

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
«Высшая школа электроники и компьютерных наук»
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

_____/_____/

«_05_»_января_2017_г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____/С.Н. Даровских/

«_09_»_января_2018_г.

«Широкополосный усилитель для систем кабельного телевидения»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ
ЮУрГУ-Д.11.05.01.2018.306.00 ПЗ ВКП

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности

_____/И.С. Окраинская/

«_29_»_ноября_2017_г.

Руководитель проекта

инженер

_____/М.Ю.Корепанов/

«29_»декабря 2017 г.

Организационно - экономический
раздел

_____/Н.С. Дзенелюк/

«_16_»_декабря_2017_г.

Автор проекта

студент группы КЭ-609

_____/Д.А. Гредяев/

«_29_»_декабря_2017_г.

Нормоконтролер

_____/В.Д. Спицына/

«_05_»_января_2018_г.

АННОТАЦИЯ

Гредяев Д.А. Разработка широкополосного усилителя для систем кабельного телевидения. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2017, 94 с, 19 илл.

Библиография литературы - 35 наименований. 4 листов графических материалов ф. А1.

Данная работа посвящена разработке широкополосного усилителя для систем кабельного телевидения. Разработанный усилитель может использоваться в качестве узла в кабельных распределительных сетях.

В схемотехническом разделе выполнен расчет принципиальной электрической схемы прибора. В конструкторском разделе произведена компоновка прибора, выполнены требования по обеспечению защиты узлов прибора от коррозии, выбраны защитно-декоративные покрытия, разработан печатный узел, корпус прибора, а также произведен расчет надежности прибора. В технологическом разделе разработан технологический процесс сборки прибора, методика климатических испытаний прибора. В организационно-экономическом разделе разработан сетевой график выполнения дипломного проекта и произведён расчёт экономических показателей. В рамках раздела охраны труда произведён анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте.

Проект был реализован с помощью программных продуктов: Microsoft Word; Microsoft Excel; Mathcad 11 Enterprise Edition; P-CAD 2006.

ЮУрГУ-Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Гредяев Д.А.		
Проверил		Корепанов М.Ю		
Н. Контр.		Спицина В.Д.		
Утв.		Даровских С.Н.		
Широкополосный усилитель для систем кабельного телевидения				
		Лит.	Лист	Листов
		Д	4	94
ЮУрГУ Кафедра ИКТ				

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Анализ технического задания.....	13
2 Схемотехнический раздел.....	16
2.1 Разработка структурной схемы усилителя.....	16
2.2 Разработка принципиальной схемы усилителя.....	18
2.2.1 Расчет необходимых уровней и коэффициента усиления для каскадов, выбор усилительных элементов.....	18
2.2.2 Описание выходного каскада.....	24
2.2.3 Описание входного каскада.....	27
2.2.4 Описание входной части усилителя.....	32
2.2.5 Описание выходной части усилителя.....	37
2.2.6 Описание блока питания.....	40
3 Конструкторский раздел.....	46
3.1 Компоновка прибора.....	46
3.2 Разработка печатной платы.....	47
3.3 Разработка узла на печатной плате.....	50
3.4 Обеспечение защищенности узлов от коррозии, выбор защитно- декоративных покрытий.....	52
3.5 Расчет параметров надежности.....	55
4 Технологический раздел.....	59
4.1 Расчет и оценка технологичности печатного узла.....	59
4.2 Проектирование технологического процесса изделия.....	61
4.3 Климатические испытания.....	63
5 Безопасность жизнедеятельности.....	64
5.1 Анализ условий эксплуатации проектируемой системы.....	64
5.2 Соответствие проектируемой системы требованиям безопасности.....	64

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	65
5.3.1 Характеристика воздействия выявленных ОВПФ на организм человека и окружающую среду.....	66
5.3.2 Сравнение фактических значений параметров с допустимыми.....	69
5.3.3 Требования техники безопасности при пайке.....	74
5.3.4 Техника безопасности при изготовлении печатной платы.....	74
5.3.5 Эргономика и производственная эстетика.....	75
5.3.6 Пожарная безопасность.....	76
6 Организационно-экономический раздел.....	79
6.1 Сетевое планирование.....	79
6.1.1 Построение сетевого графика.....	79
6.1.2 Расчет параметров событий сетевого графика.....	82
6.1.3 Расчет параметров работ сетевого графика.....	83
6.2 Расчет стоимости работ.....	88
6.3 Анализ технико-экономической эффективности.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	92

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- АО – абонентский ответвитель;
- АУ – антенный усилитель;
- АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
- БП – блок питания;
- ГС – головная станция;
- КРС – кабельная распределительная сеть;
- НО – направленный ответвитель;
- ОВПФ – опасные и вредные производственные факторы;
- ОВЧ – очень высокие частоты;
- ПИ – производственная инструкция;
- ПП – печатная плата;
- ППС – пульт пожарной сигнализации;
- РС – распределительная сеть;
- РЭА – радиоэлектронная аппаратура;
- РЭС – радиоэлектронные средства;
- СВЧ – сверхвысокие частоты;
- ТКЛР – температурный коэффициент линейного расширения;
- ТУ – технические условия;
- УВЧ – ультравысокие частоты;
- ФВЧ – фильтр высоких частот;
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
- ЭДС – электродвижущая сила;
- ЭРЭ – электрорадиоэлемент.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена разработке широкополосного усилителя для систем кабельного телевидения. Диплом был написан в процессе прохождения преддипломной практики на заводе ООО “Планар”.

