные характеристики усилителя, которые необходимо обеспечить. После этого нужно реализовать требуемые каскады на базе биполярных транзисторов, рассчитав все элементы каскада, и собрать общую схему усилителя. Оконечный каскад был реализован на основе транзистора с ОЭ КТ315И. Так как коэффициент усиления для трех каскадов предварительного усиления одинаковый, то рассчитан один каскад. Для расчета был выбран транзистор КТ312А. Усилитель удовлетворяет всем параметрам технического задания. Во время расчетов каскадов приводятся рисунки, графики и формулы, поясняющие подсчет элементов. По окончании расчета импульсного усилителя приводится его полная принципиальная схема.

Abstract

In this course work, the stages of a pulse amplifier in a transistor and microcircuit version are calculated based on the conditions of the technical task. From the beginning, the preliminary characteristics of the amplifier are calculated, which must be ensured. After that, you need to implement the required stages based on bipolar transistors, having calculated all the elements of the stage, and assemble the general amplifier circuit. The terminal stage was implemented on the basis of a transistor with an OE KT315I. Since the gain for the three pre-amplification stages is the same, one stage is calculated. The KT312A transistor was selected for the calculation. The amplifier meets all the parameters of the technical task. During cascade calculations, drawings, graphs, and formulas are provided to explain the calculation of elements. At the end of the calculation of the low-frequency amplifier, its complete schematic diagram is given.

Введение

Усилитель представляет собой в общем случае последовательность каскадов усиления (бывают и однокаскадные усилители), соединённых между собой прямыми связями.

Во многих усилителях, кроме прямых, присутствуют и обратные связи (межкаскадные и внутри каскадных). Отрицательные обратные связи позволяют улучшить стабильность работы усилителя и уменьшить частотные и нелинейные искажения сигнала. В некоторых случаях обратные связи включают термозависимые элементы (термисторы, позисторы) — для температурной стабилизации усилителя или частотно зависимые элементы — для выравнивания частотной характеристики.

Некоторые усилители (обычно УВЧ радиоприёмных и радиопередающих устройств) оснащены системами автоматической регулировки усиления (АРУ) или автоматической регулировки мощности (АРМ). Эти системы позволяют поддерживать приблизительно постоянный средний уровень выходного сигнала при изменениях уровня входного сигнала.

Между каскадами усилителя, а также в его входных и выходных цепях, могут включаться аттенюаторы или потенциометры — для регулировки усиления, фильтры — для формирования заданной частотной характеристики и различные функциональные устройства — нелинейные и др.

Как и в любом активном устройстве, в усилителе также присутствует источник первичного или вторичного электропитания (если усилитель представляет собой самостоятельное устройство) или цепи, через которые питающие напряжения подаются с отдельного блока питания.

Практическая часть

1. Расчет усилителя на транзисторах

1.1. Анализ технического задания и разработка структурной схемы усилителя

Таблица 1. Исходные данные.

Параметр	Значение
Сопротивление источника сигнала, Ом	700
Коэффициент усиления по напряжению	4000
Длительность импульса, мкс	1,3
Длительность фронта, мкс	0,12
Допустимая величина выброса, %	0,8
Спад плоской части вершины импульса, %	1,1
Сопротивление нагрузки, Ом	450
Емкость нагрузки, пФ	15
Максимальный размах выходного напряжения, В	6
Напряжение питания, В	18
Температура T _{max} , °C	35

Выходные характеристики усилителя: $U_{\text{ВЫХ}}$, $I_{\text{ВЫХ}}$, $P_{\text{ВЫХ}}$.

$U_{\text{ВЫХ}}$ – максимальная амплитуда выходного напряжения;

$I_{\text{ВЫХ}}$ – максимальная амплитуда выходного тока;

$P_{\text{ВЫХ}}$ – максимальная выходная мощность.

Выходная мощность усилителя:

$$P_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}} * U_{\text{ВЫХ}} = 78 \text{ мВт}$$

Напряжение на выходе усилителя:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 6 \text{ В}$$

Ток на выходе усилителя:

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}} = \frac{6 \text{ В}}{450 \text{ Ом}} = 13 \text{ мА}$$

1.1. Выбор схем входного и выходного каскадов

Сопротивление источника сигнала $R_i = 700 \text{ Ом} < 10 \text{ кОм}$, поэтому входной каскад выбирается по схеме общим эмиттером.

Сопротивление нагрузки $R_n = 450 \text{ Ом} > 300 \text{ Ом}$ поэтому выходной каскад выполняется по схеме с ОЭ. Коэффициент ослабления во входной цепи примем $K_{вх} = 0,6 - 0,8 = 0,8$. Запас усиления примем 70 %

1.2. Определение количества каскадов предварительного усиления (КПУ)
Коэффициент усиления, требуемый от КПУ:

$$K_{кпу} = \frac{(1,5 - 2,0)K}{K_{вх}K_{вых}K_{вц}} = \frac{1,7 * 3650}{1 * 0,8 * 0,9} = 8333$$
$$K_i = 8 - 12 = 10$$

Рассчитаем количество каскадов n , необходимых для обеспечения коэффициента усиления по напряжению $K_{кпу} = 8333$.

$$n = \log_{K_i} K_{кпу} = \log_{10} 8333 \approx 3,92$$
$$n = 4$$

Коэффициент усиления КПУ:

$$K_i = \sqrt[n]{K_{кпу}} = \sqrt[4]{8333} \approx 9,55$$

1.3. Распределение временных искажений

$$\tau_{\varphi i} = \frac{\tau_{\varphi}}{n} = \frac{0,12 \text{ мкс}}{4} = 0,03 \text{ мкс}$$

Величина спада вершины импульса:

$$\Delta_i = \frac{\delta}{n} = \frac{1,1 \%}{4} = 0,275 \%$$

$$\delta_i = \frac{\delta}{n} = \frac{0,8 \%}{4} = 0,2 \%$$

Структурная схема усилительного тракта представлена на рисунке 1:

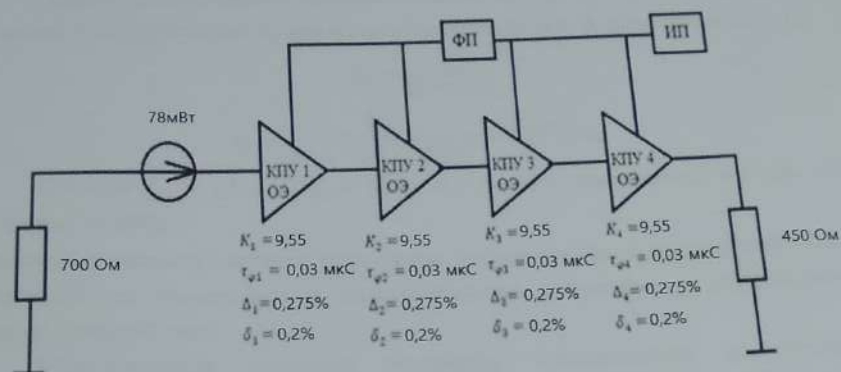


Рис. 1. Структурная схема усилительного каскада.

