**Введение**

По учебному плану студенты должны выполнить и защитить контрольную работу. Знания, полученные студентами при выполнении контрольной работы, обеспечивают подготовку для успешной сдачи зачета и изучения последующих специальных дисциплин. Прежде чем приступить к выполнению работы, необходимо ознакомиться с основными разделами дисциплины “Основы схемотехники” [1,2,3]:

- основные показатели электронных устройств;

- основы теории обратной связи;

- принципы построения усилительных схем;

- каскады предварительного усиления;

- выходные каскады усиления;

- операционные усилители и их применение.

Методические указания содержат необходимый справочный материал для проектирования группового (линейного) усилителя аналоговых МСП с частотным разделением каналов. При желании студент может воспользоваться и другой справочной литературой.

**Литература**

* 1. Лоскутов Е.Д. Схемотехника аналоговых электронных устройств [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Лоскутов Е.Д.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2016.— 264 c.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/44037.— ЭБС «IPRbooks»
  2. Перепелкин Д.А. Схемотехника усилительных устройств [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Перепелкин Д.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Горячая линия - Телеком, 2013.— 238 c.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/37138.— ЭБС «IPRbooks»
  3. Все транзисторы справочник – URL: http://alltransistors.com/ru/

1. **Выбор варианта курсового проекта**

Исходные данные для проектирования берутся из таблицы 1 и 2. По предпоследней цифре номера студенческого билета определяется номер колонки в таблице 1, а по последней – номер колонки в таблице 2. Если номер билета содержит только одну цифру, то перед ней добавляется ноль.

1. **Задание на контрольную работу (ссылка на задание)**

**Правила выполнения и оформления контрольной работы**

* 1. Контрольная работа, не соответствующая требованиям методических указаний, не рецензируется.
  2. Контрольная работа должна содержать:

- титульный лист;

- оглавление;

- исходные данные для проектирования;

- обоснование выбора типа усилительных элементов;

- выбор режима работы;

- расчет схемы группового усилителя;

- список литературы;

- принципиальную схему усилителя;

- перечень элементов принципиальной схемы.

* 1. Текстовая часть работы объемом не более 20-25 страниц должна быть изложена разборчиво. Содержание записки должно быть изложено литературным языком, без сокращений, упрощений и т.п.

Первый номер присваивается титульному листу, но не пишется; все остальные страницы нумеруются в той последовательности, в которой они помещены в записку.

* 1. Формулы, по которым ведется расчет, должны быть приведены в тексте полностью, с объяснением буквенных обозначений. При подстановке числовых значений необходимо указывать их в основных единицах. Окончательный результат должен быть вычислен с точностью до трех значащих цифр, округлен до двух значащих цифр и снабжен размерностью.
  2. После получения численных результатов по расчету элементов принципиальной схемы (резисторов и конденсаторов) необходимо выбрать их номинал, согласно существующим стандартам. При проведении всех последующих расчетов необходимо оперировать только номинальными параметрами.
  3. Принципиальная схема усилителя вычерчивается с соблюдением технических правил и требований ЕСКД.
  4. Перечень элементов принципиальной схемы оформляется с указанием для резисторов: типа, мощности рассеяния, номинального сопротивления с классом точности, а для конденсаторов – типа, номинально напряжения и номинальной емкости.

Образец выбора приведен в приложении.

1. **Основные особенности групповых усилителей**

В зависимости от назначения, пропускной способности МСП с частотным разделением каналов работают в диапазоне рабочих от 12кГц до 60 МГц и более. Известно, что затухание линии (симметричного или коаксиального кабеля) растет с повышением частоты. Поэтому линейный (групповой) усилитель содержит корректор амплитудно-частотной характеристики (КАЧХ), с помощью которого усиление на верхней рабочей частоте по сравнению с усилением на нижней рабочей частоте поднимается в несколько десятков раз.

Абсолютная величина затухания в линии зависит от расстояния между двумя усилительными пунктами. Для его компенсации в усилителях устанавливается частотно-зависимые регуляторы усиления (РРУ); иначе их называют удлинителями или выравнивателями. Обычно они выполняются в виде ступенчатых регуляторов усиления.

