

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АВИАЦИОННЫЙ ФАКУЛЬТЕТ ТАШКЕНТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ А.Р. БИРУНИ**

**КАФЕДРА: «ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ И АЭРОПОРТОВ»**

# **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по предмету: «РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ»

на тему:

**«МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРАКТА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ РС «БАКЛАН»»**

Выполнил:

\_\_\_\_\_

подпись

Боборахимов Б.  
ст-т гр. 141-10

Проверил:

\_\_\_\_\_

подпись

Цыбин В.В.

**ТАШКЕНТ 2013**

**АВИАЦИОННЫЙ ФАКУЛЬТЕТ ТАШКЕНТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ А.Р. БИРУНИ**

**КАФЕДРА: «ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ И АЭРОПОРТОВ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зав. кафедрой: доц. Сайдумаров И.М.

\_\_\_\_\_ подпись

«\_\_\_\_\_» 2013 года

**ЗАДАНИЕ  
ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О. студента)

\_\_\_\_\_  
(специальность)

\_\_\_\_\_  
(название предмета)

Тема курсового проекта: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Утверждено приказом №\_\_ от «\_\_\_\_\_» 2013г

Срок сдачи курсового проекта: «\_\_\_\_\_» 2013г

Исходные данные для выполнения проекта: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Содержание пояснительной записки проекта: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Содержание графической части проекта: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Дата выдачи задания: «\_\_\_\_\_» 2013г

Задание принял к исполнению:

\_\_\_\_\_ подпись студента

\_\_\_\_\_ (Ф.И.О. студента)

Руководитель проекта:

\_\_\_\_\_ подпись

\_\_\_\_\_ (Ф.И.О. преподавателя)

## Содержание

1. Введение .....	4
2. Анализ существующей системы и ее недостатков.....	5
2.1. Общие сведения о РС «Баклан» .....	5
2.2. Детальный анализ НЧ тракта приемника РС «Баклан» .....	6
2.3. Недостатки НЧ тракта РС «Баклан» .....	8
3. Выбор и обоснование структурной схемы выходного УНЧ.....	9
4. Выбор и обоснование принципиальной схемы УНЧ.....	11
5. Расчетная часть .....	12
6. Заключение.....	22
7. Список использованной литературы .....	23

## 1. Введение

Системы радиосвязи занимают особое место в процессе УВД, так как являются основным средством обмена информацией между экипажем ЛА и службами УВД. Основное назначение радиосвязного оборудования – передача информации. Информация представляет собой некоторую совокупность сведений о каком-либо объекте или явлении. Информация, выраженная в определенной форме пригодной для передачи, обработки или хранения называется сообщением. Например, информация, содержащаяся в тексте книги, представлена в виде совокупности букв, в речи она выражена изменением звукового давления.

Бортовое радиосвязное оборудование наряду с радионавигационным и радиолокационным оборудованием предназначено для решения задач пилотирования летательных аппаратов. Радиосвязное оборудование играет далеко не последнюю роль на всех этапах полета, и особенно на этапах взлета и захода на посадку. Кроме систем связи, обеспечивающих взаимодействие служб УВД с экипажем ЛА, имеются системы связи служащие для передачи данных и радиосвязи с другими аэропортами или службами. Любая РС содержит в своем составе приемник.

Усилительные устройства являются неотъемлемой частью радиоприемников, они выполнены в качестве УМЗЧ и служат для усиления слабых детектированных сигналов звуковой частоты до нужной мощности. Также усилительные устройства используются в других радиоэлектронных устройствах. Качественные показатели усилительных устройств определяются электрическими, конструктивно – эксплуатационными и экономическими характеристиками.

К основным электрическим характеристикам УМЗЧ относятся чувствительность, помехоустойчивость, допустимые искажения усиливаемого сигнала, динамический диапазон, полоса усиливаемых частот, потребляемая и отдаваемая мощность. К конструктивно – эксплуатационным характеристикам относятся надежность работы, стабильность, габариты и масса: для УМЗЧ, выполненных на ИС масса и габариты существенно отличаются от транзисторных устройств, но имеют худшие параметры. Но транзисторные УМЗЧ обладают большей ремонтоспособностью, так как при выходе из строя отдельного узла ИС приходится менять ИС целиком.

К экономическим характеристикам относятся стоимость: устройства, выполненные на ИС не дешевле, нежели транзисторные или ламповые, но технология изготовления ИС дороже и сложнее. Однако, довольно быстро окупается. Устройства, выполненные и на ИС и на транзисторах имеют очень широкое применение что позволяет и тем и другим быть универсальными.

					5524600.2196.РЭСС.КП.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Боборахимов Б.				Модернизация тракта низкой частоты РС «Баклан»	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Цыбин В.В.						4	15
Реценз.						АФ ТашГТУ		
Н. Контр.								
Утверд.	Сайдумаров И.							

## 2. Анализ существующей системы и ее недостатков

### 2.1. Общие сведения о РС «Баклан»

Радиостанции ближней связи являются основным средством взаимодействия экипажа летательного аппарата со службами УВД. Радиостанции для ближней связи предназначены для ведения радиосвязи экипажами воздушных судов между собой и службами управления воздушным движением на расстоянии в пределах около 300км. Основным типом РС ближней связи на ВС восточного производства имеющихся в парке «Узбекистон Хаво Йуллари» является радиостанция «Баклан».

Бортовая радиостанция МВ диапазона «Баклан» предназначена для обеспечения беспойсковой и бесподстроечной радиосвязи экипажами летательных аппаратов между собой и со службами управления воздушным движением. Радиостанция «Баклан» одна из наиболее распространенных радиостанций ближней связи, используемых на сегодняшний день. Радиостанция работает в симплексном режиме, то есть одновременно можно либо передавать, либо принимать.

Существуют два варианта радиостанции «Баклан» – «Баклан-5» и «Баклан-20» (у радиостанции «Баклан-5» выходная мощность передатчика составляет 5 Вт, а у «Баклан-20» – 16 Вт). В состав комплекта радиостанции входят: приемопередатчик, пульт дистанционного управления, амортизационная рама и дополнительный усилитель низкой частоты, который закрепляется на амортизационной раме.

Комплект может быть одинарным или сдвоенным, в случае сдвоенного комплекта в состав радиостанции будут входить по два приемопередатчика, пульта дистанционного управления и дополнительных УНЧ, а амортизационная рама будет сдвоенной. Пульт дистанционного управления может быть удален от радиостанции на расстояние до 40 м.

Управление радиостанцией осуществляется в основном с пульта дистанционного управления и при помощи кнопки «прием-передача», нажатие которой переводит радиостанцию из режима «прием» в режим «передача». Кнопка «прием-передача» располагается на штурвале (или рычаге) управления. Кроме этого к органам управления радиостанцией можно отнести тумблер включения питания радиостанции и регуляторы глубины модуляции и уровня самопрослушивания (регуляторы расположены на передней панели). С пульта дистанционного управления осуществляется выбор требуемого канала связи (установка требуемой частоты работы радиостанции), и производится включение/выключение подавителя шума.