Предприятие ООО “Планар” является одним из лидирующих предприятий в России, специализирующихся в разработке и производстве высококачественного и конкурентоспособного электронного оборудования. Предприятие предлагает полный комплекс услуг - поставку запчастей, ремонт и техническое обслуживание изделий электрооборудования. Опираясь на долговременный опыт разработки широкого ассортимента устройств, используемых во многих отраслях, и, учитывая современные требования к их эффективности, предприятие проводит модернизацию ранее поставленной техники, а также разрабатывает новые изделия. Инженерная деятельность, включающая в себя инженерные исследования, изобретательство, проектирование, конструирование, организацию изготовления и обеспечение функционирования технических систем, является тем видом деятельности, который призван воплощать все новые идеи в жизнь. На основе вновь разработанных принципов инженеры конструируют законченные электронные изделия, блоки и системы.

В настоящее время существует множество вариантов приема различных телевизионных программ, а их количество определяется числом и возможностями подключенных к телевизору приемных антенн. В большинстве случаев, например, для приема спутниковых каналов, потребуются установка дополнительного блока. В следствии этого получается, что стоимость приемного оборудования, устанавливаемого перед входом телевизора резко возрастает, сравнивая со стоимостью самого телевизора. Выходом из этой ситуации является использование одной сложной многофункциональной приемной системы с дальнейшим распределением полученных телевизионных сигналов между многими потребителями (абонентами). При этом стоимость приемной системы для

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

одного абонента резко снижается. Эти системы называют приемными распределительными системами телевидения. [1]

Рассмотрим структуру приемных распределительных систем. По функциональному назначению приемную распределительную систему представляют в виде двух частей: приемной системы, которая осуществляет прием телевизионных сигналов от различных источников, и распределительной сети, которая обеспечивает доставку телевизионных сигналов потребителю.

Источников телевизионного сигнала может быть несколько:

- эфирное телевидение в диапазонах ОВЧ и УВЧ, осуществляемое крупными телевизионными центрами;
- спутниковые радиоканалы – непосредственное телевизионное вещание;
- кабельные линии связи с местными телевизионными студиями.

Эти источники телевизионного сигнала включают в себя комплекс приемных антенн различных диапазонов волн, антенные усилители или конверторы, кабели снижения, вспомогательное оборудование. Полученные телевизионные сигналы распределяются между абонентами приемных распределительных систем с помощью распределительной сети, которая делится на два звена.

Первое звено – это головная станция, в которой происходит дополнительная обработка телевизионного радиосигнала. Данная обработка включает в себя усиление сигналов до необходимого уровня; конвертирование телевизионных сигналов с одного радио канала в другой; модуляцию видеосигнала и сигнала звукового сопровождения. Вследствие этого на выходе головной станции формируется ряд телевизионных радио сигналов, который соответствует количеству принимаемых телевизионных программ, называемым групповым телевизионным сигналом. [1]

Второе звено распределительной сети – это линейный тракт, задача которого – равномерно распределить групповой сигнал между абонентами. Кабельная распределительная сеть предполагает, что телевизионные сигналы достав-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ляются абоненту по кабельным линиям связи в стандарте вещательного телевидения. При этом используют коаксиальные кабели, а на протяженных участках распределительной сети могут применяют оптические кабели.

Полосы радиочастот, на которых осуществляется прием телевизионных программ называются каналы приема. Сигналы с приемных антенн через кабели снижения подаются в головную станцию, где производится их обработка. Телевизионные радиосигналы, сформированные разными способами объединяются в сумматоре, образуя групповой сигнал, который поступает в линейный тракт и распределяется между потребителями. [2]

В приемной антенной системе и линейном тракте применяются следующие виды усилителей:

- многодиапазонные;
- абонентские;
- антенные;
- широкополосные.

Рассмотрим основные особенности применения каждого вида усилителя.

1. Многодиапазонные усилители усиливают телевизионный сигнал не в широкой полосе частот, а в более узких диапазонах, например, в первом диапазоне метровых волн, во втором диапазон метровых волн и в диапазоне дециметровых волн.