2. Выбор схемы оконечного каскада

2.1. Выбор транзистора

Транзистор выбирают по граничной частоте усиления $f_{гр}$, которая должна в несколько раз превышать верхнюю частоту в спектре сигнала f_v :

$$f_v \approx \frac{2,2}{2 \cdot \pi \cdot \tau_\phi}$$
$$f_v \approx \frac{2,2}{2 \cdot \pi \cdot 0,12 \cdot 10^{-6}} \approx 2,9 \text{ МГц}$$

Отсюда $f_{гр} = (3 \dots 10)f_v = 15 \text{ МГц}$, значит транзистор должен иметь $f_{гр}$ более 10 МГц.

Помимо граничной частоты транзистор выбирают по максимальной тепловой мощности на коллекторе и максимальному допустимому напряжению на выходе транзистора.

Максимальная тепловая мощность рассеиваемая на коллекторе транзистора P_{Kmax} должна в несколько раз превышать выходную мощность $P_{Вых}$:

$$P_{Вых} = 78 \text{ мВт} \Rightarrow P_{Kmax} = 0,15 \dots 0,2 \text{ Вт}$$

Максимальное допустимое напряжение на выходе транзистора должно быть больше, чем требуемое выходное напряжение: $U_{Kmax} > U_{Вых}$.

$$E_n = 18 \text{ В} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow U_{Kmax} \approx 30 - 40 \text{ В}$$

Для более точного выбора транзистора найдем максимальный ток коллектора:

$$I_{Kmax} = \frac{E_n}{R_n} = \frac{18 \text{ В}}{450 \text{ Ом}} = 40 \text{ мА}$$

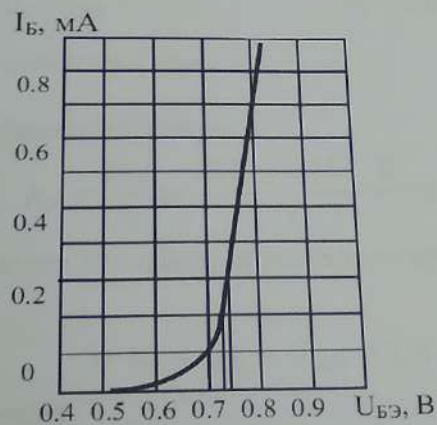
Таким образом, по выделенным характеристикам были подобран транзистор КТ315И, характеристика представлена в таблице 2.

Таблица 2. Основная характеристика КТ 312 И.

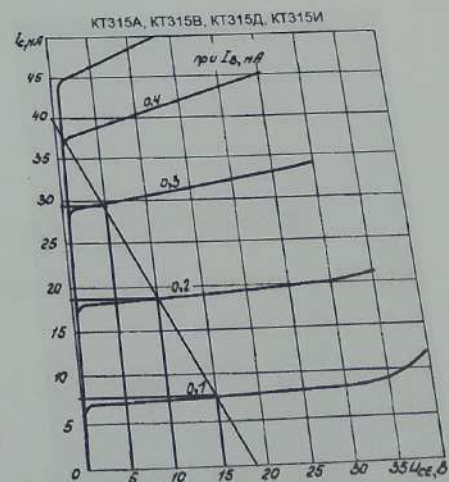
• Структура транзистора: n-p-n
• $I_{k \max}$ – постоянный ток коллектора: 50 мА
• $U_{kэ \max}$ – постоянное напряжение коллектор-эмиттер: 60 В
• $U_{эб \max}$ – постоянное напряжение эмиттер-база: 6 В
• $P_{k \max}$ – постоянная рассеиваемая мощность коллектора: 100 мВт
• $f_{гр}$ – граничная частота коэффициента передачи тока транзистора для схемы с общим эмиттером: 5 МГц
• $T_{п \max}$ – температура перехода: 120 °С
• $h_{21э}$ – статический коэффициент передачи тока транзистора в режиме малого сигнала для схем с общим эмиттером: 30
• $C_{ск}$ – ёмкость коллекторного перехода: 7 пФ

2.2. Построение нагрузочных характеристик

Транзистор КТ315И. Вольтамперные характеристики представлены на рисунке 2.



(а)



(б)

Рис. 2. Входная ВАХ транзистора КТ315И – (а). Выходная ВАХ транзистора КТ315И – (б).

Параметры рабочей точки:

- напряжение питания: $E_n = 18 \text{ В}$,
- токи в рабочей точке: $I_{B0} = 0,2 \text{ мА}$, $I_{K0} = 18 \text{ мА}$, $I_{Э0} = 18,2 \text{ мА}$
- напряжения в рабочей точке: $U_{БЭ0} = 0,74 \text{ В}$, $U_{КЭ0} = 10 \text{ В}$.

2.3. Расчет Y-параметров

Входная проводимость:

$$Y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{БЭ}} \Big|_{U_{КЭ}=U_{КЭ0}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,06} = 3,33 \text{ мСм},$$

Выходная проводимость:

$$Y_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} \Big|_{I_B=I_{B0}} = \frac{21 \cdot 10^{-3}}{10} = 2,1 \text{ мСм},$$

Крутизна:

$$Y_{21} = S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{БЭ}} \Big|_{U_{КЭ}=U_{КЭ0}} = \frac{21 \cdot 10^{-3}}{0,06} = 350 \text{ мА/В}.$$

$$\alpha = \frac{y_{21}}{y_{11} + y_{21}} = \frac{0,350}{0,0033 + 0,350} = 0,99$$

2.4. Расчет КПД

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{E_n \cdot (I_{K0} + \frac{I_{\text{вых}}}{\sqrt{2}})} \cdot 100\% = \frac{0,078}{18 \cdot (0,018 + \frac{0,013}{\sqrt{2}})} \cdot 100\% = 16\%$$

2.5. Расчет элементов схемы

1) Сопротивление эмиттера:

$$R_Э = \frac{U_{RЭ}}{I_Э} = \frac{(0,1 \div 0,15) \cdot E_n}{I_Э} = \frac{0,1 \cdot 18}{18,2 \cdot 10^{-3}} = 98,9 \text{ Ом}$$

Номинал выбираем из стандартного ряда номиналов сопротивления – 100 Ом (E24).

$$2) U_6 = U_{R_Э} + U_{БЭ0} = 1,8 + 0,74 = 2,54 \text{ В};$$

3) Ток делителя:

$$I_{\text{дел}} = (3 \div 5) \cdot I_{B0} = 5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ мА};$$

4) Расчет сопротивлений элементов делителя:

$$R_1 = \frac{E_n - U_6}{I_{\text{дел}}} = \frac{18 - 2,54}{1 \cdot 10^{-3}} = 15,46 \text{ кОм},$$

$$R_1 = 15,46 \text{ кОм}, \text{ номинал} - 16 \text{ кОм (E24)};$$

$$R_2 = \frac{U_6}{I_{дел}} = \frac{2,54}{1 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кОм},$$

$R_2 = 2,4 \text{ кОм}$, номинал – 2,4 кОм (E24);

$$R_{дел} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{16 \cdot 2,4}{16 + 2,4} = 2,206 \text{ кОм}$$

Номинал $R_{дел} = 2,2 \text{ кОм}$

5) Сопротивление коллектора:

$$R_K = \frac{E_n}{I_{Kmax}} - R_э = \frac{18}{40 \cdot 10^{-3}} - 100 = 350 \text{ Ом},$$

Номинал: $R_K = 360 \text{ Ом}$ (E24).