					5524600.2196.РЭСС.КП.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5



Режим по постоянному току задается делителем R96, R78, R80, R107. Конденсатор C68 – фильтр по цепи смещения. Конденсатор C72 – фильтр по цепи питания.

Конденсатор C71 препятствует возбуждению усилителя на высокой частоте. Резистивный делитель R81, R82 и конденсатор C73 обеспечивают необходимую величину отрицательной обратной связи, определяющую усиление усилителя.

С выхода U14 сигнал через разделительный конденсатор C74, ключ ПШ-Т15, резистор R84, фильтр нижних частот (У 15) поступает на второй предварительный усилитель U16. Фильтр нижних частот улучшает соотношение сигнал-шум на выходе приемника и обеспечивает затухание частоты 3920 Гц на 20 дБ. Предварительный усилитель выполнен на микросхеме U16. Питание и цепи смещения общие с первым предварительным усилителем. Резистор R106 обеспечивает 100% отрицательную обратную связь по постоянному току, стабилизирующую режим микросхемы. Отрицательная обратная связь по переменному току обеспечивается резистором R106. Конденсатор C78 служит для устранения возбуждения по высокой частоте. С выхода микросхемы U16 сигнал поступает на оконечный усилитель, выполненный по схеме с последовательным возбуждением на транзисторах Т18–Т20. Связь между предварительным и оконечным каскадом – непосредственная, потенциал на базу Т18 задается режимом микросхемы U16. Резистор R109 является коллекторной нагрузкой транзистора Т18 и режимозадающим для транзистора Т19. Резисторами R108, R110 и конденсатором C80 обеспечивается отрицательная обратная связь по переменному току. Резистор R111 – коллекторная нагрузка транзистора Т19. Конденсатор C81 служит для предотвращения возбуждения схемы в области высоких частот. С выхода усилителя мощности сигнал поступает на согласующий трансформатор Тр2, ко вторичной обмотке которого подключается вход мощного усилителя. Конденсатор C84 – разделительный. Конденсатор C85 – фильтр по цепи питания +17 В.

Усилитель «Селкол» предназначен для усиления сигнала, поступающего от детектора сигнала, до величины, достаточной для работы оконечного устройства. Усилитель выполнен на микросхеме U11. Сигнал через разделительный конденсатор C53 поступает на микросхему U11. Резисторами R55, R56, R67 обеспечивается режим по постоянному току. Резисторы R67, R65 и конденсатор C60 образуют цепь регулируемой обратной связи по переменному напряжению. Конденсатор C55 предотвращает возбуждение схемы в области высоких частот. Через разделительный конденсатор C62 сигнал поступает на трансформатор Тр1 и далее на вход аппаратуры «Селкол». Резистор R60 и конденсатор C52 образуют фильтр по цепи питания.

					5524600.2196.РЭСС.КП.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

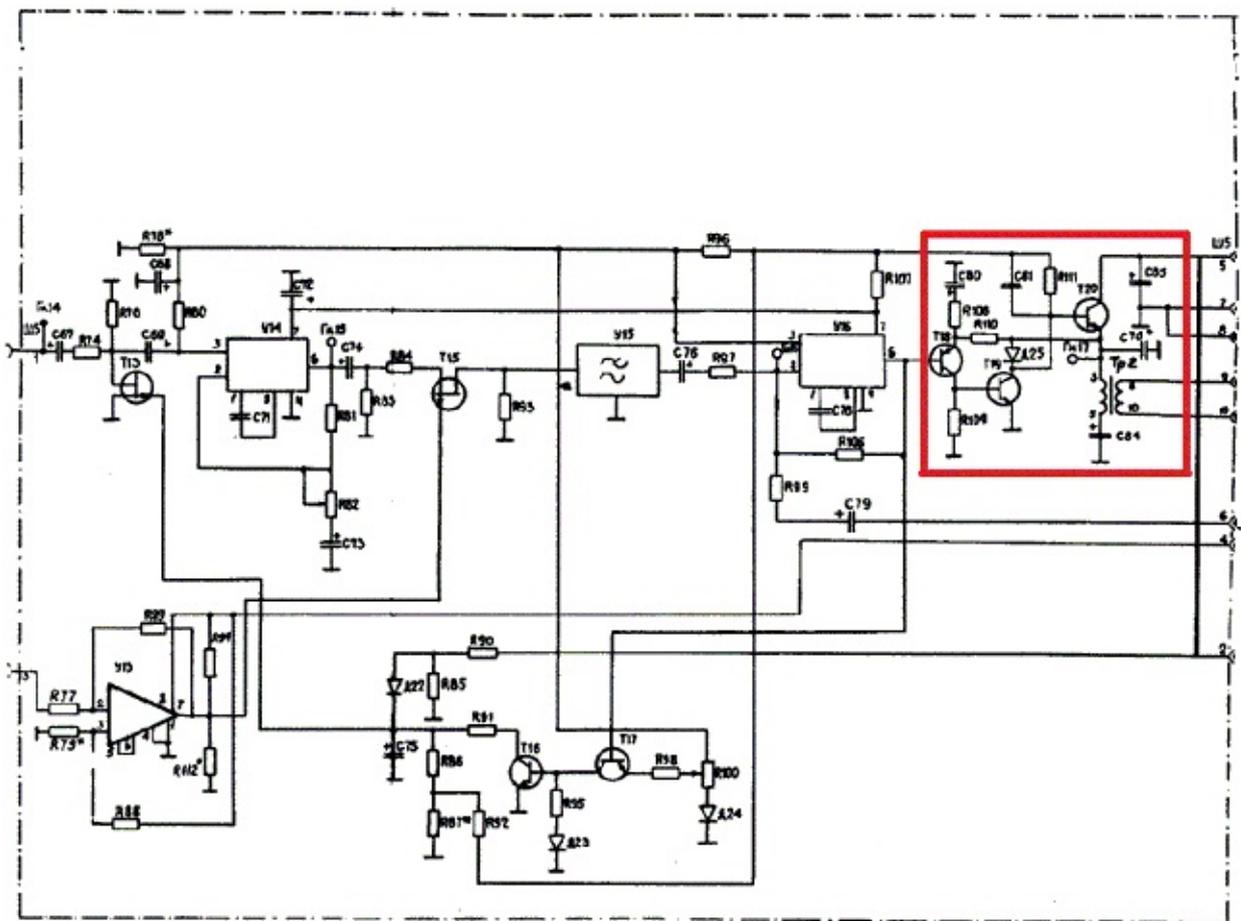


Рис.2.3. НЧ тракт радиостанции «Баклан»

Кроме того в тракт низкой частоты входит и дополнительный усилитель низкой частоты предназначенный для усиления сигнала с маломощного усилителя до мощности, необходимой для нормального прослушивания сигнала при подключении от одной из четырех пар, в зависимости от варианта исполнения, либо низкоомных, либо высокоомных телефонов. Дополнительный усилитель низкой частоты выполнен по двухтактной схеме на транзисторах одинаковой проводимости, работающих в режиме класса В. В качестве фазоинвертора используется входной трансформатор с заземленной средней точкой во вторичной обмотке.