Многодиапазонный усилитель состоит из набора независимых усилителей, сигналы, с выходов которых, суммируется на выходе. Узкий частотный диапазон позволяет получить равномерную амплитудно - частотную характеристику усилителя и добиться большего коэффициента усиления при минимальном уровне шумов. На входе каждого из усилителей установлен регулируемый аттенюатор, который позволяют выровнять входной сигнал по мощности на каждом из входов усилителя, для избежание перегрузки усилителя и уменьшения интермодуляционных искажений. [3]

Усилитель иногда используются в комплекте с диапазонными антеннами, в этом случае каждый из входов усилителя подключается к своей антенне, что позволяет легко выровнять телевизионный сигнал по амплитуде во всём диапазоне телевизионных частот.

2. Абонентские усилители предназначены для усиления телевизионного сигнала в квартирах и индивидуальных домах.

Различают абонентские усилители по диапазонам усиления и количеству выходов. В некоторых моделях выполнено разделения всего телевизионного диапазона на два диапазона: метровый и дециметровый. В каждом из диапазонов можно независимо регулировать усиление сигналов, что очень удобно для выравнивания уровней телевизионного сигнала во всем диапазоне усиливаемых частот.

Усилители могут использоваться самостоятельно, для раздачи телевизионного сигнала не более чем на 10...15 телевизоров или использоваться совместно с антенными усилителями.

Абонентский усилитель применяется самостоятельно в зоне уверенного приема телевизионного сигнала. Если уровень сигнала недостаточен для качественного приема, дополнительно подключается антенный усилитель.

Полоса рабочих частот должна соответствовать частотам усиливаемых сигналов, коэффициент усиления должен обеспечить рекомендуемый уровень сигнала на входе телевизоров, от выходного уровня сигнала усилителя зависит количество подключаемых телевизоров.

3. Главная задача антенных усилителей - повышение чувствительности приёмного тракта с целью усиления полезного сигнала. Антенные усилители устанавливаются на мачте рядом с антенной, чтобы уменьшить влияние фидера, который вносит затухание и шумы в полезный сигнал. Антенные усилители применяются при слабом телевизионном сигнале, на границе зоны уверенного приёма и служат для увеличения соотношения сигнал шум всего тракта усиления. [3]

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На входе антенных усилителей используют малошумящие полупроводниковые элементы, для уменьшения уровня шумов при усилении сигнала. Хороший антенный усилитель должен иметь коэффициент шума не более 3 дБ, особенно в дециметровом диапазоне. Типовое значение коэффициента усиления антенного усилителя, порядка 20 ... 35 дБ. При большем коэффициенте усиления возможны перегрузки на пиковых значениях сигнала и от импульсных помех.

Часто, при разводке сигнала на большое число абонентов, дополнительно к антенным применяют абонентские или домовые усилители. Так как антенные усилители используются на улице, то они должны обладать высокой стабильностью характеристик в широком диапазоне температур.

4. Широкополосные усилители предназначены для раздачи телевизионного сигнала на большое количество абонентов, устанавливаются они внутри помещений. Количество подключаемых к усилителю абонентов зависит от параметров усилителя и схемы его подключения. Почти все модели данного вида усилителей имеют встроенные регуляторы усиления и наклона амплитудно-частотной характеристики.

В некоторых моделях используется система автоматической регулировки усиления, предназначенная для предотвращения перегрузки выходных каскадов усилителя. [1]

Питание усилителей осуществляется через встроенный блок питания, подключаемый к силовой розетке.

В линейном тракте происходит распределение группового радиосигнала между потребителями, подготовленного в головной станции. В зависимости от количества абонентов, особенности застройки жилого дома схемы построения линейного тракта может быть разнообразна.

Групповой сигнал из сумматора головной станции поступает в магистральную линию, выход которой подключен к первому распределительному пункту. В распределительном пункте групповой телевизионный сигнал распре-

деляется на несколько крупных направлений. Передача телевизионных сигналов в этих направления осуществляется по субмагистральным линиям, которые соединяют между собой последующие распределительные пункты. Так как любая линия передачи вносит затухания, то по мере распространения телевизионных сигналов вдоль линии их уровень уменьшается. Для компенсации затухания в магистральной линии включены широкополосные усилители. Распределение сигналов в домах осуществляется с помощью домовых распределительных сетей. Сигналы в домовых распределительных сетях из субмагистральной линии отводят с помощью направленных ответвителей. Протяженная субмагистральная линия нуждается в компенсации затухания сигналов, поэтому в них включаются субмагистральные усилители. [4]

Рассмотрим диапазон частот каналов распределения.

Современные телевизоры имеют плавную настройку частоты в диапазоне от 40 до 1000 МГц. Однако не все РС могут работать во всем диапазоне. В диапазоне УВЧ происходит существенное возрастание потерь в кабеле для компенсации которых применяют большое количество линейных усилителей. Число последовательно включенных усилителей ограничено, ограничена и общая протяженность РС, работающая высокочастотной области. [2]

Так как КРС является закрытой системой, то она не использует излучения радиосигналов в эфир. Поэтому для распределения каналов используют не только частоты стандартных каналов, но частоты, расположенные в промежутках между телевизионными диапазонами. Такие каналы называются специальные..