2.6. Расчет характеристик

$$Y_{эв} = Y_{22} + \frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_n} = 2,1 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{360} + \frac{1}{450} = 7,09 \text{ мСм}.$$

1) Коэффициент усиления:

$$K_0 = \frac{S}{Y_{эв}} = \frac{0,35}{7,09} = 49,365;$$

Коэффициент усиления получился гораздо больше требуемого $K_i = 9,55$, поэтому для уменьшения коэффициента усиления введем обратную связь. Фактор обратной связи будет равен:

$$F = \frac{K_0}{K_i} = \frac{49,365}{9,55} = 5,17$$

2) Сопротивление эмиттера обратной связи:

$$R_{эос} = \frac{F - 1}{Y_{21}} = \frac{5,17 - 1}{0,35} = 11,91 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 12 Ом

Тогда значение сопротивления эмиттера окажется равным:

$$R = R_э - R_{эос} = 100 - 12 = 88 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 82 Ом

3) Расчет емкостей:

$$C_э \geq \frac{\tau_{\phi i}}{\Delta I \cdot R_э}, C_э = \frac{0,035 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,00275 \cdot 100} = 14,8 \text{ нФ},$$

Номинал – $C_э = 15 \text{ нФ}$ (E3);

Разделительная емкость каскада:

$$C_p \geq \frac{\tau_n}{\Delta \left(R_n + \frac{R_{дел}}{1 + g_{11} R_{дел}} \right)},$$

$$C_p = \frac{1,3 \cdot 10^{-6}}{0,011 \left(450 + \frac{2,2 \cdot 10^3}{1 + 0,033 \cdot 2,2 \cdot 10^3} \right)} = 24,6 \text{ нФ}$$

Номинал – 27 нФ;

4) Входное напряжение:

$$U_{вх} = \frac{U_{вых}}{K_0} = \frac{6}{9,55} = 0,632 \text{ В.}$$

5) Входное сопротивление каскада:

$$R_{вх_{03}} = \frac{\frac{R_{дел}}{Y_{11}}}{R_{дел} + \frac{1}{Y_{11}}} = \frac{\frac{2,2 \cdot 10^3}{3,33 \cdot 10^{-3}}}{2,2 \cdot 10^3 + \frac{1}{3,3 \cdot 10^{-3}}} = 264 \text{ Ом;}$$

С учетом обратной связи получим входное сопротивление:
 $R_{вх_{оос}} = R_{вх} * F = 264 * 5,17 = 1365 \text{ Ом}$
 Значение из ряда номиналов: 1300 Ом

6) Входной ток:

$$I_{вх} = \frac{U_{вх}}{R_{вх}} = \frac{0,632}{1,3 \cdot 10^3} = 0,49 \text{ мА;}$$

7) Входная мощность:

$$P_{вх} = \frac{U_{вх} \cdot I_{вх}}{2} = \frac{0,632 \cdot 0,49 \cdot 10^{-3}}{2} = 155 \text{ мкВт;}$$

2.7. Принципиальная схема

На рисунке 3 представлена принципиальная схема выходного каскада, построенная на транзисторе КТ312Б.

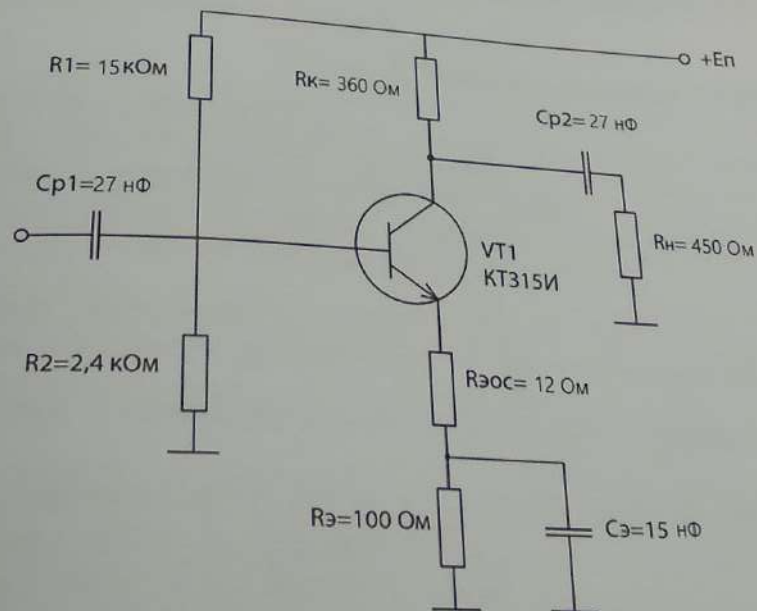


Рис. 3. Принципиальная схема выходного каскада

3. Выбор схем предоконечного каскада

3.1. Выбор транзистора

Выходные характеристики каскада:

$U_{\text{вых}} = 0,63 \text{ В}$, $I_{\text{вых}} = 0,49 \text{ мА}$, $P_{\text{вых}} = 155 \text{ мВт}$, $R_{\text{н}} = 1,3 \text{ кОм}$, $f_{\text{в}} \approx 2,9 \text{ МГц}$.
Выбираем транзистор, который будет удовлетворять следующим параметрам:

- 1) Максимальная тепловая мощность рассеиваемая на коллекторе транзистора $P_{\text{К max}}$ должна в несколько раз превышать выходную мощность $P_{\text{Вых}}$:
 $P_{\text{Вых}} = 155 \text{ мВт} \Rightarrow P_{\text{К max}} = 155 \dots 500 \text{ мВт}$.
- 2) Максимальное допустимое напряжение на выходе транзистора должно быть больше, чем требуемое выходное напряжение: $U_{\text{К max}} > U_{\text{Вых}}$.

$$U_{\text{Вых}} = 0,63 \text{ В};$$

$$\Rightarrow U_{\text{К max}} \approx 20 \dots 30 \text{ В}.$$

- 3) Граничная частота $f_{\text{гр}} = (3 \dots 10)f_{\text{в}} = 2,9 \text{ МГц}$, значит транзистор должен иметь $f_{\text{гр}}$ более 15 МГц.

$$4) I_{\text{К max}} = \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{н}}} = \frac{18 \text{ В}}{1,3 \text{ кОм}} = 13,85 \text{ мА}$$

Согласно перечисленным выше ограничениям, подходит транзистор КТ 312 А, характеристика представлена в таблице 3.

Таблица 3. Основная характеристика КТ 312 А.

• Структура транзистора: n-p-n
• $I_{\text{к max}}$ – постоянный ток коллектора: 30 мА
• $I_{\text{к и max}}$ – импульсный ток коллектора: 60 мА
• $U_{\text{кэ max}}$ – постоянное напряжение коллектор-эмиттер: 20 В
• $U_{\text{эб max}}$ – постоянное напряжение эмиттер-база: 4 В
• $U_{\text{кб max}}$ – постоянное напряжение коллектор-база: 35 В
• $P_{\text{к max}}$ – постоянная рассеиваемая мощность коллектора: 225 мВт
• $P_{\text{к и max}}$ – импульсная рассеиваемая мощность транзистора: 450 мВт
• $f_{\text{гр}}$ – граничная частота коэффициента передачи тока транзистора для схемы с общим эмиттером: 80 МГц
• $T_{\text{п max}}$ – температура перехода: 115 °С

Продолжение таблицы 3.