### 2.3. Недостатки НЧ тракта РС «Баклан»

К общим недостаткам можно отнести устаревшую элементную базу радиостанции. Отдельным недостатком является то, что выходной УНЧ приемника (выделено на рис.2.3) построен с трансформаторным каскадом, который работает в линейном режиме, что приводит к дополнительному расходу энергии, снижает КПД и увеличивает массогабаритные показатели. Для устранения выше указанного недостатка в данном курсовом проекте разрабатывается УНЧ с бестрансформаторным выходным каскадом.

### 3. Выбор и обоснование структурной схемы выходного УНЧ

Так как на выходе усилителя требуется получить большую расчетную мощность ( $P_{\text{вых}}=11,42\text{Вт}$ ), то для оконечного каскада выбирается двухтактная схема на транзисторах большой мощности. Режим работы усилителя будет соответствовать классу АВ. Использование режима АВ позволяет уменьшить нелинейные искажения усиливаемого сигнала, которые возникают из-за нелинейных начальных участков ВАХ транзисторов. При работе двухтактного каскада в режиме АВ происходит перекрытие положительной и отрицательной полуволн и компенсация искажений на начальных участках ВАХ. При этом КПД схемы практически не изменяется по сравнению с классическим режимом В.

Двухтактная схема усилителя состоит из двух симметричных плеч. Использование двухтактной схемы в оконечном каскаде мощного усиления позволяет увеличить выходную мощность усилителя в 2 раза, по сравнению с однотактной, компенсировать четные гармоники выходного тока, а следовательно уменьшить нелинейные искажения. Отсутствие трансформатора позволяет уменьшить габариты схемы, упростить конструкцию усилителя, исключить постоянную подмагничивающую и исключить влияние внешних переменных магнитных полей на работу усилителя.

Перед началом расчета каскадов усилителя, необходимо рассчитать их число исходя из необходимых параметров.

Входная мощность усилителя рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ex}} = \frac{U_{\text{вх}}^2}{R_{\text{ex}}} = \frac{0,01317^2}{450,5} = 3,850142 \cdot 10^{-7} \text{ Вт,}$$

где  $U_{\text{вх}}$  – входное напряжение, В;

$R_{\text{вх}}$  – входное сопротивление усилителя, Ом.

Коэффициент усиления по мощности всего усилителя:

$$K_{\text{р.общ}} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{ex}}} = \frac{11,42}{3,850142 \cdot 10^{-7}} = 2,966 \cdot 10^7 \approx 3 \cdot 10^7$$

					5524600.2196.РЭСС.КП.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

$$K_{P, \text{общ dB}} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}\right) = 10 \log(3 \cdot 10^7) = 75,1851 \approx 75 \text{ dB},$$

где  $P_{\text{ВЫХ}}$  – выходная мощность усилителя, Вт;

$K_{P, \text{общ dB}}$  - коэффициент усиления по мощности усилителя, dB.

Необходимое число каскадов усиления для получения заданной выходной мощности:

$$N = \frac{K_{p, \text{общ dB}}}{20 \text{ dB}} = \frac{75}{20} = 3,75;$$

где 20 dB - коэффициент усиления по мощности отдельных каскадов.

Принимаем число каскадов:  $N=4$ .

Типичная структурная схема усилителя низкочастотных сигналов с резистивно-ёмкостной связью между каскадами представлена на рисунке 3.1.

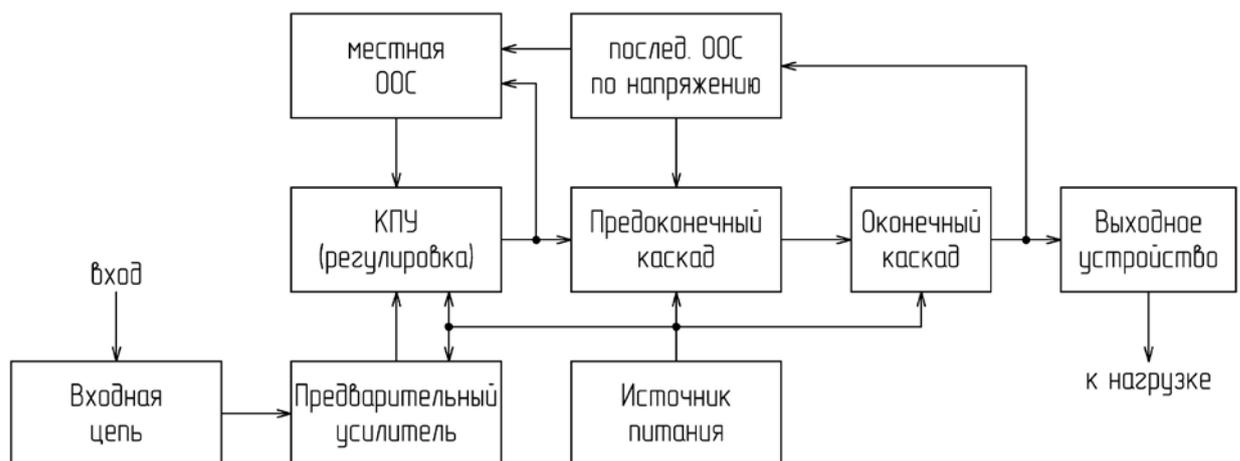


Рис.3.1. Структурная схема бестрансформаторного УНЧ

#### 4. Выбор и обоснование принципиальной схемы УНЧ

Первый и второй каскады на транзисторах VT1 и VT2 (транзисторы ГТ1158Б), предназначены для предварительного усиления сигнала по току и напряжению, третий каскад на транзисторе VT3 (транзистор КТ815В) является ведущим каскадом. Каскад на транзисторах VT4, VT5 (комплемментарные транзисторы КТ818Б и КТ819Б) является выходным каскадом.

Также в схеме предусмотрена местная ОС (R8, C4). Местная ОС увеличивает входное сопротивление VT2 и уменьшает коэффициент усиления по напряжению транзистора VT2. Последовательная ООС позволяет уменьшить нелинейные искажения. При последовательно соединенной ООС входное сопротивление каскада увеличивается. В схеме предусмотрены входное (C1) и выходное устройство (C6). Источник питания выбирается таким образом:  $E=2 \cdot U_{кэ0}$ , при этом должно выполняться неравенство  $E < U_{к.доп}$ .