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

1 Анализ технического задания

Основными требованиями к устройству являются соответствие своему назначению и высокая производительность, обеспечение высокого качества, надежности и ремонтпригодности. Разрабатываемое изделие должно обладать удобством применения; функциональными свойствами, необходимыми для выполнения нужных операций. Прибор должен иметь конкретное целевое назначение, что предъявляет к устройству те или иные требования. Кроме того, оно должно быть удобным в применении.

Разрабатываемое изделие должно соответствовать требованиям стандартов, технических условий, правил, инструкций, норм. Изготовление устройства в соответствии с действующими нормативно-техническими материалами будет способствовать охране труда обслуживающего персонала и охране окружающей среды.

В рамках данного дипломного проекта разрабатывается устройство широкополосный усилитель. Оно должно представлять собой законченное изделие, входящее в состав кабельной распределительной сети. Сам усилитель устанавливается непосредственно в жилом доме.

Актуальность темы дипломного проекта не вызывает сомнений. Аналогичные отечественные разработки основаны на устаревшей элементной базе, которая проигрывает современной в плане надежности и габаритов. Разрабатываемый прибор будет основан на современной элементной базе. Усилитель должен удовлетворять всем требованиям, предъявляемым в техническом задании.

Инженер должен считаться с существующим на соответствующем предприятии оборудованием и оснасткой, необходимыми для изготовления, сборки и контроля изделия. В то же время конструкция изделия и конструкторская документация на него не должны препятствовать внедрению более прогрессивной технологии и ее непрерывному улучшению.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Постановка задачи проектирования

Согласно техническому заданию необходимо разработать структурную схему, принципиальную схему и конструкцию широкополосного усилителя, используемого в системах кабельного телевидения.

Требования к конструкции

Исполнение корпуса должно соответствовать требованию степени защиты по ГОСТ 14254-96-IP20.

Должно присутствовать экранирование от помех, которые наводятся импульсным блоком питания.

Необходимо, чтобы на корпусе прибора присутствовало место для крепления шины зануления.

Напряжение питания 100...250 В.

Масса изделия не более 0,35 кг.

Габариты 164x45x65 мм.

Изделие должно обладать стойкостью к внешним воздействующим факторам:

- температура окружающего воздуха с предельными и рабочими значениями температур от минус 40 до плюс 50 °С;
- атмосферное давление от 550 до 800 мм рт.ст.;
- относительная влажность воздуха до 90% при температуре плюс 25 °С.

Обзор литературы

Для обоснованного выбора конструкторских и технологических решений требуется анализ различных источников информации. Такими источниками могут служить библиотечная литература; техническая документация, имеющаяся на предприятии, а также информация из сети интернет. Учитывая тематику ра-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

боты, рекомендуется опираться в первую очередь на классическую литературу по проектированию РЭС и на нормативную документацию предприятия.

В ходе работы большая часть информации была взята из классических учебников по конструированию РЭС и научной библиотеки. [1, 2, 5, 6]

В качестве нормативной базы для конструирования печатного узла выступил стандарт организации по печатным платам. Данный стандарт устанавливает основные принципы и правила конструирования печатных плат с учетом технологических особенностей предприятия-изготовителя.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

2 Схемотехнический раздел

2.1 Разработка структурной схемы усилителя

По мере распространения телевизионных сигналов по линии передачи, их уровень уменьшается, так как любая линия передачи вносит затухание. Для компенсации затуханий в магистральную линию включены широкополосные усилители. Эти усилители исполняют роль ретрансляторов телевизионного сигнала, позволяя увеличивать число абонентов кабельных распределительных сетей и протяженность линии передачи. Представляют собой линейный широкополосный усилитель, полоса пропускания которого должна быть не меньше полосы пропускания распределительной сети. Кроме усиления сигнала должны выполняться дополнительные функции. К ним относятся регулирование коэффициента усиления и коррекция амплитудно-частотной характеристики для выравнивания уровней. [7]

Как правило, широкополосные усилители состоят из нескольких каскадов, так как в большинстве случаев одиночные каскады не обеспечивают необходимое усиление и заданные параметры усилителей. При анализе и расчете многокаскадного усилителя необходимо определить общий коэффициент усиления усилителя, распределить его по каскадам, определить требование к источникам сигналов, решить вопросы введения обратных связей и т.д. В моем случае усилитель состоит:

- из блока питания, работающего от сети переменного напряжения 220 В, частоты 50 Гц;
- аттенюатора, с помощью которого происходит регулировка коэффициента усиления;
- эквалайзера, который осуществляет коррекцию АЧХ в соответствии с расчетными участками цепи;
- предвыходного усилительного каскада с цепью согласования с последующим каскадом;

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- выходного оконечного каскада.

Структурная схема разрабатываемого усилителя приведена на рисунке 1.