- $U_{кэ\text{ нас.}}$ – напряжение насыщения коллектор-эмиттер: 0,8 В
- $h_{21э}$ – статический коэффициент передачи тока транзистора в режиме малого сигнала для схем с общим эмиттером: 10...100
- $C_{к}$ – ёмкость коллекторного перехода: 5 пФ
- $C_{э}$ – ёмкость эмиттерного перехода: 20 пФ.

3.2. Построение нагрузочных характеристик

Транзистор КТ 312 А. ВАХ характеристики представлены на рисунке 4.

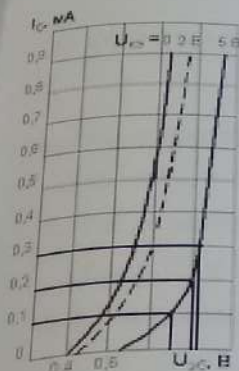


Рис. 4. Входная ВАХ транзистора КТ 312 А – (а). Выходная ВАХ транзистора КТ 312 А – (б).

Параметры рабочей точки:

- напряжение питания: $E_{п} = 18$ В,
- токи в рабочей точке: $I_{Б0} = 0,2$ мА, $I_{К0} = 13,5$ мА, $I_{Э0} = 13,7$ мА
- напряжения в рабочей точке: $U_{БЭ0} = 0,7$ В, $U_{КЭ0} = 7$ В.

3.3. Расчет Y-параметры

Входная проводимость:

$$Y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{БЭ}} \Big|_{U_{КЭ}=U_{КЭ0}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,71 - 0,64} = 2,86 \text{ мСм},$$

Выходная проводимость:

Крутизна:

$$Y_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KЭ}} \Big|_{I_{Б} \approx I_{Б0}} = \frac{(17-8) \cdot 10^{-3}}{13-3} = 0,9 \text{ мСм},$$

$$Y_{21} = S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{БЭ}} \Big|_{U_{KЭ} \approx U_{KЭ0}} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{0,07} = 129 \text{ мА/В}.$$

$$\alpha = \frac{Y_{21}}{Y_{11} + Y_{21}} = \frac{0,13}{0,1329} = 0,978$$

3.4. Расчет элементов схемы

1) Сопротивление эмиттера:

$$R_Э = \frac{U_{R_Э}}{I_Э} = \frac{(0,1 + 0,15) \cdot E_{П}}{I_Э} = \frac{0,1 \cdot 18}{13,7 \cdot 10^{-3}} = 131 \text{ Ом}$$

Номинал сопротивления – 130 Ом (Е24).

2) $U_Б = U_{R_Э} + U_{БЭ0} = 1,8 + 0,7 = 2,5 \text{ В};$

3) Ток делителя:

$$I_{\text{дел}} = (3 \div 5) \cdot I_{Б0} = 5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ мА}$$

4) Расчет сопротивления элементов делителя:

$$R_1 = \frac{E_{П} - U_Б}{I_{\text{дел}}} = \frac{18 - 2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 15,5 \text{ кОм},$$

номинал – 16 кОм (Е24);

$$R_2 = \frac{U_Б}{I_{\text{дел}}} = \frac{2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кОм},$$

номинал – 2,4 кОм (Е24);

$$R_{\text{дел}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{16 \cdot 2,4}{16 + 2,4} = 2,09 \text{ кОм}$$

Номинал – 2 кОм

5) Сопротивление коллектора:

$$R_K = \frac{E_{П}}{I_{K\text{max}}} - R_Э = \frac{18}{20 \cdot 10^{-3}} - 130 = 749 \text{ Ом}$$

$R_K = 750 \text{ Ом (Е24).}$

3.5. Расчет характеристик

$$Y_{ЭКВ} = Y_{22} + \frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_H} = 0,9 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{750} + \frac{1}{1300} = 2,99 \text{ мСм}.$$

1) Коэффициент усиления:

$$K_0 = \frac{s}{Y_{\text{экв}}} = \frac{129}{2,99} = 43,14;$$

Коэффициент усиления получился гораздо больше требуемого $K_i=9,55$, поэтому для уменьшения коэффициента усиления введем обратную связь. Фактор обратной связи будет равен:

$$F = \frac{K_0}{K_i} = \frac{43,14}{9,55} = 4,52$$

2) Сопротивление эмиттера обратной связи:

$$R_{\text{эос}} = \frac{F-1}{Y_{21}} = 27,3 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 27 Ом

Тогда значение сопротивления эмиттера будет равно:
Значение из ряда номиналов: 100 Ом

$$R = R_{\text{э}} - R_{\text{эос}} = 130 - 27 = 103 \text{ Ом}$$

3) Расчет ёмкостей:

$$C_{\text{э}} \geq \frac{\tau_{\text{фл}}}{\Delta I \cdot R_{\text{э}}}, C_{\text{э}} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{0,00275 \cdot 100} = 109 \text{ нФ},$$

номинал: $C_{\text{э}} = 110 \text{ нФ}$;

Разделительная емкость каскада:

$$C_p \geq \frac{\tau_n}{\Delta \left(R_n + \frac{R_{\text{дел}}}{1 + g_{11} R_{\text{дел}}} \right)},$$

$$C_p = \frac{1,3 \cdot 10^{-6}}{0,011 \left(1300 + \frac{2 \cdot 10^3}{1 + 0,0029 \cdot 2 \cdot 10^3} \right)} = 90 \text{ нФ}$$

номинал – 91 нФ;

4) Входное напряжение:

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вых}}}{K_0} = \frac{0,63}{9,55} = 0,066 \text{ В};$$

5) Входное сопротивление каскада:

$$R_{\text{вх0э}} = \frac{\frac{R_{\text{дел}}}{Y_{11}}}{R_{\text{дел}} + \frac{1}{Y_{11}}} = \frac{\frac{2 \cdot 10^3}{2,86 \cdot 10^{-3}}}{2 \cdot 10^3 + \frac{1}{2,86 \cdot 10^{-3}}} = 297,6 \text{ Ом};$$

С учетом обратной связи получим входное сопротивление:

$$R_{\text{вхоос}} = R_{\text{вх}} \cdot F = 297,6 \cdot 4,52 = 1345 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 1500 Ом

6) Входной ток:

$$I_{вх} = \frac{U_{вх}}{R_{вх}} = \frac{0,066}{1300} = 50,7 \text{ мкА};$$

7) Входная мощность:

$$P_{вх} = U_{вх} \cdot I_{вх} = 0,066 \cdot 50,7 \cdot 10^{-6} = 3,34 \text{ мкВт};$$

3.6. Принципиальная схема

На рисунке 5 представлена принципиальная схема предоконечного каскада, построенная на транзисторе КТ 312 А.