Принципиальная схема усилителя представлена на рисунке 4.1.

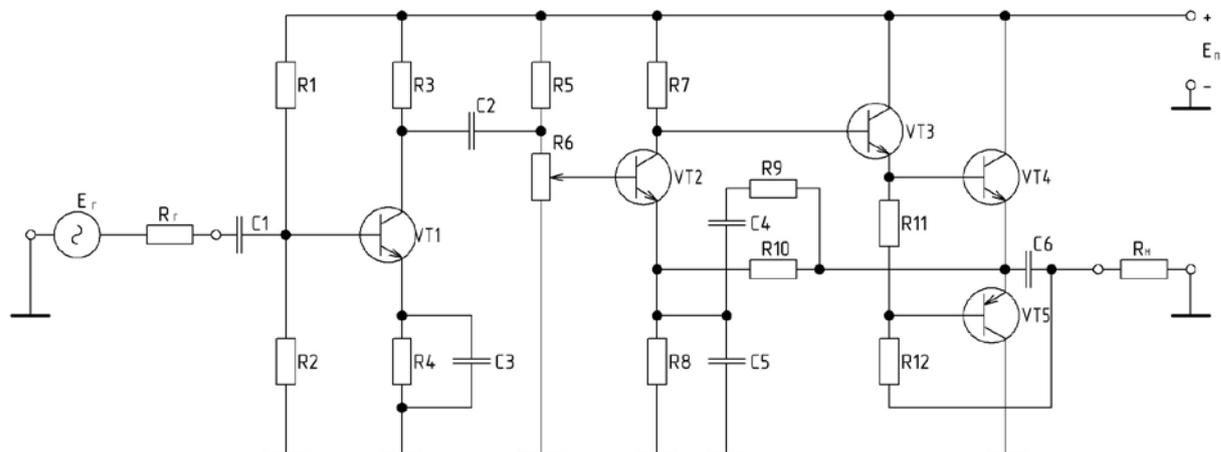


Рис.4.1. Принципиальная схема усилителя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 5. Расчетная часть

### 5.1 Расчет оконечного каскада

Оконечный каскад представляет собой двухтактный усилительный каскад и предназначен для обеспечения необходимой мощности на нагрузке. Для выбора транзисторов этого каскада рассчитываем необходимые для этого параметры.

Рассчитываем амплитуду тока нагрузки

$$I_{m.\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}}{R_H}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 11,42}{6,79}} = 1,833 \text{ А}, \quad (5.1)$$

Принимаем:  $i_{\hat{e}.\max} = I_{m.\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = 1,833 \text{ А}$ ,

Где  $i_{k.\max}$  – максимальный ток коллектора, А.

Рассчитываем амплитуду выходного напряжения на нагрузке:

$$U_{m.\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = i_{\hat{e}.\max} \cdot R_H = 1,833 \cdot 6,79 = 12,44 \text{ В}. \quad (5.2)$$

Рассеиваемая мощность на коллекторном переходе транзистора:

$$\text{для режима В: } P_{\hat{e}.\max} = 0,39 \cdot P_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = 0,39 \cdot 11,42 = 4,454 \text{ Вт},$$

$$\text{для режима А: } P_{\hat{e}.\max} = 1,07 \cdot 0,39 \cdot P_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = 1,07 \cdot 0,39 \cdot 11,42 = 4,76 \text{ Вт}.$$

Находим граничную частоту передачи тока базы [1, стр.11]:

$$f_{h21} \geq (3 \div 5) \cdot f_{\hat{a}} = 26340 \div 43900 \text{ Гц}, \quad (5.3)$$

где  $f_{\hat{v}}$  – верхняя граничная частота усилителя, Гц.

Выбор транзисторов оконечного каскада.

В качестве оконечного каскада принимаем транзисторы на основе учета значений следующих параметров:  $P_{k.\text{доп}}$ ,  $U_{k.\text{доп}}$ , а также величин,  $h_{21}$ ,  $i_{k.\max}$ , которые приведены в справочнике.

Всем данным условиям удовлетворяют диффузионные мезапланарные транзисторы КТ903А (n-p-n) и КТ902А (p-n-p) у которых:

$P_{k.\text{доп}}=30 \text{ Вт}$ ;

$i_{k.\max}=3 \text{ А}$ ;

$U_{k.\text{доп}}=60 \text{ В}$ .

Допустимую рассеиваемую мощность коллектора  $P_{\hat{e}.\hat{a}\hat{u}\hat{o}.\text{т}}$  и постоянное напряжение коллектор-эмиттер  $U_{\hat{e}.\hat{a}\hat{u}\hat{o}.\text{т}}$  с учётом максимальной температуры, при отсутствии данных значений в справочнике, можно рассчитать по следующим формулам:

$$P_{\hat{e}.\hat{a}\hat{u}\hat{o}.\text{т}} = P_{\hat{e}.\hat{a}\hat{u}\hat{o}} \cdot [1 - 0,02 \cdot (t_{i\hat{e}\hat{d}.\text{MAX}} - 25^\circ \text{C})] = 30 \cdot [1 - 0,02 \cdot (36,89 - 25)] = 22,89 \text{ Вт}, \quad (5.4)$$

$$U_{\hat{e}.\hat{a}\hat{u}\hat{o}.\text{т}} = U_{\hat{e}\hat{y}.\hat{a}\hat{u}\hat{o}} \cdot [1 - 0,01 \cdot (t_{i\hat{e}\hat{d}.\text{MAX}} - 25^\circ \text{C})] = 60 \cdot [1 - 0,01 \cdot (36,89 - 25)] = 52,89 \text{ В}.$$

Для выбранных транзисторов по справочным данным находим:

$f_{gr}=3 \text{ МГц}$  - граничная частота передачи тока в схеме с ОЭ;

$h_{21} \geq 20$ - типовое значение статического коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ;

$C_{\hat{e}}=2000 \text{ пФ}$  - ёмкость эмиттерного перехода,

$C_{k}=1000 \text{ пФ}$  - ёмкость коллекторного перехода,

$r_{B4}=100 \text{ Ом}$  – сопротивление базы.

По выходным статическим характеристикам транзисторов VT4, VT5, (Рис.5.1) для расчетного значения амплитуды тока нагрузки  $I_{m.\hat{a}\hat{u}\hat{o}}$  находим  $U_{i\hat{n}\hat{o}}$ , минимальное остаточное напряжение между коллектором и эмиттером транзисторов, отсекающее область резкого нелинейного изменения выходных статических характеристик.

$U_{OCT}=2,5 \text{ В}$ .