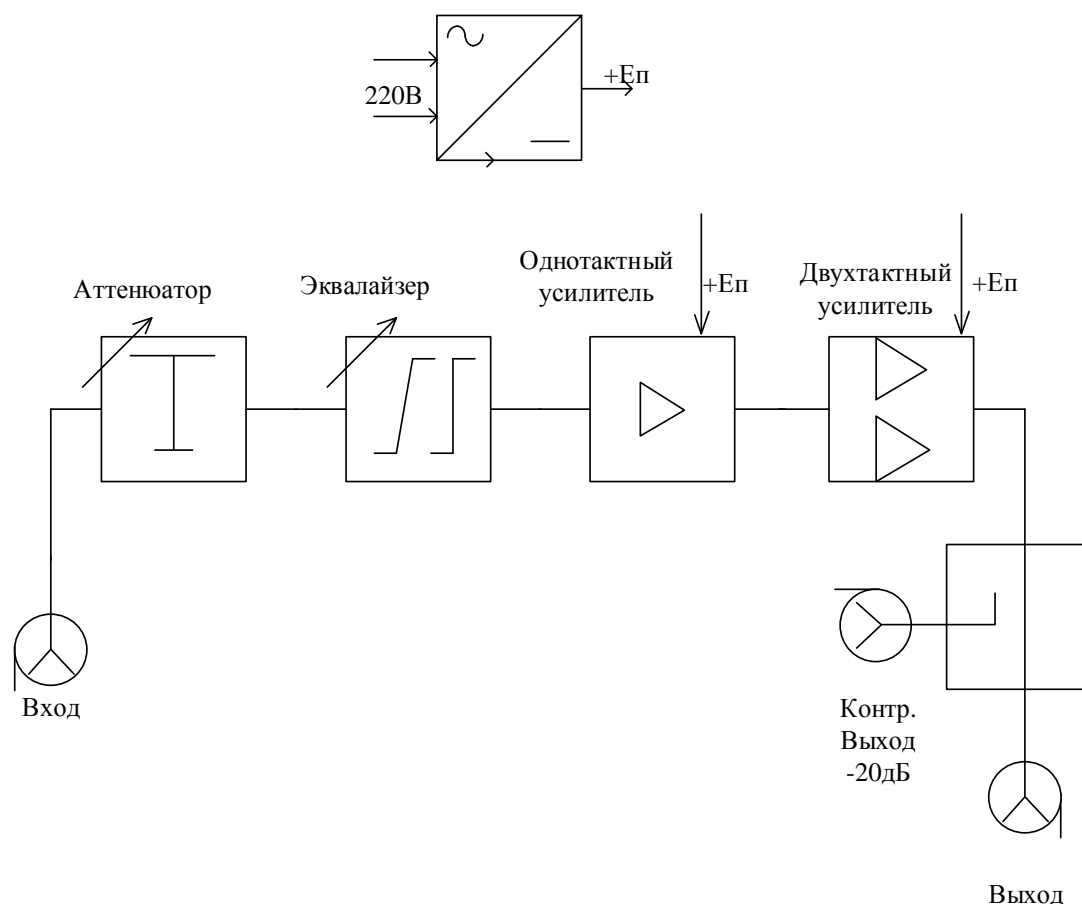


Рисунок 1 – Структурная схема усилителя

Входной групповой телевизионный сигнал, поступающий из магистрального кабеля со стороны станции кабельного телевидения, подается на вход усилителя прямого канала. Регулировка коэффициента усиления и наклона АЧХ линейного усилителя осуществляют с помощью внешних (по отношению к усилительному каскаду) узлов – переменных аттенюаторов и амплитудных корректоров (эквалайзеров). Эти устройства ручной регулировки целесообразно включить перед каскадами усиления, чтобы не перегрузить усилитель. Затем происходит усиление сигнала в предварительном и выходном каскаде усилителя. [8]

Для контроля и регулировки усилителя на его выходе установим контрольный отвод, связанный с магистральной линией через направленный ответвитель, с затуханием 20 дБ. Все активные устройства питаются от внутреннего источника питания, энергия к которому подается от местной силовой сети.

2.2 Разработка принципиальной схемы

2.2.1 Расчет необходимых уровней и коэффициентов усиления для каскадов, выбор элементов

Согласно техническому заданию, необходимо обеспечить максимальный уровень напряжения выходного сигнала 120 дБмкВ при интермодуляционных искажениях третьего и второго порядка минус 60 дБ, 107 дБмкВ при интермодуляционных искажениях второго и третьего порядка минус 60 дБ. При этом необходимо обеспечить коэффициент усиления 38 дБ.