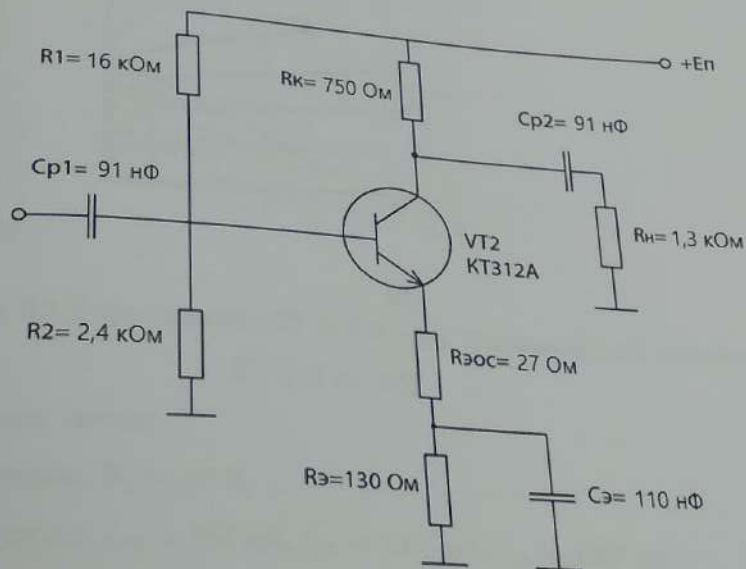


Рис. 5. Принципиальная схема предоконечного каскада.

4. Расчет второго каскада предварительного усиления

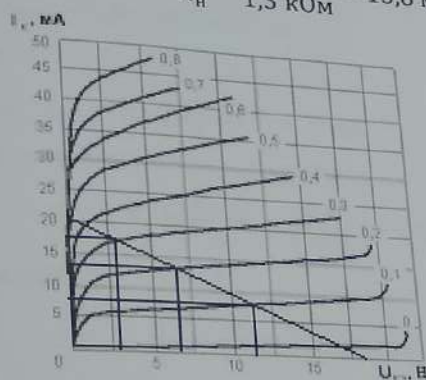
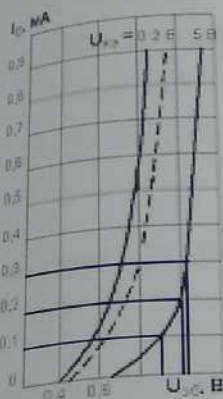
Выбор транзистора

Выходные характеристики каскада:

$U_{вых} = 0,066 \text{ В}$, $I_{вых} = 50 \text{ мкА}$, $P_{вых} = 3,34 \text{ мкВт}$, $R_n = 1,3 \text{ кОм}$, $f_n \approx 2,9 \text{ МГц}$.

Для обеспечения параметров, требуемых от каскада, выбираем транзистор КТ312А, использованный в предыдущем каскаде. Рабочую точку и Y -параметры возьмем те же, что и в 3-ем КПУ.

$$I_{кmax} = \frac{E_n}{R_n} = \frac{18 \text{ В}}{1,3 \text{ кОм}} = 13,8 \text{ мА}$$



(а) Рис. 6. Входная ВАХ транзистора КТ 312 А – (а). Выходная ВАХ транзистора КТ 312 А – (б).

Параметры рабочей точки:

- напряжение питания: $E_n = 18 \text{ В}$,
- токи в рабочей точке: $I_{Б0} = 0,2 \text{ мА}$, $I_{К0} = 13,5 \text{ мА}$, $I_{Э0} = 13,7 \text{ мА}$
- напряжения в рабочей точке: $U_{БЭ0} = 0,7 \text{ В}$, $U_{КЭ0} = 7 \text{ В}$.

4.2. Расчет Y -параметры

Входная проводимость:

$$Y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{БЭ}} \Big|_{U_{КЭ}=U_{КЭ0}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,07} = 2,86 \text{ мСм},$$

Выходная проводимость:

$$Y_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{КЭ}} \Big|_{I_B=I_{Б0}} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,9 \text{ мСм},$$

Крутизна:

$$Y_{21} = S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{B3}} \Big|_{U_{K3}=U_{K30}} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{0,07} = 129 \text{ мА/В.}$$

$$\alpha = \frac{y_{21}}{y_{11} + y_{21}} = \frac{0,13}{0,1329} = 0,978$$

4.3. Расчет элементов схемы

1) Сопротивление эмиттера:

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_3} = \frac{(0,1 + 0,15) \cdot E_n}{I_3} = \frac{0,1 \cdot 18}{13,7 \cdot 10^{-3}} = 131 \text{ Ом}$$

Номинал сопротивления – 130 Ом (Е24).

$$2) U_6 = U_{R3} + U_{630} = 1,8 + 0,7 = 2,5 \text{ В;}$$

3) Ток делителя:

$$I_{\text{дел}} = (3 \div 5) \cdot I_{60} = 5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ мА}$$

4) Расчет сопротивления элементов делителя:

$$R_1 = \frac{E_n - U_6}{I_{\text{дел}}} = \frac{18 - 2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 15,5 \text{ кОм,}$$

номинал – 16 кОм (Е24);

$$R_2 = \frac{U_6}{I_{\text{дел}}} = \frac{2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кОм,}$$

номинал – 2,4 кОм (Е24);

$$R_{\text{дел}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{16 \cdot 2,4}{16 + 2,4} = 2,09 \text{ кОм}$$

Номинал – 2 кОм;

5) Сопротивление коллектора:

$$R_K = \frac{E_n}{I_{K\max}} - R_3 = \frac{18}{20 \cdot 10^{-3}} - 130 = 749 \text{ Ом}$$

$R_K = 750 \text{ Ом (Е24).}$

4.4. Расчет характеристик

$$Y_{\text{экв}} = Y_{22} + \frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_H} = 0,9 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{750} + \frac{1}{1300} = 2,99 \text{ мСм.}$$

1) Коэффициент усиления:

$$K_0 = \frac{S}{Y_{\text{экв}}} = \frac{129}{2,99} = 43,14;$$

Коэффициент усиления получился гораздо больше требуемого $K_i=9,55$, поэтому для уменьшения коэффициента усиления введем обратную связь.

Фактор обратной связи будет равен:

$$F = \frac{K_o}{K_i} = \frac{43,14}{9,55} = 4,52$$

2) Сопротивление эмиттера обратной связи:

$$R_{эос} = \frac{F-1}{Y_{21}} = 27,3 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 27 Ом

Тогда значение сопротивления эмиттера будет равно:

$$R = R_{э} - R_{эос} = 130 - 27 = 103 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 100 Ом

3) Расчет ёмкостей:

$$C_{э} \geq \frac{\tau_{\Phi 1}}{\Delta I \cdot R_{э}}, C_{э} = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{0,00275 \cdot 100} = 109 \text{ нФ},$$

номинал: $C_{э} = 110 \text{ нФ}$;

Разделительная емкость каскада:

$$C_p \geq \frac{\tau_{и}}{\Delta \left(R_{и} + \frac{R_{дел}}{1 + g_{11} R_{дел}} \right)},$$

$$C_p = \frac{1,3 \cdot 10^{-6}}{0,011 \left(1300 + \frac{2 \cdot 10^3}{1 + 0,0029 \cdot 2 \cdot 10^3} \right)} = 90 \text{ нФ}$$

номинал – 91 нФ;

4) Входное напряжение:

$$U_{вх} = \frac{U_{вых}}{K_o} = \frac{0,066}{9,55} = 6,9 \text{ мВ};$$

5) Входное сопротивление каскада:

$$R_{вх_{03}} = \frac{R_{дел}}{1 + \frac{g_{11} R_{дел}}{1 + R_{э}(g_{21} + g_{11})}} = \frac{2000}{1 + \frac{0,00286 \cdot 2000}{1 + 130(0,129 + 0,00286)}} = 1498,91 \text{ Ом};$$

Номинал - $R_{вх_{03}} = 1,5 \text{ кОм}$

6) Входной ток:

$$I_{вх} = \frac{U_{вх}}{R_{вх}} = \frac{6,9 \cdot 10^{-3}}{1500} = 4,6 \text{ мкА};$$

7) Входная мощность:

$$P_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{вх}} = 6,9 \cdot 10^{-3} \cdot 4,6 \cdot 10^{-6} = 31,74 \text{ нВт};$$

4.5. Принципиальная схема

На рисунке 7 представлена принципиальная схема предоконечного каскада, построенная на транзисторе КТ 312 А.