Рассчитываем напряжение коллектор-эмиттер в точке покоя

$$U_{\hat{e}\hat{y}0} = U_{i\hat{n}\hat{o}} + U_{m.\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = 2,5 + 12,44 = 14,94 \text{ В}. \quad (5.5)$$

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Находим напряжение источника питания:  $E = 2 \cdot U_{\text{э}0} = 2 \cdot 14,94 = 30\text{В}$ .

Выбираем напряжение источника питания:  $E=36\text{ В}$ , при этом выполняется неравенство  $E < UK_{\text{ДОП}}$ .

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора:

$$P_{\text{э.нб}} = 0,101 \cdot \frac{U_{\text{э}0}^2}{R_{\text{г}}} = 0,101 \cdot \frac{14,94^2}{6,79} = 3,32 \text{ Вт} \quad (5.6)$$

Выбираем ток коллектора в точке покоя:

$$I_{\text{э.0}} = (0,03 \div 0,05) \cdot i_{\text{э.макс}} = (0,03 \div 0,05) \cdot 1,833 = 0,055 \div 0,092 \text{ А}$$

$$I_{\text{э.0}} = 0,0735 \text{ А}$$

По выходной характеристике (рис 5.1) для  $I_{\text{э0}}$  и  $U_{\text{э}0}$  находим ток базы покоя:  $I_{\text{б0}}=0,8 \text{ мА}$ .

По выходной характеристике (рис 5.1) находим максимальный ток базы:

$$i_{\text{б.макс}}=0,0528 \text{ А}$$

Переносим найденные значения токов  $I_{\text{б0}}$ ,  $i_{\text{б.макс}}$  на входную динамическую характеристику транзистора (рис 5.2) и определяем напряжение база-эмиттер покоя  $U_{\text{бэ0}}$  и максимальное напряжение между базой и эмиттером.

$$U_{\text{бэ0}}=0,6 \text{ В}; \quad U_{\text{бэ.макс}}=0,78 \text{ В}$$

Вычисляем амплитуду напряжения между базой и эмиттером:

$$U_{\text{м.áý}} = U_{\text{áý.макс}} - U_{\text{áý0}} = 0,78 - 0,6 = 0,18 \text{ В} \quad (5.7)$$

Амплитуда тока базы:

$$I_{\text{м.á}} = i_{\text{á.макс}} - I_{\text{á0}} = 52,8 - 0,8 = 52 \text{ мА} \quad (5.8)$$

Определяем значение амплитуды напряжения на входе оконечного каскада:

$$U_{\text{м.âð.îé}} = U_{\text{м.áý}} + U_{\text{м.âðð}} = 0,18 + 12,44 = 12,62 \text{ В} \quad (5.9)$$

Входное сопротивление оконечного каскада [2, стр. 16] при включении с ОЭ:

$$R_{\text{âð.îý}} = \frac{U_{\text{м.áý}}}{I_{\text{м.á}}} = \frac{0,18}{0,052} = 3,46 \text{ Ом} \quad (5.10)$$

при включении с ОК:

$$R_{\text{âð.îé}} = R_{\text{âð.îý}} + R_{\text{г}} \cdot (1 + h_{21}) = 3,46 + 6,79 \cdot (1 + 40) = 281,85 \text{ Ом} \quad (5.11)$$

Предварительно определяем сопротивление  $R_{12}$ :

Для чего составим систему уравнений:

$$\begin{cases} R_{12} = \frac{U_{\text{э}0} - U_{\text{áý0}}}{I_{\text{э03}}} \\ I_{\text{м.э3}} = I_{\text{м.á}} + \frac{U_{\text{м.áý}}}{R_{12}} \end{cases}$$

принимая  $I_{\text{к03}} = 1,2 \cdot I_{\text{м.к3}}$ , получим:

$$R_{12} = \frac{U_{\text{э}0} - U_{\text{áý0}} - 1,2 \cdot U_{\text{м.áý}}}{1,2 \cdot I_{\text{м.á}}} = \frac{14,94 - 0,6 - 1,2 \cdot 0,18}{1,2 \cdot 0,052} = 226,34 \text{ Ом}$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_{12} = 240 \text{ Ом}$ .

Рассчитываем ток коллектора транзистора VT3 в точке покоя:

$$I_{\text{э03}} = \frac{U_{\text{э}0} - U_{\text{áý0}}}{R_{12}} = \frac{14,94 - 0,6}{240} = 0,06336 \text{ А} = 63,36 \text{ мА} \quad (5.12)$$

Находим амплитуду тока коллектора транзистора VT3:

$$I_{\text{м.к3}} = \frac{I_{\text{к03}}}{1,2} = \frac{0,06336}{1,2} = 0,0528 \text{ А} = 52,8 \text{ мА} \quad (5.13)$$

Максимальный ток коллектора транзистора VT3:

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$i_{\max.\epsilon 3} = I_{\epsilon 03} + I_{m.\epsilon 3} = 0,06336 + 0,0528 = 0,116 \text{ A} = 116 \text{ } \mu\text{A} \quad (5.14)$$

Выбираем транзистор VT3 по следующим параметрам: напряжение и ток коллектора в точке покоя  $I_{k03}$ ,  $U_{k03}$ , максимальное напряжение между коллектором и эмиттером  $U_{k\epsilon.\max}$ , мощность, рассеиваемая на коллекторе  $P_{k03}$ .

$$U_{\epsilon y03} = U_{\text{ин}0.3} + U_{m.\text{д}0.\text{и}0} = 0,7 + 12,62 = 13,32 \text{ В}$$

$$U_{\epsilon y.\max} = 1,5 \cdot E - U_{\text{ин}0} = 1,5 \cdot 36 - 0,7 = 53,3 \text{ В}$$

$$P_{\epsilon 3} = U_{\epsilon.03} \cdot I_{\epsilon 03} = 13,32 \cdot 0,06336 = 0,8 \text{ Вт}$$

По справочнику выбираем транзистор КТ815В (n-p-n) с теплоотводом, у которого:

$P_{k.\text{доп}3} = 10 \text{ Вт}$ ;

$I_{k.\max 3} = 1,5 \text{ А}$ ;

$U_{k\epsilon.\text{доп}3} = 70 \text{ В}$ ;

$f_{гр} = 3 \text{ МГц}$ ;

$h_{21} \geq 40$ ;

$C_{\epsilon 3} = 75 \text{ пФ}$ ;

$C_{k3} = 60 \text{ пФ}$ ;

$r_{Б3} = 100 \text{ Ом}$ .