По требованию технического задания находим значения $IP_{2ТЗ}$ и $IP_{3ТЗ}$, с помощью которых, определим окончательный каскад. [8]

Найдем $IP_{3ТЗ}$ для заданного выходного сигнала 120 дБмкВ. Переведем величину сигнала в вольты по формуле (2.1):

$$U_T [B] = 10^{\frac{U_T [\text{дБмкВ}]}{20}} \cdot 10^{-6} = 1 \text{ В}. \quad (2.1)$$

В телевизионных системах величина нагрузки стандартизирована и равна $R = 75 \text{ Ом}$. Найдем мощность выходного сигнала по формуле (2.2), выразим ее в дБмВт:

$$P_T = \frac{U_T^2}{R} = 13 \text{ мВт} = 11,1 \text{ дБмВт}. \quad (2.2)$$

Величины $IP_{3ТЗ}$ и P_T связаны следующим соотношением:

$$IP_{3ТЗ} = 0,5 \cdot IMA_3 + P_T, \quad (2.3)$$

где IMA_3 – интермодуляционное расстояние искажений третьего порядка, выраженное в децибелах. $IMA_3 = 60 \text{ дБ}$. [1]

Согласно формуле (2.3) $IP_{3ТЗ} = 41,1 \text{ дБмВт} = 1,29 \cdot 10^4 \text{ мВт}$.

Найдем $IP_{2ТЗ}$ для заданного выходного сигнала 120 дБмкВ. Переведем величину сигнала в вольты по формуле (2.1):

$$U_T [B] = 10^{\frac{U_T [\text{дБмкВ}]}{20}} \cdot 10^{-6} = 1 \text{ В}. \quad (2.4)$$

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Найдем мощность выходного сигнала по формуле (2.2), выразим ее в дБмВт:

$$P_T = \frac{U_T^2}{R} = 13 \text{ мВт} = 11,1 \text{ дБмВт}. \quad (2.5)$$

Величины $IP_{2ТЗ}$ и P_T связаны следующим соотношением [3]:

$$IP_{2ТЗ} = IMA_2 + P_T, \quad (2.6)$$

где IMA_2 – интермодуляционное расстояние искажений второго порядка, выраженное в децибелах. $IMA_2 = 60$ дБ.

Согласно формуле (2.6) $IP_{2ТЗ} = 71,1 \text{ дБмВт} = 12,882 \cdot 10^6 \text{ мВт}$.

Таким образом, делаем вывод, что данным техническим требованиям соответствует микросхема АВВ2518. Так как в техническом описании микросхемы АВВ2518 производства фирмы ASB Inc, указывается параметр $IP_{3ОК} = 42 = 1,585 \cdot 10^4 \text{ мВт}$, то нужно рассчитать $IP_{2ОК}$, через интермодуляционные искажения второго порядка. Рассмотрим параметры микросхемы АВВ2518, которые представлены в таблице 1. [9]

Таблица 1 – Технические характеристики микросхемы АВВ2518

Параметр	Значение
Частота, МГц	5...1700
Коэф.усиления, дБ	19,3
IP_3 , дБмВт	42
CSO (при $U_{\text{ВЫХ}}(77 \text{ к})=103 \text{ дБмкВ}$), дБ	71
СТВ (при $U_{\text{ВЫХ}}(77 \text{ к})=103 \text{ дБмкВ}$), дБ	60
Ток, мА	280
Напряжение питания, В	5

Для усилителей с верхней граничной частотой 862 МГц принято вести оценку интермодуляционных составляющих по композитным биениям второго (CSO = 60 дБ) и третьего (СТВ = 60 дБ) порядков при 42 каналах. На основе данных таблицы 1 произведем расчет максимального выходного уровня микросхемы при трансляции 42 каналов. Для этого необходимо изменить максимальный выходной уровень сигнала на величину $\Delta U_{1(3)}$ для СТВ и $\Delta U_{1(2)}$ для CSO согласно формуле [3]:

$$\Delta U_{1(2)} = 10 \cdot \log\left(\frac{N_1}{N_2}\right), \quad (2.7)$$

где $N_1 = 77$ каналов, указанных в технических параметрах, $N_2 = 42$ необходимое число каналов.

Получаем:

$$\Delta U_{1(2)} = 10 \cdot \log\left(\frac{77}{42}\right) = 2,6 \text{ дБмкВ}. \quad (2.8)$$

В таблице 1 приведены данные композитных искажений для 77 транслируемых каналов, поэтому уровень при 42 каналах увеличится и составит [3]:

$$U_{\text{CSO}(77)42} = 103 \text{ дБмкВ} + 2,6 \text{ дБмкВ} = 105,6 \text{ дБмкВ}. \quad (2.9)$$

Таким образом, мы получили характеристику при 42 каналах и $\text{CSO} = 71$ дБ.

Теперь рассмотрим, как изменится выходной уровень при изменении CSO.

При увеличении (уменьшении) выходного уровня сигнала на Δ дБмкВ, композитные составляющие 2-го порядка (CSO) повышаются (понижаются) также на Δ дБ, то есть:

$$\text{CSO} = 60 + (U_{\text{CSO}} - U_{\text{CSO}(71)42}). \quad (2.10)$$

Найдем выходной уровень [10] для микросхемы АВВ2518 при 42 каналах и $\text{CSO} = 60$ дБ из формулы (2.10):

$$U_{\text{CSO}} = 71 - 60 + 105,6 = 116,6 \text{ дБмкВ}. \quad (2.11)$$

Далее нужно перевести выходной уровень из 42 в 2 канала, воспользовавшись формулой:

$$U_{\text{ВЫХ}(2)} = U_{\text{CSO}} + 10 \cdot \lg(N/2), \quad (2.12)$$

где $N = 42$ каналам.