В состав линейных усилителей вводится также автоматический регулятор усиления (АРУ). Он управляется датчиком температуры грунта либо сигналами специальных контрольных частот. Его назначение – поддержание необходимого усиления и формы АЧХ независимо от климатических условий. Вход и выход усилителя защищаются от мощных импульсных помех (например, грозовые разряды) включением полупроводниковых диодов.

Питание НУП осуществляется постоянным напряжением, усилители по цепи питания включаются последовательно.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к линейным усилителям, является стабильность параметров. Стабильность достигается с помощью различных цепей ООС. Используются как местные обратные связи, так и обязательно – общая ООС, охватывающая весь усилитель. На входе и выходе усилителя применяются дифференциальные системы – шестиполюсники, которые позволяют реализовать комбинированную ООС. Дифференциальные системы реализуются с помощью трехобмоточных трансформаторов (рисунок 4.1)

С целью повышения устойчивости линейного усилителя их полоса пропускания в области верхних частот ограничивается. Для этого вход, выход и цепь ООС шунтируются емкостями высокочастотного обхода. На рисунке 4.1 они обозначены как Са. Величина емкости Са выбирается такой, чтобы в рабочей полосе частот они не влияли на форму амплитудно-частотной характеристики.

Заметим, что все виды отмеченных регулировок усиления и коррекции АЧХ, включаются в цепь общей ООС (рисунок 4.1). Расчет цепей общей ООС не производится в контрольной работе.

1. **Принципиальная схема усилителя**

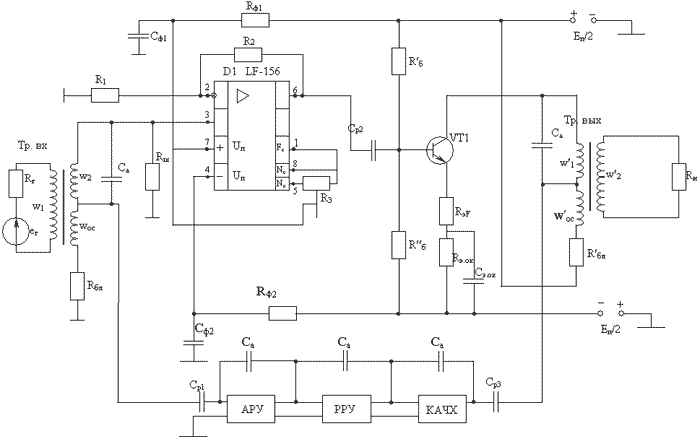


Рисунок 4.1 - Схема линейного усилителя

Принципиальная схема линейного усилителя приведена на рисунке 4.1 Особенностью этой упрощенной схемы является использование интегральной микросхемы в качестве каскада предварительного усиления. Наиболее эффективными оказались операционные усилители (ОУ). Выходной каскад реализован на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. В каскаде используется эмиттерная стабилизация. На входе и выходе усилителя включены трехобмоточные трансформаторы. Комбинированная ООС реализуется с помощью обмоток обратной связи и балансных сопротивлений (Woc и Rбл - на входе и W´oc и R´бл – на выходе усилителя). Четырехполюсник общей ООС содержит КАЧХ, РРУ и систему АРУ. Для повышения устойчивости линейного усилителя в области верхних частот - входной, выходной трансформаторы и цепь Общей ООС шунтируются емкостями высокочастотного обхода Са. Конденсатор Ср в цепи является разделительным, конденсатор Сэ в цепи эмиттера устраняет местную ООС по переменному току. Входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ. На этот же вход подается и сигнал общей ООС. С целью согласования большого входного сопротивления ОУ с волновым сопротивлением линии используется шунт Rш.

В цепях питания ОУ включены цепи Rф и Сф. Они рассчитываются из условия сглаживания пульсаций питающего напряжения. Для более эффективного использования ОУ применяются два источника питания Еп/2. Местная ООС в ОУ обеспечивается с помощью делителя R1и R2. Балансировка схемы ОУ осуществляется с помощью переменного резистора R3. Внешняя коррекция ОУ обычно осуществляется с помощью емкости Ск. На рисунке 4.1 эта емкость не показана.

1. **Расчет рабочих частот усилителя**

По заданным техническим условиям необходимо определить нижнюю ƒн и верхнюю ƒв рабочие частоты усилителя.