Допустимая рассеиваемая мощность коллектора  $P_{\epsilon.\text{д}0.\text{и}0}$  и постоянное напряжение коллектор-эмиттер  $U_{\epsilon.\text{д}0.\text{и}0}$  с учётом максимальной температуры:

$$P_{K.\text{доп}3.t} = P_{K.\text{доп}} \cdot [1 - 0,02 \cdot (t_{OKP.\max} - 25^\circ \text{C})] = 10 \cdot [1 - 0,02 \cdot (36,89 - 25)] = 7,622 \text{ Вт},$$

$$U_{K.\text{доп}3.t} = U_{K\epsilon.\text{доп}} \cdot [1 - 0,01 \cdot (t_{OKP.\max} - 25^\circ \text{C})] = 70 \cdot [1 - 0,01 \cdot (36,89 - 25)] = 61,68 \text{ В}.$$

Уточнение напряжений и токов транзисторов VT3, VT4, VT5 с учётом вольт добавки.

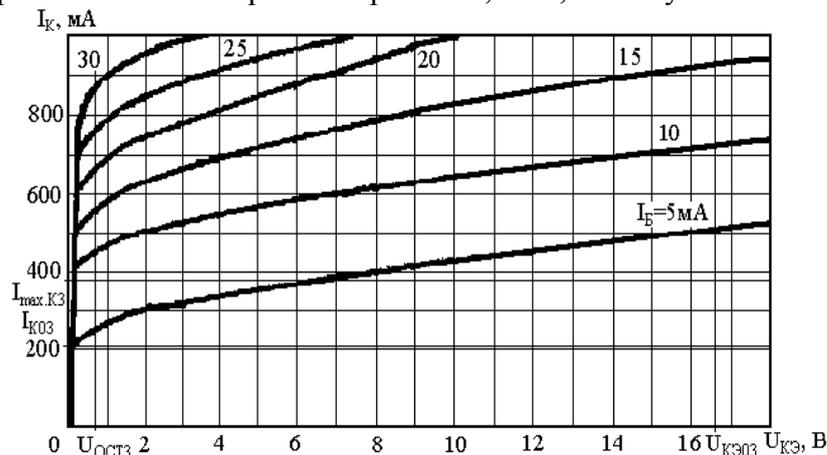


Рис.5.3-Выходные характеристики транзистора КТ815В

По выходным характеристикам транзистора КТ815В (рис.5.3) находим минимальное остаточное напряжение  $U_{ост3}$  для максимального тока коллектора  $i_{\max.k3}$ .

$U_{ост3} \approx 0,7 \text{ В}$ .

Рассчитываем напряжения между коллектором и эмиттером транзисторов VT3, VT4, VT5 в точке покоя:

$$U_{k\epsilon 03} = U_{ост.3} + U_{m.\text{вх.ок}} = 0,7 + 12,62 = 13,32 \text{ В},$$

$$U_{k\epsilon 04} = U_{k\epsilon 03} + U_{б\epsilon 0} = 13,32 + 0,6 = 13,92 \text{ В},$$

$$U_{k\epsilon 05} = E - U_{k\epsilon 04} = 36 - 13,92 = 22 \text{ В}.$$

С учетом этого определяем уточненные значения сопротивления R12:

$$R_{12} = \frac{U_{\epsilon y05} - U_{\epsilon y0} - 1,2 \cdot U_{m.\epsilon y}}{1,2 \cdot I_{m.\epsilon}} = \frac{22 - 0,6 - 1,2 \cdot 0,18}{1,2 \cdot 0,052} = 339,5 \text{ } \Omega \quad (5.15)$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_{12} = 360 \text{ Ом}$ .

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Находим выходное сопротивление гкэ3 транзистора VT3 (КТ815В) по выходным характеристикам:  $r_{кэ3} = 1000 \text{ Ом}$ .

Рассчитываем коэффициент усиления по напряжению ведущего каскада:

$$K_{u3} = h_{21y, \text{гкэ3}} \cdot \frac{R_{i3}}{R_{\text{гкэ3}}} = 100 \cdot \frac{10,23}{167,3} = 6,12. \quad (5.23)$$

Определяем значение напряжения на входе ведущего каскада:

$$U_{m, \text{гкэ3}} = \frac{U_{m, \text{гкэ3}}}{K_{u3} \cdot K_{u, \text{гкэ3}}} = \frac{12,62}{6,12 \cdot 0,98} = 2,1 \text{ В}. \quad (5.24)$$

усилитель каскад частота сигнал

Мощность, потребляемая окончательным каскадом:

$$P_{0i\text{гкэ3}} = \frac{2 \cdot U_{\text{гкэ3}}^2}{\pi \cdot R_i} \cdot \frac{U_{m, \text{гкэ3}}}{U_{\text{гкэ3}}} = \frac{2 \cdot 14,94^2}{3,1416 \cdot 6,79} \cdot \frac{12,44}{14,94} = 17,42 \text{ Вт}. \quad (5.25)$$

Мощность, потребляемая ведущим каскадом:

$$P_{03} = U_{кэ03} \cdot I_{кэ03} = 13,32 \cdot 0,0375 = 0,5 \text{ Вт}. \quad (5.26)$$

Рассчитываем совместный коэффициент полезного действия ведущего и окончательного каскадов:

$$\eta = \frac{P_{\text{гкэ3}}}{P_{03} + P_{0i\text{гкэ3}}} = \frac{11,42}{0,5 + 17,42} = 0,64. \quad (5.27)$$

### 5.3 Расчёт коэффициента гармоник (по методу пяти ординат)

Коэффициент гармоник позволяет качественно оценить нелинейные искажения, возникающие при передаче входного сигнала. Расчет коэффициента гармоник проводим по методу пяти ординат.

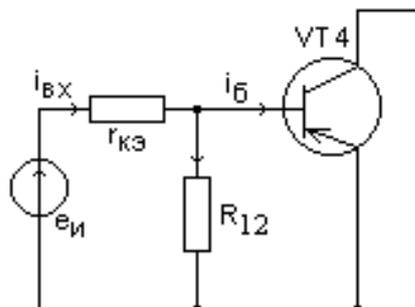


Рис.5.5 – Схема замещения окончательного каскада

Так как с наибольшими амплитудами работает в усилителе окончательный каскад, то все нелинейные искажения можно отнести к нему, обычно для двухтактного каскада  $K_g = (6-10\%)$  и  $K_g$  можно рассчитывать для схемы на рис.5.5. При наличии сквозной ООС расчетная схема не меняется ( $r_{кэ3} \gg R_{вх4}$ ).

Расчёт динамической характеристики прямой передачи тока  $i_k = F(i_{\text{вх}})$ , где выходной ток

$$i_{\text{гкэ3}} = i_a + i_{R12}, \quad i_{R12} = \frac{u_{\text{гкэ3}}}{R_{12}}.$$

Расчёт проводим в следующей последовательности.