Получаем:

$$U_{\text{ВЫХ}(2)} = 116,6 + 13,2 = 129,8 \text{ дБмкВ}. \quad (2.13)$$

Точка $\text{IP}_{2\text{OK}}$ соответствует на амплитудной характеристики абсолютно линейного усилителя, при подаче на вход которого сигналов с частотами f_1 и f_2 образуются продукты интермодуляции второго порядка, равные по амплитуде

рабочему сигналу. IP_{2OK} (дБмВт) и $IMA2$ (дБ) однозначно связаны соотношением [3]:

$$IP_{2OK} = IMA2 + P_T, \quad (2.14)$$

где P_T – мощность сигнала (дБмВт), $IMA2$ – интермодуляционные искажения второго порядка (дБ). [1]

Найдем из формулы (2.15) напряжение U , выраженное в вольтах:

$$U_{ВЫХ(2)} [дБмкВ] = 20 \cdot \log \left(\frac{U}{10^{-6}} \right). \quad (2.15)$$

Получаем:

$$U = 10^{-6} \cdot 10^{\frac{129,8}{20}} = 3,09 \text{ В}. \quad (2.16)$$

Найдем мощность сигнала P_1 [Вт], выраженную из формулы (2.17), с учетом сопротивления нагрузки $R = 75$ Ом:

$$U = \sqrt{P_T \cdot R}. \quad (2.17)$$

Получаем:

$$P_T = \frac{U^2}{R}, \quad (2.18)$$

$$P_T = 0,127 \text{ Вт} = 127 \text{ мВт}.$$

С помощью формулы (2.19) [3] переведем мощность из [мВт] в [дБмВт]:

$$P_T [дБмВт] = 10 \cdot \lg (P_T [мВт]), \quad (2.19)$$

получаем $P_T = 21,03$ дБмВт.

По формуле (2.20) рассчитаем IP_{2OK} , где $IMA2 = 60$ дБ:

$$IP_{2OK} = 60 + 21,03 = 81,03 = 12,70 \cdot 10^7 \text{ мВт}. \quad (2.20)$$

Сформируем требования для максимального уровня напряжения сигнала и коэффициента усиления для каждого каскада, воспользовавшись формулой (2.21):

$$IP_T^n \frac{-(n-1)}{2} = \sum_{i=1}^x (IP_i^n \cdot G_{(i+1,x)}) \frac{-(n-1)}{2}, \quad (2.21)$$

где IP_T^n - точка на амплитудной характеристике абсолютно линейного усилителя, при интермодуляционных искажениях n-ого порядка равных по амплитуде рабочему сигналу. Она определяет выходной уровень X усилителей; IP_i^n - определяет выходной уровень i-ого усилителя; X – количество последовательно соединенных усилительных каскадов; G – коэффициент усиления. [4]

Необходимо учесть, что в формуле (2.21) величины IP выражены в мВт, а G нужно перевести из децибел.

Если рассмотреть последовательное соединение первого (предвыходной) и второго (выходной) каскада, можно вычислить необходимые характеристики для первого каскада, тогда формула (2.21) примет вид (2.22) для интермодуляционных искажений третьего порядка и (2.23) для интермодуляционных искажений второго порядка:

$$(IP3_{ТЗ})^{-1} = (IP3_{ПР.ОК.} \cdot G_2)^{-1} + (IP3_{ОК.})^{-1}; \quad (2.22)$$

$$(IP2_{ТЗ})^{-0,5} = (IP2_{ПР.ОК.} \cdot G_2)^{-0,5} + (IP2_{ОК.})^{-0,5}. \quad (2.23)$$

Из формулы (2.22) и (2.23) необходимо выразить неизвестный параметр $IP3_{ПР.ОК.}$ и $IP2_{ПР.ОК.}$ для первого каскада:

$$IP3_{ПР.ОК.} = \frac{((IP3_{ТЗ})^{-1} - (IP3_{ОК.})^{-1})^{-1}}{G_2}; \quad (2.24)$$

$$IP2_{ПР.ОК.} = \frac{((IP2_{ТЗ})^{-0,5} - (IP2_{ОК.})^{-0,5})^{-2}}{G_2}. \quad (2.25)$$

Переведем коэффициент усиления из децибелов:

$$G_2 = 19,3 \text{ дБ} = 10^{\frac{19,3}{10}} = 85,1. \quad (2.26)$$

Подставляя значения в формулы (2.24) и (2.25) получаем:

$$IP3_{ПР.ОК.} = \frac{((1,290 \times 10^4)^{-1} - (1,585 \times 10^4)^{-1})^{-1}}{85,1} = 29,1 \text{ дБмВт}; \quad (2.27)$$

$$IP2_{ПР.ОК.} = \frac{((12,882 \times 10^6)^{-0,5} - (12,705 \times 10^7)^{-0,5})^{-2}}{85,1} = 55,1 \text{ дБмВт}. \quad (2.28)$$

Полученные уровни, особенно для входного каскада – это тот минимум, который нужно обеспечить для получения максимального выходного уровня, соответствующего техническому заданию.