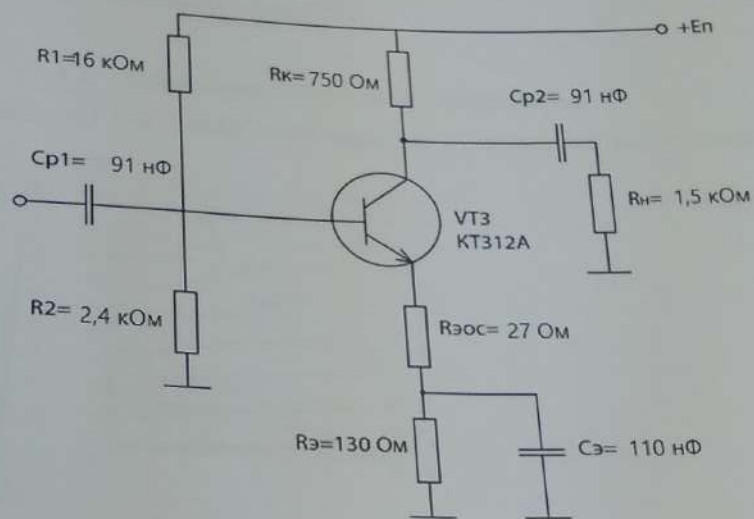


Рис. 7. Принципиальная схема предоконечного каскада.

5. Расчет первого каскада предварительного усиления

5.1. Выбор транзистора

Выходные характеристики каскада:

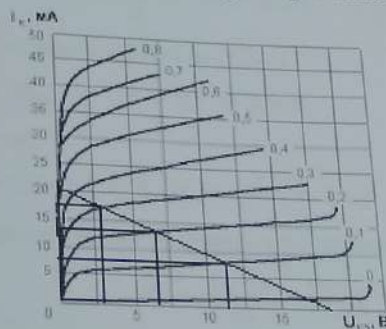
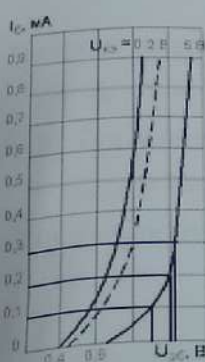
$$U_{\text{вых}} = 6,9 \text{ мВ}, I_{\text{вых}} = 4,6 \text{ мкА}, P_{\text{вых}} = 31,74 \text{ нВт}, R_{\text{н}} = 1,5 \text{ кОм},$$

$$f_{\text{н}} \approx 2,9 \text{ МГц}.$$

Для обеспечения параметров, требуемых от каскада, выбираем транзистор КТ312А, использованный в предыдущем каскаде. Рабочую точку и Y-параметры возьмем те же, что и в 3-ем КПУ.

5.2. Построение нагрузочных характеристик

Транзистор КТ 312 А. ВАХ характеристики представлены на рисунке 6.



(а)

(б)

Рис. 6. Входная ВАХ транзистора КТ 312 А – (а). Выходная ВАХ транзистора КТ 312 А – (б).

Параметры рабочей точки:

- напряжение питания: $E_{\text{п}} = 18 \text{ В}$,

- токи в рабочей точке: $I_{\text{Б0}} = 0,2 \text{ мА}$, $I_{\text{К0}} = 13,5 \text{ мА}$, $I_{\text{Э0}} = 13,7 \text{ мА}$

- напряжения в рабочей точке: $U_{\text{БЭ0}} = 0,7 \text{ В}$, $U_{\text{КЭ0}} = 7 \text{ В}$.

5.3. Расчет Y-параметры

Входная проводимость:

$$Y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{B3}} \Big|_{U_{K3}=U_{K30}} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,07} = 2,86 \text{ мСм},$$

Выходная проводимость:

$$Y_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{K3}} \Big|_{I_B=I_{B0}} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,9 \text{ мм},$$

Крутизна:

$$Y_{21} = S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{B3}} \Big|_{U_{K3}=U_{K30}} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{0,07} = 129 \text{ мА/В}.$$

$$\alpha = \frac{Y_{21}}{Y_{11} + Y_{21}} = \frac{0,13}{0,1329} = 0,978$$

5.4. Расчет элементов схемы

6) Сопротивление эмиттера:

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_3} = \frac{(0,1 + 0,15) \cdot E_n}{I_3} = \frac{0,1 \cdot 18}{13,7 \cdot 10^{-3}} = 131 \text{ Ом}$$

Номинал сопротивления – 130 Ом (E24).

$$7) U_6 = U_{R3} + U_{630} = 1,8 + 0,7 = 2,5 \text{ В};$$

8) Ток делителя:

$$I_{\text{дел}} = (3 + 5) \cdot I_{B0} = 5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ мА}$$

9) Расчет сопротивления элементов делителя:

$$R_1 = \frac{E_n - U_6}{I_{\text{дел}}} = \frac{18 - 2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 15,5 \text{ кОм},$$

номинал – 16 кОм (E24);

$$R_2 = \frac{U_6}{I_{\text{дел}}} = \frac{2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кОм},$$

номинал – 2,4 кОм (E24);

$$R_{\text{дел}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{16 \cdot 2,4}{16 + 2,4} = 2,09 \text{ кОм}$$

Номинал – 2 кОм;

10) Сопротивление коллектора:

$$R_K = \frac{E_n}{I_{K\text{max}}} - R_3 = \frac{18}{20 \cdot 10^{-3}} - 130 = 749 \text{ Ом}$$

$R_K = 750 \text{ Ом (E24)}.$

5.5. Расчет характеристик

$$Y_{\text{экв}} = Y_{22} + \frac{1}{R_k} + \frac{1}{R_H} = 1,3 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{750} + \frac{1}{1500} = 2,89 \text{ мСм.}$$

8) Коэффициент усиления:

$$K_0 = \frac{S}{Y_{\text{экв}}} = \frac{129}{2,89} = 43,64;$$

Коэффициент усиления получился гораздо больше требуемого $K_i=9,55$, поэтому для уменьшения коэффициента усиления введем обратную связь. Фактор обратной связи будет равен:

$$F = \frac{K_0}{K_i} = \frac{43,64}{9,55} = 4,57$$

9) Сопротивление эмиттера обратной связи:

$$R_{\text{эос}} = \frac{F - 1}{Y_{21}} = 27,6 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 27 Ом