- По выходным характеристикам транзистора VT3 для некоторого значения  $i_b$ , мА находим соответствующее ему значение  $i_k$ , А.
- По входным характеристикам транзистора VT3 для каждого значения  $i_b$ , мА находим соответствующее ему значение  $i_{\text{бэ}}$ , В.

в) Рассчитываем значения входного тока:

$$i_{R12} = \frac{u_{á\bar{y}}}{R_{12}},$$

$$i_{á\bar{o}} = i_{á} + i_{R12}.$$

г) Строим прямую передачи тока  $i_k = F(i_{ex})$ .

По прямой выбираем значения  $I_{max}$ ,  $I_1$ ,  $I_0$ .

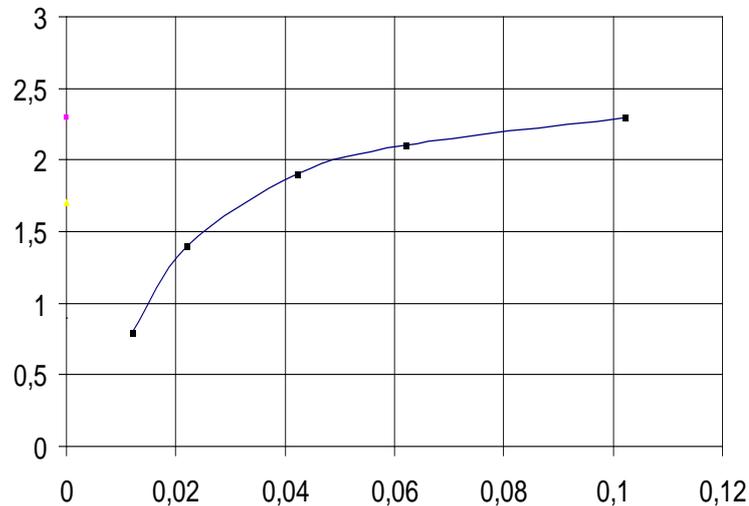


Рис.5.6 - Прямая передачи тока

$$I_{max} = 2,3 \text{ A}; I_1 = 1,7 \text{ A}; I_0 = 0,8 \text{ A}.$$

Выбираем коэффициент асимметрии для оконечного каскада. Так как оконечный каскад является двухтактным, из-за небольших различий в характеристиках транзисторов присутствует асимметрия схемы. Коэффициент асимметрии выбираем в пределах:

$$a = 0,1 \div 0,15.$$

Принимаем  $a = 0,14$ .

Рассчитываем значения токов с учётом асимметрии схемы:

$$I_{max} = I_{max} \cdot \left(1 + \frac{a}{2}\right) = 2,3 \cdot \left(1 + \frac{0,14}{2}\right) = 2,461 \text{ A}, \quad (5.28)$$

$$I_1 = I_1 \cdot \left(1 + \frac{a}{2}\right) = 1,7 \cdot \left(1 + \frac{0,14}{2}\right) = 1,7 \text{ A}$$

$$I_0 = I_0 \cdot a = 0,8 \cdot 0,14 = 0,112 \text{ A}$$

$$I_2 = -I_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{2}\right) = -1,7 \cdot \left(1 - \frac{0,14}{2}\right) = -1,581 \text{ A}$$

$$I_{min} = -I_{max} \cdot \left(1 - \frac{a}{2}\right) = -2,3 \cdot \left(1 - \frac{0,14}{2}\right) = -2,139 \text{ A}$$

Находим амплитуды гармонических составляющих выходного тока усилителя:

$$I_{m1} = \frac{1}{3} \cdot (I_{max} - I_{min} + I_1 - I_2) = \frac{1}{3} \cdot (2,461 - (-2,139) + 1,7 - (-1,581)) = 2,667 \text{ A},$$

$$I_{m2} = \frac{1}{4} \cdot (I_{max} + I_{min} - 2 \cdot I_0) = \frac{1}{4} \cdot (2,461 + (-2,139) - 2 \cdot 0,112) = 0,025 \text{ A},$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------



$$R_7 = \frac{U_{\dot{a}y03} - N \cdot U_{m.\dot{a}o3}}{\frac{N \cdot U_{m.\dot{a}o3}}{R_{\dot{a}o3}} - I_{\dot{a}o3}} = \frac{0,8 - 0,27 \cdot 2,1}{\frac{0,27 \cdot 2,1}{167,3} - 0,002} = 167,7 \hat{\Omega} .$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_7 = 180 \text{ Ом}$ .

Рассчитываем амплитуду тока коллектора по (5.32):

$$I_{m.\dot{e}2} = \frac{U_{m.\dot{a}o3}}{R_{\dot{a}o3}} + \frac{U_{m.\dot{a}o3}}{R_7} = \frac{2,1}{167,3} + \frac{2,1}{180} \approx 0,025 \text{ А} = 25 \text{ мА} . \quad (5.37)$$

Находим ток коллектора в точке покоя по (5.33):

$$I_{\dot{e}02} = N \cdot I_{m.\dot{e}2} = 0,27 \cdot 0,025 = 0,00675 \text{ А} = 6,75 \text{ мА} . \quad (5.38)$$

Выбираем транзистор VT2 исходя из значений:  $E=36 \text{ В}$ ,  $I_{k02}=6,75 \text{ мА}$ ,  $f_{в}=8,78 \text{ кГц}$ .

По справочнику выбираем транзистор ГТ115Б (p-n-p), у которого:

$R_{к.доп2}=50 \text{ мВт}$ ;

$I_{к.маx2}=100 \text{ мА}$ ;

$U_{кэдоп2}=40 \text{ В}$ ;

$f_{гр2}=5 \text{ МГц}$ ;

$h_{21э2}=50 \div 225$ ;

$C_{э2}=20 \text{ пФ}$ ;

$C_{к2}=50 \text{ пФ}$ ;

$\tau_{к2}=6,5 \text{ нс}$ .

Рассчитываем ток базы в точке покоя:

$$I_{\dot{a}02} = \frac{I_{\dot{e}02}}{h_{21э2}} = \frac{0,00675}{150} = 0,000045 \text{ А} = 0,045 \text{ мА} . \quad (5.39)$$

Ток эмиттера в точке покоя:

$$I_{y02} = I_{\dot{e}02} + I_{\dot{a}02} = 6,75 + 0,045 = 6,795 \text{ мА} . \quad (5.40)$$

Постоянное напряжение на резисторе R9:

$$U_{R9} = U_{\dot{e}y04} - U_{\dot{a}y03} - U_{\dot{e}y02} = 13,92 - 0,8 - 12 = 1,12 \text{ В} , \quad (5.41)$$

где  $U_{\dot{e}y02} = (0,3 \div 0,4) \cdot U_{\dot{e}y\text{нн}2} = (0,3 \div 0,4) \cdot 40 = 12 \div 26 \text{ В}$ .