Для сравнительно небольшого числа каналов тональной частоты Nтч, полоса усиливаемых частот усилителя равна

∆ƒ = Nт ч ·4, кГц (5.1)

Нижняя рабочая частота определяется по формуле

ƒн =0,03 · ∆ƒ, кГц (5.2)

Тогда верхняя рабочая частота равна

ƒв = ƒн + ∆ƒ, кГц (5.3)

1. **Выбор и обоснование схемы выходного каскада усилителя (ВКУ)**

В ВКУ аппаратуры МСП при наивысшей частоте, не превышающей 1 – 1,5 МГц, целесообразно использовать трансформаторные схемы связи с нагрузкой. Трансформатор, преобразуя эквивалентное сопротивление нагрузки, позволяет сделать его оптимальным, при котором транзистор обеспечивает получение заданной выходной мощности более экономичным способом при наименьших нелинейных искажениях. Кроме преобразования нагрузки трансформатор исключает прохождение через нагрузку постоянной составляющей выходного тока транзистора и обеспечивает более высокий к.п.д., благодаря лучшему использованию напряжения источника питания.

Для сравнительно маломощных усилителей систем передачи с ЧРК вопросы экономии электрической энергии не играют решающей роли, поэтому предпочтение отдается однотактной схеме усилителя, которая может работать только в режиме класса А. В этом режиме проще обеспечить малые нелинейные искажения, причем уровень этих искажений резко уменьшается при неполном использовании транзистора по току и напряжению, в том числе и при средних уровнях сигнала.

Двухтактные схемы выходных каскадов в групповых усилителях на дискретных элементах, как правило, не используются, так как схема каскада усложняется и труднее обеспечить общую ООС.

В настоящее время биполярные транзисторы по отдаваемой мощности, диапазонам рабочих частот и температур, линейности характеристик и усилению являются более подходящими для выходных каскадов групповых усилителей.

Включение транзистора в ВКУ по схеме с общим эмиттером обеспечивает большее усиление, облегчает реализацию глубокой ООС, делает возможным для связи с предварительным усилителем использование более простых схем связи. Однотактная трансформаторная схема ВКУ приведена на рисунок 6.1.

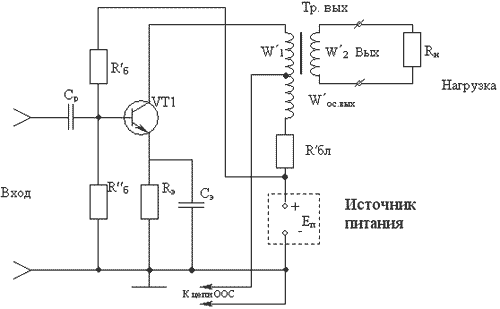


Рисунок 6.1 - Трансформаторная схема ВКУ на БТ

В схеме используется эмиттерная стабилизация. Сопротивления R´б и R´б включаются в цепь базы при наличии на входе разделительной емкости. На рисунке 6.1 показан один из способов комбинированного подключения цепи ООС к выходу. Напряжение ООС снимается с части витков первичной обмотки выходного трансформатора W´ос (ООС по напряжению) и с сопротивления R´бл (ООС по току). Для увеличения выходной мощности можно использовать параллельное включение двух транзисторов.

**7 Выбор транзистора**

Биполярные транзисторы для ВКУ выбираются по допустимой мощности рассеяния и высшей граничной частоте. Чтобы обеспечить получение заданной выходной мощности, рассеиваемая в режиме класса А на транзисторе мощность, должна быть не меньше величины:

, (7.1)

Где отдаваемая транзистором мощность в милливаттах должна учитывать потери части энергии в элементах цепи ООС и выходном трансформаторе, т.е. должна быть более мощности в нагрузке Рн:

 (7.2)

Потери в цепи ООС могут составлять от 5% до 20% (λ = 1,05 – 1,2). Коэффициент полезного действия (к.п.д.) трансформатора легче обеспечить более высоким с увеличением низшей частоты рабочего диапазона ƒн. К.п.д. выходного трансформатора можно принять близким к единице η тр= 0,92 – 0,95. В выходных каскадах можно использовать один (N=1) или два параллельно включенных транзистора. Вначале следует принять N=1. В схеме с общим эмиттером транзисторы используются на 80-90%. В групповых усилителях из-за очень жестких требований к затуханию нелинейности следует принять ξ = ψ = 0,7.