Тогда значение сопротивления эмиттера будет равно:

$$R = R_{\text{э}} - R_{\text{эос}} = 130 - 27 = 103 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 100 Ом

10) Расчет ёмкостей:

$$C_3 \geq \frac{\tau_{\Phi i}}{\Delta_i R_3}, C_3 = \frac{0,03 \cdot 10^{-6}}{0,00275 \cdot 100} = 109 \text{ нФ,}$$

номинал: $C_3 = 110 \text{ нФ}$;

Разделительная емкость каскада:

$$C_p \geq \frac{\tau_{\text{и}}}{\Delta \left(R_H + \frac{R_{\text{дел}}}{1 + g_{11} R_{\text{дел}}} \right)},$$

$$C_p = \frac{1,3 \cdot 10^{-6}}{0,011 \left(1300 + \frac{2 \cdot 10^3}{1 + 0,0029 \cdot 2 \cdot 10^3} \right)} = 90 \text{ нФ}$$

номинал – 91 нФ;

11) Входное напряжение:

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вых}}}{K_0} = \frac{0,0069}{9,55} = 0,7 \text{ мВ;}$$

12) Входное сопротивление каскада:

$$R_{\text{вх03}} = \frac{R_{\text{дел}}}{1 + \frac{g_{11} R_{\text{дел}}}{1 + R_3(g_{21} + g_{11})}} = \frac{2000}{1 + \frac{0,00286 \cdot 2000}{1 + 130(0,129 + 0,00286)}} = 1498,91 \text{ Ом;}$$

Номинал - $R_{вх\text{ос}} = 1,5 \text{ кОм}$

13) Входной ток:

$$I_{вх} = \frac{U_{вх}}{R_{вх}} = \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{1500} = 0,47 \text{ мкА};$$

14) Входная мощность:

$$P_{вх} = U_{вх} \cdot I_{вх} = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,47 \cdot 10^{-6} = 0,3 \text{ нВт};$$

5.6. Принципиальная схема

На рисунке 7 представлена принципиальная схема предоконечного каскада, построенная на транзисторе КТ 312 А.

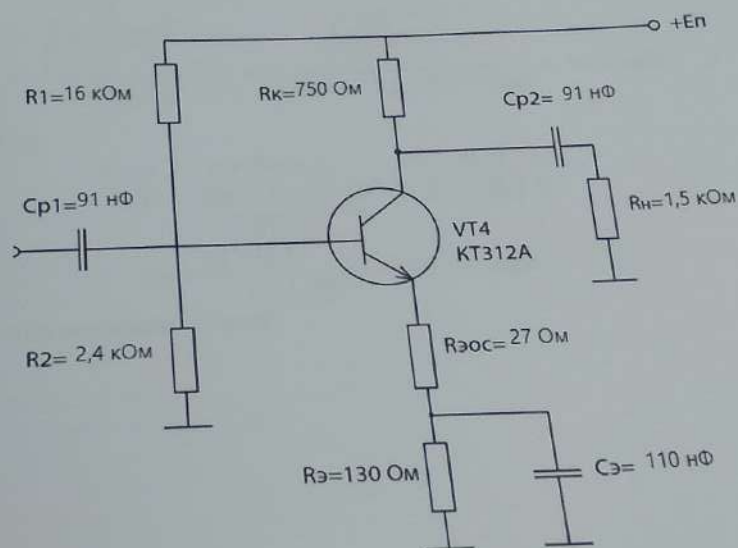


Рис. 7. Принципиальная схема предоконечного каскада.

6. Расчет фильтра питания

Фильтр питания одновременно действует как развязывающий фильтр, защищающий каскад от паразитной обратной связи через общий источник питания, а также фильтр, сглаживающий пульсации напряжения питания. Падение напряжения на сопротивлении фильтра обычно берут 10-15 % от напряжения питания $U_{\phi} = 1,35 \text{ В}$.

Установим фильтр питания после первого каскада усиления.

$$U_{\phi} = 0,1 E_{\text{п}} = 0,1 \cdot 18 = 1,8 \text{ В}$$

$$R_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{\sum I_{\text{к}}} = \frac{1,8}{(18 + 13,5) \cdot 10^{-3}} = 57,1 \text{ Ом}$$

Из ряда резисторов E24 выберем: $R_{\phi} = 56 \text{ Ом}$

$$C_{\phi} = \frac{\sqrt{\left(\frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{п}} - U_{\phi}}\right)^2 - 1}}{2\pi f_{\text{н}} R_{\phi}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{18}{16,2}\right)^2 - 1}}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot 100} = 308 \text{ пкФ}$$

Ёмкость C_{ϕ} :

$$\omega_{\text{н}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{н}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 120 = 753$$

$$U_{\phi 1} = E_{\text{п}} - U_{\phi} = 18 - 1,8 = 16,2 \text{ В}$$

$$C_{\phi} = \frac{\sqrt{\left(\frac{E_{\text{п}}}{U_{\phi 1}}\right)^2 - 1}}{\omega_{\text{н}} \cdot R_{\phi}} = 11,26 \text{ мкФ}$$

Стандартное значение: 15 мкФ

7. Расчет подстройки усиления.

Общий коэффициент усиления, который обеспечивают рассчитанные каскады, рассчитаем по формуле:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{вц}} * K_{\text{кпу1}} * K_{\text{кпу2}} * K_{\text{кпу3}} * K_{\text{кпу4}} = 6654$$

Полученный коэффициент усиления получился гораздо больше заданного в техническом задании. Поэтому чтобы получить коэффициент усиления $K_{\text{ном}}=40000$, заданный в техническом задании, заменим резистор обратной связи 2-го каскада КПУ на подстроечный резистор.

Возьмем запас по усилению 30% для обеспечения запаса регулировки усиления.

Рассчитаем минимальный коэффициент усиления, который позволяет использовать запас по усилению:

$$K_{\text{min}} = K_{\text{ном}} - 0,3 * K_{\text{ном}} = 2800$$

Теперь рассчитаем коэффициент усиления требуемый от 2-го КПУ для обеспечения коэффициента усиления K_{min} .

$$K_{\text{треб}} = \frac{K_{\text{min}}}{K_{\text{вц}} * K_{\text{кпу1}} * K_{\text{кпу3}} * K_{\text{кпу4}}} = 4,018$$

Значение коэффициента усиления для 2 КПУ без учета обратной связи, полученное при расчете каскада, было равно 43,14.

Тогда фактор обратной связи получится равным:

$$F = \frac{43,14}{4,018} = 10,74$$

Рассчитаем сопротивление подстроечного резистора:

$$R_{\text{под}} = \frac{F - 1}{S} = 75,5 \text{ Ом}$$

В качестве подстроечного резистора выберем резистор СП5-2ВБ с сопротивлением 82 Ом.

Тогда сопротивление цепи эмиттера будет равно:

$$R_{\text{э}} = R_{\text{э}} - R_{\text{под}} = 130 - 50 = 80 \text{ Ом}$$

Значение из ряда номиналов: 82 Ом

Ёмкость $C_{\text{э}}$ выбираем из условия:

$$\frac{1}{2 * \pi * F_{\text{н}} * C_{\text{э}}} \ll R_{\text{э}}$$

Допустив, что значение $R_{\text{э}}$ больше в 10 раз, получим формулу:

$$C_{\text{э}} = \frac{10}{2 * \pi * F_{\text{н}} * R_{\text{э}}} = \frac{10}{2 * 3,14 * 120 * 82} = 162 \text{ пкФ}$$

Стандартное значение ёмкости: 180 пкФ

Заключение.