Сопротивление резистора R9:

$$R_9 = \frac{U_{R9}}{I_{y02}} = \frac{1,12}{6,795 \cdot 10^{-3}} = 164,82 \text{ Ом} . \quad (5.42)$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_9 = 180 \text{ Ом}$ .

Находим напряжение база-эмиттер  $U_{бэ02}$  транзистора VT2 в точке покоя по входным характеристикам для  $I_{б02}$ :  $U_{бэ02} = 0,2 \text{ В}$ .

Напряжение на резисторе R6:

$$U_{R6} = U_{\dot{a}y02} + U_{R9} + U_{\dot{e}y05} = 0,2 + 1,12 + 22 = 23,32 \text{ В} . \quad (5.43)$$

Выбираем ток делителя R5R6:

Принимаем  $I_{б02} = 1 \text{ мА}$ , так как  $I_{б02} < 1 \text{ мА}$  ( $I_{б02} = 0,045 \text{ мА}$ ), тогда

$$I_{\dot{o}} = 10 \cdot I_{б02} = 10 \cdot 0,001 = 0,01 \text{ А} . \quad (5.44)$$

Сопротивление резистора R6:

$$R_6 = \frac{U_{R6}}{I_{\dot{o}}} = \frac{23,32}{0,01} = 2332 \text{ Ом} . \quad (5.45)$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_6 = 2,4 \text{ кОм}$ .

Напряжение на резисторе R5 :

$$U_{R5} = E - U_{R6} = 36 - 23,32 = 12,68 \text{ В} . \quad (5.46)$$

Сопротивление резистора R5:

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$R_5 = \frac{U_{R5}}{I_\delta + I_{\delta 02}} = \frac{12,68}{0,01 + 0,001} = 1152,73 \text{ Ом} \quad . (5.47)$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_5 = 1,2 \text{ кОм}$ .

Сопrotивление делителя переменному току:

$$R_\delta = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{1200 \cdot 2400}{1200 + 2400} = 800 \text{ Ом} \quad . (5.48)$$

Эквивалентное сопротивление источника сигнала:

$$R_{u.экс} = \frac{R_u \cdot R_\delta}{R_u + R_\delta} = \frac{450,5 \cdot 800}{450,5 + 800} = 288,2 \text{ Ом} \quad . (5.49)$$

Сопrotивление нагрузки транзистора VT2 по переменному току:

$$R_{n.пер2} = \frac{R_7 \cdot R_{ex3}}{R_7 + R_{ex3}} = \frac{180 \cdot 167,3}{180 + 167,3} = 86,7 \text{ Ом} \quad . (5.50)$$

Сопrotивление базы транзистора VT2 :

$$r_{\delta 2} = \frac{\tau_{к2}}{C_{к2}} = \frac{6,5 \cdot 10^{-9}}{50 \cdot 10^{-12}} = 130 \text{ Ом} \quad . (5.51)$$

Входное сопротивление транзистора VT2 без ОС:

$$R_{\delta 2} = r_{\delta 2} + \frac{25 \cdot 10^{-3}}{I_{\delta 02}} \cdot [1 + h_{21y2}] = 130 + \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,00675} \cdot [1 + 50] = 318,89 \text{ Ом} \quad . (5.52)$$

Коэффициент усиления каскада на транзисторе VT2 без учёта местной ОС:

$$K_{u2} = h_{21y} \cdot \frac{R_{n.пер2}}{R_{ex2}} = 50 \cdot \frac{83,75}{318,89} = 13,1 \quad . (5.53)$$

Расчёт сопротивления R8 местной ОС предварительного каскада.

Из-за наличия сопротивления резистора R8 в усилителе действует как местная ООС в каскаде на VT2, так и общая ОС через резисторы R9, R8. Местная ОС увеличивает входное сопротивление VT2 и уменьшает  $K_{u5}$ . Это обстоятельство усложняет расчёт. Так как сквозной глубины А ограничено лишь нижним значением, то для определения R8 можно воспользоваться следующим подходом.

а) Выбираем общую сквозную глубину А с некоторым запасом, так как местная ОС в каскаде на VT2 уменьшит ее значение:  $A=5,5$ .

б) Рассчитываем коэффициент усиления усилителя без учёта ОС:

$$K_{u\Sigma} = K_{u2} \cdot K_{u.2} \cdot K_{u.3} \cdot K_{u.i\hat{e}} = 13,1 \cdot 13,1 \cdot 6,12 \cdot 0,98 = 1029,2 \quad (5.54)$$

в) Определяем значение коэффициента передачи по напряжению входной цепи усилителя без учета ОС:

$$\alpha = \frac{R_{ex2}}{R_{u.экс} + R_{ex2}} = \frac{318,89}{284,4 + 318,89} = 0,52 \quad . (5.55)$$

г) Находим коэффициент передачи цепи ОС в общей петле:

$$\beta = \frac{A - 1}{\alpha \cdot K_{u\Sigma}} = \frac{5,5 - 1}{0,52 \cdot 1029,2} = 0,0084. \quad (5.56)$$

д) Рассчитываем значение сопротивления R8:

$$R_8 = \frac{\beta \cdot R_9}{1 - \beta} = \frac{0,0084 \cdot 180}{1 - 0,0084} = 1,53 \text{ Ом}. \quad (5.57)$$

Принимаем по ГОСТУ  $R_8 = 1,8 \text{ Ом}$ .

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



## 6. Заключение

В данном курсовом проекте была проведена модернизация НЧ тракта РС «Баклан». Разработана структурная и принципиальная схемы усилителя НЧ тракта. В схеме окончного каскада применили двухтактный усилитель мощности, имеющий меньшую чувствительность к пульсациям напряжения питания, позволяющий снизить нелинейные искажения, а также увеличить КПД усилителя. Согласно расчету, число каскадов в усилителе равно 4. В результате расчета получили усилитель, обеспечивающий работу со всеми заданными параметрами. Минимальное значение напряжения усиливаемого сигнала на входе также соответствует заданному  $U_{\text{до}} = 13,17 \text{ мВ}$ . При расчете было получено малое значение коэффициента гармоник до введения в усилитель отрицательной обратной связи, что не может быть реализовано на практике.

					5524600.2196.РЭСС.КП.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

## 7. Список использованной литературы

1. Ю.С. Забродин «Промышленная электроника». М: Высшая школа, 1982
2. В.Г. Герасимов «Основы промышленной электроники». М: Высшая школа, 1985.
3. Справочник под редакцией Б.Л. Перельмана «Транзисторы для аппаратуры широкого применения». М: Радио и связь, 1981. – 656 с., ил.
4. Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов, «Полупроводниковые приемно-усилительные устройства». Киев: Наук. Думка, 1989. - 799 с; ил.
5. Техническое описание радиостанции «Баклан»

					5524600.2196.РЭСС.КП.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23