Поскольку номинальная выходная мощность (уровень передачи) задается в децибелах (по отношению к нулевому уровню Р0 = 1мВт), то

 мВт. (7.3)

В справочных данных допустимая мощность рассеяния обычно соответствует температуре 20 - 25оС. Реальная окружающая температура может быть выше. По этой причине обычно выбирают транзистор, у которого допустимая мощность рассеяния равна

Рк. доп ≥ 1,5 Рк (7.4)

Отметим, что допустимую мощность рассеяния можно увеличить с помощью теплоотвода.

Предельная частота транзистора в схеме с общим эмиттером должна удовлетворять соотношению:

, (7.5)

ƒв – заданная (вычисленная в нашем случае) частота рабочего диапазона. При выполнении этого условия в рабочем диапазоне частот искажения не превышают 0,5 дБ и легче обеспечить устойчивую работу усилителя при общей глубокой ООС.

Для среднечастотных и высокочастотных транзисторов, используемых в групповых усилителях, в справочниках приводится минимальное значение модуля статического коэффициента усиления по току |h21эмин| на достаточно высокой частоте ƒ´. В этом случае предельная частота транзистора в схеме с общим эмиттером равна:

(7.6)

где h21 э мин – приводится в справочнике.

Для некоторых типов транзисторов в справочниках дается предельная частота в схеме с общим эмиттером или предельная частота в схеме с общей базой fh21бмин

Тогда (7.7)

Из транзисторов, отвечающих условиям (7.4 – 7.5), необходимо выбрать, имеющие:

- меньший обратный ток коллекторного перехода I КБ 0;

- малые тепловые сопротивления Rт. пк и Rт. пс и более высокую температуру перехода Тп. макс. доп.;

- большие значения статистических коэффициентов усиления h 21 э и меньший разброс этих параметров;

- максимально допустимое мгновенное напряжение на коллекторе желательно иметь в пределах

Uк. макс = (1-1,5) Eп (7.8)

Окончательно вопрос о выборе определенного транзистора решается после рассмотрения его характеристик и выбора режима работы. Желательно выбрать транзисторы, у которых выходные характеристики идут более горизонтально, через одинаковые интервалы по вертикали и крутой линией, определяющей режим насыщения.

* 1. **Выбор режима работы транзистора ВКУ**

Режим работы БТ (рабочая точка – Р.Т.) определяется значениями постоянных токов коллектора, эмиттера, базы и постоянных напряжений между этими электродами. Эти величины взаимозависимы и могут быть однозначно определены значениями постоянного тока коллектора iко. От выбора этих параметров зависит значение неискаженной выходной мощности.

Для выбора режима используется семейство выходных характеристик для схемы с ОЭ, параметром является ток базы. Они приводятся в справочниках для наиболее линейной области, где значения токов, напряжений и мощности рассеяния не превышают максимально допустимых.

При одинаковом использовании транзисторов по току и напряжению значения iко и uко в рабочей точке не должны превышать половины максимально допустимых, т.е. для обеспечения гарантированной надежности транзистора должны выполняться условия:

Uко ≤0,45 Uк. макс, (8.1)

iко ≤ 0, 45 Iк. макс. (8.2)

Напряжение на транзисторе ВКУ должно составлять не более 0,8 Еп. При выбранном Uко , для получения требуемой выходной мощности, значение тока в рабочей точке:

 (8.3)

Увеличение iко часто необходимо для использования более линейной части характеристики. Окончательное положение рабочей точки уточняют по семейству выходных характеристик. Наиболее целесообразным является выбор р.т. в средней части рабочего поля характеристик. Положение р.т. можно выбирать и несовпадающим с одной из показанных статистических характеристик семейства.

На рисунке 8.1а показан пример выбора положения р.т. на семействе выходных характеристик. Там же показаны нагрузочные прямые по постоянному и переменному току (Rн= и Rн~ соответственно). Пересечение нагрузочной прямой для постоянного тока с кривой, определяемой Рк. доп – недопустимо.

Критерием правильности выбора р.т. являются также максимальные значения температуры p-n перехода:

Тп. макс = Токр. макс.+ (Uко· iко)Rт.пс,(8.4)

которая не должна превышать максимально допустимое для данного транзистора значение Тп.макс.доп.. Второе слагаемое в уравнении (8.4) показывает, насколько увеличивается температура перехода от рассеиваемой транзистором мощности.