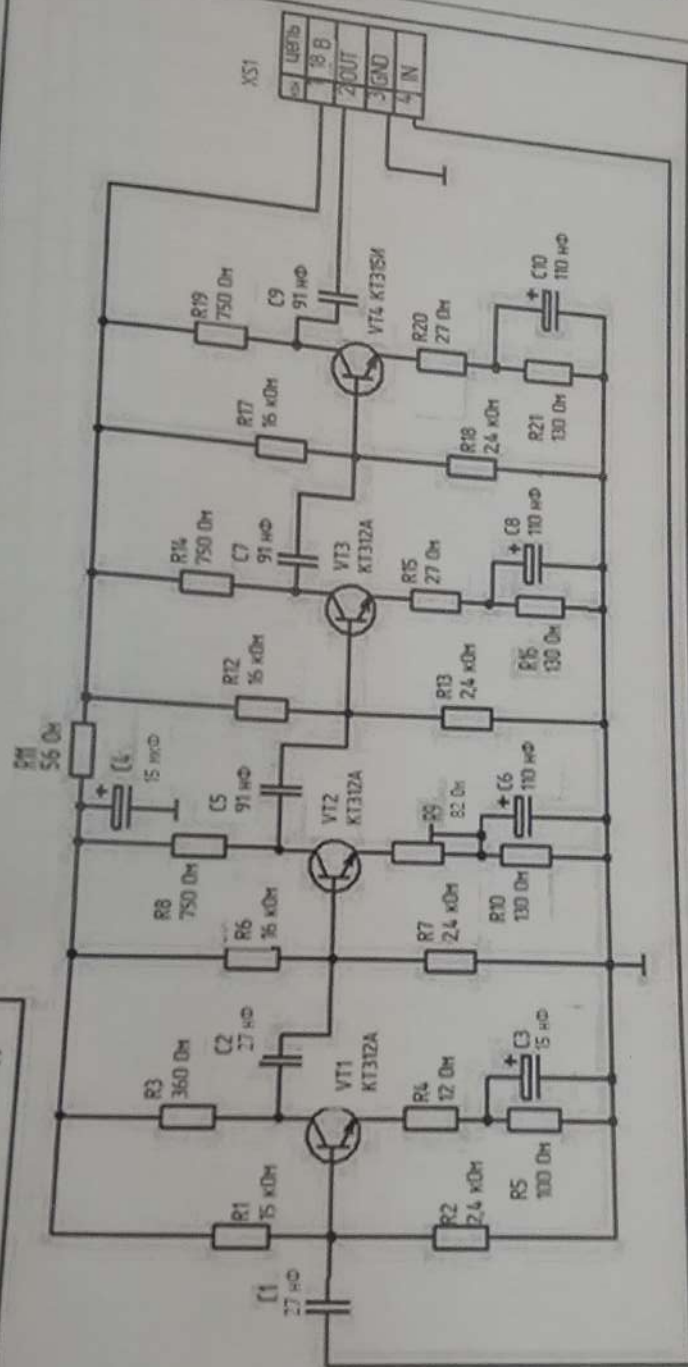
В ходе выполнения данной курсовой работы были приобретены навыки расчета и проектирования радиоэлектронных усилителей. Итогом проведенного расчета является принципиальная схема многокаскадного импульсного усилителя с номиналами всех используемых элементов. В схеме использована современная база. Транзисторы и конденсаторы в схеме обеспечивают необходимый диапазон рабочих частот, что гарантируется, как частотными свойствами транзисторов, так и выбором конденсаторов большей емкости в сравнении с расчетным. Параметры временных искажений получились меньше, чем в техническом задании, что является хорошим показателем. Общий коэффициент усиления получился больше требуемого, поэтому во втором каскаде предварительного усиления был установлен подстроечный резистор для регулировки усиления.

Список литературы:

1. Антонов А.Ю., Афанасьев В.В., Данилаев М.П., Нуреев И.И., Польский Ю.Е., Усанов А.И., Ценцевский А.А. Схемотехника аналоговых электронных устройств, учебно-методическое пособие к курсовому проектированию, Казань 2017 г.
2. Афанасьев В.В., Данилаев М.П., Нуреев И.И., Усанов А.И. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Методическое пособие. Казань 2007 г.
3. Бессарабов Б.Ф., Федюк В.Д., Дедюк Д.В. Диоды, тиристоры, транзисторы и микросхемы широкого применения, Воронеж 1994 г.
4. Перельман Б.Л., Брежнева К.М., Гантман Е.И., Давыдова Т.И. Транзисторы для аппаратуры широкого применения, Москва 1981 г.

Принципиальная схема

Импульсный усилитель



Импульсный усилитель

Изм.	Дет.	№ докум.	Лист	Дата	Дет.	Исполн.	Дет.	Исполн.
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50

Изм.	Дет.	№ докум.	Лист	Дата	Дет.	Исполн.	Дет.	Исполн.
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50

Импульсный усилитель

Спецификация

Спецификация

		Размер	Взам.	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Год пуск.								
						Стандартные изделия		
					C1C2	Конденсаторы		
					C3	K73-17- 27 нФ ±10%	2	
					C4	K73-17- 15 нФ ±5%	1	
					C5,C7,C9	K50-35- 15 мкФ ±10%	1	
					C6	K73-17- 91 нФ ±20%	3	
					C8	K73-17-110 нФ ±5%	1	
					C8,C10	K73-17-110 нФ ±5%	2	
Лист № докум.								
						Резисторы		
					R1	CF-100- 15 кОм ±5%	1	
					R2	CF-100-2,4 кОм ±5%	1	
					R3	CF-100-360 Ом ±5%	1	
					R4	CF-100- 12 Ом ±5%	1	
					R5	CF-100-100 Ом ±5%	1	
					R6,R12,R17	CF-100-16кОм ±5%	3	
					R7,R13,R14,R18,R19	CF-100-2,4кОм ±5%	5	
					R8	CF-100- 750 Ом ±5%	1	
					R9	CF-100-.82 Ом±5%	1	
					R10,R16,R21	CF-100-130 Ом ±5%	3	
					R11	CF-100-56 Ом ±5%	1	
					R15,R20	CF-100-27 Ом ±5%	2	
						Транзисторы		
Год и лист					VT1-VT3	КТ312А		
					VT4	КТ315И		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ.				
Провер.				
Утверждаю:				
Утв.				

Лист	Лист	Листов
	1	2

Κατασκευή

ΦΩΦΩΦΩ A4

[illegible]

Проверка на оригинальность

ПАРАМЕТРЫ ПРОВЕРКИ

ОТЧЕТ №1

Проверено: 22.12.2020 00:55:14

Начало проверки: 22.12.2020 00:55:10

Длительность проверки: 00:00:03

Модуль поиска

Займствования

Самосцитирования

Цитирования

Оригинальность

Модуль поиска Интернет

11.68%

0%

0%

88.32%