Нагрузочные прямые (рисунок 8.1а) строятся следующим образом. Общей точкой является рабочая точка (р.т.). Другая точка для R н= равна (точка 1):

Uк1=Еп; iк1 = 0 (8.5)

Для Rн~ (точка 2):

Uк2=2 Uко; iк2 = 0. (8.6)

Указанные значения точек 1 и 2 отмечаем на оси напряжений и проводим соответствующие нагрузочные прямые.

Для дальнейших расчетов ВКУ определяются статические параметры транзистора:

- статический коэффициент усиления по току в рабочей точке

(8.7)

- выходное сопротивление транзистора в режиме насыщения:

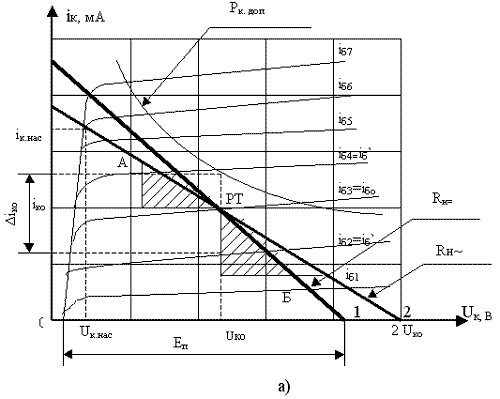
(8.8)

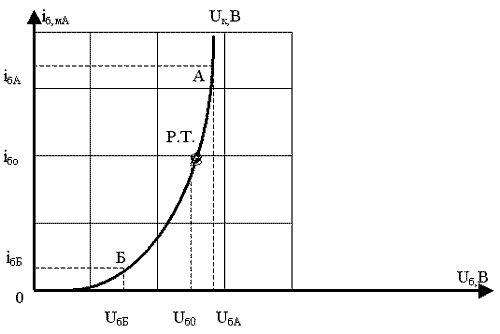
При определении параметра h21э.ср точки базы i´´б и i´б берутся соответствующими ближайшим к рабочей точке статических характеристик (по вертикали).

Когда величина iко выбрана больше величины, определяемой соотношением (8.3), фактический коэффициент использования транзистора получается меньше 0,7:

(8.9)

Для большинства транзисторов полное семейство входных характеристик в справочниках не приводится. Напряжение смещения Uбо определяется по входной статической характеристике для Uк ≠ 0 (рисунок 8.1б.). Эту же характеристику принимают в дальнейших расчетах за входную динамическую.





б)

Рисунок 8.1 – Выбор положения рабочей точки на семействе выходных характеристик а) и входных б)

* 1. **Расчет стабилизации режима работы транзистора ВКУ**

Стабилизация режима работы ВКУ обеспечивается отрицательной обратной связью по постоянному току (ООСПТ). Выше было отмечено, что в схеме выходного каскада (рисунок 6.1) используется эмиттерная стабилизация; она создается включением в эмиттерную цепь достаточно большого сопротивления Rэ и ООСПТ является последовательной.

Отметим, что целью стабилизации является обеспечение одинаковых условий работы транзистора при определенном разбросе параметров (прежде всего величиной h21э) и изменением условий окружающей среды (главным образом температуры, наиболее сильно влияющей на значение обратного тока коллекторного перехода – Iкб о).

Для транзистора ВКУ величина допустимого положительного приращения тока iк0доп определяется предельным положением р.т. (рисунок 8.1а), при котором еще обеспечивается получение от транзистора требуемой выходной мощности. Это приращение коллекторного тока определяется соотношением:

(9.1)

где сопротивление нагрузки постоянному току равно:

(9.2)

Iб0 – ток базы, равный току смещения по усредненным характеристикам транзистора.

При отсутствии стабилизации изменения постоянного тока может быть значительно больше допустимого. Когда ВКУ отделен по постоянному току от предварительного каскада, максимально возможное положительное приращение коллекторного тока равно:

, (9.3)

Где

(9.4)

Здесь h21эмакс – наибольший для выбранных условий работы статический коэффициент усиления транзистора по току; - обратный ток коллектора, определяется по графику = f (Тn), приводимым в справочнике, а при его отсутствии – рассчитывается для максимально возможной температуры p-n перехода

- для кремниевых транзисторов

, (9.5)

Значение обратного тока приводится в справочнике при определенной температуре перехода не превышает 20-30 о С, то можно воспользоваться вышеприведенными формулами (9.3) и (9.4). В нашем случае превышает 30 о С; тогда величину можно найти из следующего соотношения:

(9.6)

В уравнении (9.6) учитывается возрастание обратного тока с ростом температуры перехода. В другом случае, если расчетная незначительно отличается от Тп спр (5÷10оС), то в расчетах можно принять это значение . Обычно, это Тп спр = 80-85оС.

После этого можно перейти к определению необходимой глубины местной ООС по постоянному току в ВКУ, позволяющей снизить изменения коллекторного тока до допустимой величины:

(9.7)

Фактическая глубина ООС ПТ в ВКУ зависит от элементов схемы: Rэ,, , (рисунок 6.1). Величина Rэ определена выше. Сопротивления и и равны:

; ; (9.8)

Значения и необходимо выбрать по ГОСТ. Тогда фактическая глубина ООС ПТ равна:

(9.9)

где (9.10)

Должно выполняться условие:

Fпосл ф > Fпосл (9.11)

Если это условие не выполняется, то необходимо увеличить и повторить расчет.

**10 Расчет выходного каскада усиления по переменному току**

Расчет ВКУ по переменному току проводится для гармонического сигнала номинальной величины, при котором обеспечивается получение заданной выходной мощности в нагрузке.

Оптимальное эквивалентное сопротивление нагрузки транзистора, обеспечивающее получение наибольшей выходной мощности при сравнительно малых искажениях:

. (10.1)

Оно соответствует одинаковому использованию транзистора по току и напряжению. Выходная динамическая характеристика, соответствующая уравнению, приведена на рисунке 8.1:

(10.2)

Номинальные амплитудные значения переменных составляющих выходного тока и напряжения (со стороны первичной обмотки выходного трансформатора):

; (10.3)

При номинальном значении выходной мощности используемый участок характеристики лежит между точками “А” и “В”. В этих точках (рисунок 8.1а)

; (10.4)

; (10.5)

Рабочая точка вместе с точками “А” и “В” определяет треугольники, площадь которых равна отдаваемой транзистором мощности:

(10.6)

Токи базы, соответствующие точкам “А” и “В”, определяют используемый участок входной характеристики (рисунок 8.1б). Изменения входного тока относительно рабочей точки в сторону увеличения и уменьшения, как видно из рисунка, должны быть неодинаковыми. Поэтому для дальнейших расчетов лучше использовать усредненные значения:

- амплитуды входного напряжения и тока:

(10.7)

. (10.8)

Уравнения (10.7) и (10.8) позволяют найти входное сопротивление транзистора (между базой и эмиттером):

(10.9)

Входная мощность, необходимая для получения номинальной мощности на выходе:

(10.10)

Средние значения динамических коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности:

; ; (10.11)

Значения максимального и минимального входных сопротивлений транзистора используются в дальнейших расчетах.

11 **Построение сквозной динамической характеристики и оценка нелинейных искажений в ВКУ**

Нелинейные искажения усиливаемого сигнала возникают обычно в выходных каскадах усилителя, где уровни переменных токов и напряжений достигают больших величин. Обусловлены эти искажения, главным образом, нелинейностью характеристик транзистора. Высшие гармоники определяются методом пяти ординат по сквозной динамической характеристике, которая учитывает нелинейность входной и выходной цепи.

Сквозная динамическая характеристика представляет собой зависимость коллекторного тока от эквивалентной ЭДС источника сигнала транзистора ВКУ:

 (11.1)

Эквивалентная схема ВКУ для переменной составляющей тока показана на рисунке 11.1.

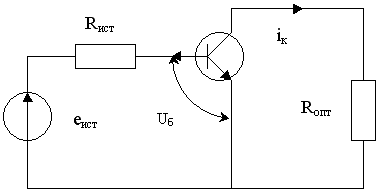


Рисунок 11.1 – Эквивалентная схема ВКУ для переменной составляющей тока

Транзистор нагружен на входное сопротивление трансформатора, равное оптимальному для выбранного режима работы: Rопт. При построении сквозной динамической характеристики

(11.2)

используются все точки пересечения нагрузочной прямой по переменному току (Rн˜) со статическими характеристиками. По ним определяются соответствующие значения токов коллектора (iк), базы (iб) и заносят в таблицу. По входной характеристике для каждого значения тока базы (iб) определяется напряжение между базой и эмиттером (Uб) и также заносится в таблицу для соответствующей точки. Затем по формуле (11.1) вычисляют еист для каждой точки и осуществляют построение зависимости (11.2). Для расчетов достаточно взять 6 - 8 точек. Заметим, что в формуле (11.1) источником сигнала для ВКУ является предварительный каскад усиления. Для оценки нелинейных искажений целесообразно принять R ист = 5 Rвх.э.ср.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1. | Сквозная динамическая характеристика | | | | | | |
| Номер точки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| iк, мА |  |  |  |  |  |  |  |
| iб, мА |  |  |  |  |  |  |  |
| Uб , В |  |  |  |  |  |  |  |
| Еист= *iб*+ *Uб, В* |  |  |  |  |  |  |  |

Сквозная динамическая характеристика (рисунок 11.2) должна иметь плавный характер. При правильном выборе транзистора и его рабочей точки, последняя находится на середине линейного и наиболее крутого участка сквозной характеристики. Уменьшение наклона сквозной характеристики при больших токах связано с уменьшением усиления по току и переходом в режим насыщения, а при малых токах – с нелинейностью входной характеристики (увеличением входного сопротивления).

Рисунок 11.2 – Сквозная динамическая характеристика ВКУ

Для расчета уровня гармоник можно выбрать достаточно большой участок характеристики, например, в пределах которого она отличается в линейной примерно на 10% от соответствующего рабочей точке, т.е.

 (11.3)

Этим отклонениям тока от линейной зависимости соответствуют приращения Э.Д.С.: ∆еист 1 и ∆еист 2.

За величину амплитуды Э.Д.С. источника сигнала рационально принять меньшее приращение (рисунок 11.2)

еm.ист. = еист1 или еm.ист = еист.2. (11.4)

При таком искажении рассчитываются для используемого участка между точками “В” и “С” (рисунок 11.2). Пять значений выходного тока (ординат)

*i*макс*, i1, iко, i2, i*мин (11.5)

определяются для четырех одинаковых приращений Э.Д.С. источника сигнала:

∆е = 0,5· Ем.ист. (11.6)

Амплитуда полезного сигнала (первая гармоника), а также второй и третьей гармоник определяются:

; (11.7)

; (11.8)

; (11.9)

Данные значения высших гармоник соответствуют отдаваемой мощности

(11.10)

которая при небольшом значении коэффициента использования E:\Дистанционное обучение_17.08.2014\Схемотехника телекоммуникационных устройств, часть 1\course478\COURSE478\img\2\Image3443.gifможет получиться больше номинальной.

Коэффициенты гармоник Кг и соответствующие им затухания нелинейности Аг равны:

; (11.11)

*;*  (11.12)

При Р´отд > Ротд при номинальном уровне сигнала нелинейные искажения получаются меньше рассчитанных (затухания нелинейности возрастают).

Чтобы ООС эффективно снижала нелинейные искажения, затухания нелинейности при номинальной мощности должны быть не менее 20 дБ. При меньшем значении необходимо выбрать другое положение рабочей точки, либо заменить транзистор на другой, с более линейными характеристиками.

Отметим, что необходимые минимально допустимые значения затухания нелинейности по второй т третьей гармоникам в групповых усилителях МСП (Аг20 и Аг30) задаются при нулевом уровне выходной мощности и обычно значительно больше полученных в расчете. Обеспечить их позволяет достаточно глубокая комбинированная общая и местная в ВКУ ООС по переменному току. Чем больше отличие от этих значений от полученных в расчете ВКУ, тем более глубокую ООС следует применить. Требуемая глубина ООС определяется ниже.

12 **Выбор операционного усилителя и расчет принципиальной схемы**

Для выбора операционного усилителя необходимо определить:

1. Величину Э.Д.C. эквивалентного источника сигнала группового усилителя

(12.1)

где Рн = 10 0,1 Рн, дБ- уровень передачи по мощности группового усилителя [ВТ].; ρ- волновое сопротивление кабеля СП [ом]; *K*м раб= 10 0,1 S раб, дБм – необходимое рабочее усиление.

1. Номинальное напряжение сигнала на входе усилителя:

Uвх.оу.ном = 0,5 nвх ηтр ег, (12.2)

где коэффициент трансформации nвх и К.П.Д. ηтр входного трансформатора рекомендуется выбрать:

nвх = 1÷10, ηтр = 0,95 – 0,98. (12.3)

1. Необходимую глубину общей ООС группового усилителя

А необх2 ≥ Аго2 – [Aг2 +ρн], дБ (12.4)

А необх3 ≥ Аго3 – [Aг3 +2ρн], дБ (12.5)

А необх ≥ А необх 2;А необх ≥ А необх 3, (12.6)

Здесь ρн = 10lgPн, дБ; Аго2, Аго3 – заданные затухания нелинейности по второй и третьей гармоникам; Аг2, Аг3 – найдены при расчете ВКУ. Анеобх выбирается большим из двух найденных значений и используется в дальнейших расчетах.

1. Необходимый коэффициент усиления ОУ, с учетом запаса на введение общей ООС в групповом усилителе:

(12.7)

13 **Выбор операционного усилителя**

Выбранный ОУ должен обеспечить достаточное по величине и равномерное по спектру (до fв) усиление, максимальную устойчивость и надежность работы.

Выбор ОУ производится из таблицы, приведенной в приложении 1 в следующей последовательности:

* в первую очередь следует выбрать ОУ с внутренней частотой коррекции (ВН) с Sнеобх ≥ 20 дБ и f 1мин ≥ 10 fв
* если отсутствует для требуемых условий ОУ с ВН, то подбирается ОУ с внешней коррекцией (ВШ) или ОУ без коррекции.

Наиболее важный параметр – типовой коэффициент усилителя на низких частотах, для любых из выбранных ОУ должен быть Sмин ≥ 80 дБ.

Расчет усилителя для отобранных ОУ при введенной ООС и любым типом коррекции, выполняется аналитически:

(13.1)

где V спад - скорость спада АЧХ ОУ, берется из таблицы.

Рисунок 13.1 поясняет связь величин SF и частоты fв. Для отобранногоОУ должны выполняться условия:

SF > Sнеобх(13.2)

SF >Sпред.(13.3)

Желательно, чтобы SF превышала Sпред на 10-15 дБ.

S,дБ

Sтип

SF

Sпред

Lg fр1

Lg f

Lg fв  Lg fр2

Рисунок 13.1 – Связь величин SF частоты fв

**14 Выбор режима работы ОУ**

ОУ используется более эффективно, если источник питания имеет среднюю точку, относительно которой напряжение должно иметь ± En/2. Величина En задана в Т3. Для развязки по цепям питания обычно включается RC – фильтры или стабилитроны. Напряжение питания ОУ можно принять равным:

Un ≈ 0,4 En, (14.1)

а среднее значение потребляемого тока

(14.2)

Здесь I mб макс ВКУ и I mб ср - максимальные и средние значения тока базы транзистора выходного каскада в выбранном режиме (Uко и iко).

**Приложение 1** (Ссылка на приложение 1)

**15 Расчет элементов принципиальной схемы группового усилителя (рисунок 4.1)**

* 1. *Расчет сопротивления шунта Rш.*

Величина сопротивления Rш находится из условия согласования входного сопротивления трансформатора Rвх. тр. с волновым сопротивлением линии связи ρ

Rш = nвх2 · ηтр ·ρ, (15.1)

* 1. *Цепи питания ОУ.*

Для развязки по цепям питания в схеме группового усилителя предусмотрены RC:

(15.2)

где - потребляемый ток ОУ (типовое значение)

(15.3)

где fн= 2 fc = 100 кГц – частота пульсаций сети. Величины Rф, Cф выбираются согласно стандарту.

Разделительная емкость на входе ВКУ и предложении Rвых.ОУ ≈ 0, равна:

(15.4)

где Мнр = 10 0,05 Мнр, дБ – коэффициент частотных искажений на низких частотах, и

(15.5)

Емкость в цепи эмиттера при Миэ ≤ 0,5 дБ равна:

(15.6)

fн - нижняя граничная частота усиливаемого сигнала.

Величины емкостей выбираются согласно стандарту.

**Приложение 2 (ссылка на приложение 2)**