По формулам (2.8) – (2.13) рассчитаем максимальный выходной уровень для микросхемы АВВ1519, через параметр CSO [3]:

$$U_{CSO(77)42} = 100 \text{ дБмкВ} + 2,6 \text{ дБмкВ} = 102,6 \text{ дБмкВ}. \quad (2.29)$$

Таким образом, мы получили характеристику при 42 каналах и CSO = 68 дБ.

Теперь рассмотрим, как изменится выходной уровень при изменении CSO.

При увеличении (уменьшении) выходного уровня сигнала на Δ дБмкВ, композитные составляющие 2-го порядка (CSO) повышаются (понижаются) также на Δ дБ, то есть:

$$CSO = 60 + (U_{CSO} - U_{CSO(68)42}). \quad (2.30)$$

Найдем выходной уровень для микросхемы АВВ1519 при CSO = 60 дБ из формулы (2.8):

$$U_{CSO} = 68 - 60 + 102,6 = 110,6 \text{ дБмкВ}. \quad (2.31)$$

Далее нужно перевести выходной уровень из 42 в 2 канала, воспользовавшись формулой:

$$U_{\text{ВЫХ}(2)} = U_{CSO} + 10 \cdot \lg(N/2), \quad (2.32)$$

где $N = 42$ каналам.

Получаем:

$$U_{\text{ВЫХ}(2)} = 110,6 + 13,2 = 123,8 \text{ дБмкВ}. \quad (2.33)$$

Усилительный элемент входного каскада необходимо выбрать с наименьшим коэффициентом шума. У входного каскада усиление составляет 19,6 дБ, коэффициент шума 1,8 дБ.

Оценим коэффициент шума по формуле:

$$K_{ш} = K_{ш1} + \sum_{i=2}^n \frac{K_{шi} - 1}{\prod_{j=1}^{i-1} K_{шj}}, \quad (2.34)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шума усилителя, состоящего из n каскадов; $K_{ш1}$ – коэффициент шума первого каскада; $K_{ши}$ – коэффициент шума i -ого каскада; K_{yj} – коэффициент усиления j -ого каскада. [1]

Получаем:

$$K_{ш} = 1,8 + \frac{2,2-1}{19,3} = 1,862 \text{ дБ}, \quad (2.35)$$

при результирующем коэффициенте усиления 38,9 дБ.

2.2.2 Описание выходного каскада

Схема выходного каскада играет важную роль в формировании свойств усилителя в целом. Выходной каскад определяет нелинейные свойства всего усилителя, так как имеет наибольший уровень сигнала. На практике обычно применяются следующие схемы выходных каскадов:

- одноктактный выходной каскад является наиболее простым схемотехническим построением линейных усилителей. Каскадная схема представляет собой последовательное соединение нескольких усилительных каскадов. Характеристики, которые позволяет получить данная схема, являются самыми низкими. Все другие варианты построения выходных каскадов направлены на улучшение параметров каскадной схемы.

- двухтактный выходной каскад имеет существенные преимущества перед каскадной схемой. В общем случае это два усилителя с одноктактными выходными каскадами, называемыми плечами и возбуждаемыми противофазно. Выходные каскады плеч работают на общую симметричную нагрузку. [10]

При полной идентичности плеч двухтактный выходной каскад обладает следующими свойствами:

- подавление четных гармоник, вносимых усилителями;
- компенсация в нагрузке помех, поступающих в каскад от источников питания и других источников помех;

- компенсация нечетных гармоник в цепях питания, что облегчает построение фильтров питания.

С точки зрения увеличения линейности двухтактный каскад позволяет свести к минимуму нелинейные искажения второго порядка. Искажения третьего порядка остаются без изменения, но при этом выходной уровень увеличивается на 2...2,5 дБ вследствие сложения мощностей двух плеч.

На практике также применяются схемы выходных каскадов по принципу QD (Quattro doubler), которые позволяют складывать мощности четырех двухтактных усилителей. Теоретически сложение мощности позволяет увеличить выходной уровень на 3 дБ. На самом деле из-за потерь в схеме сложения увеличение происходит на 2...2,5 дБ. Таким образом применение QD каскада повышает стоимость усилителя, увеличивая выходной уровень лишь на 2 дБ, поэтому выходной каскад выполним по двухтактной схеме. [1]

Рассмотрим принципиальную электрическую схему выходного каскада, расположенную на рисунке 2.

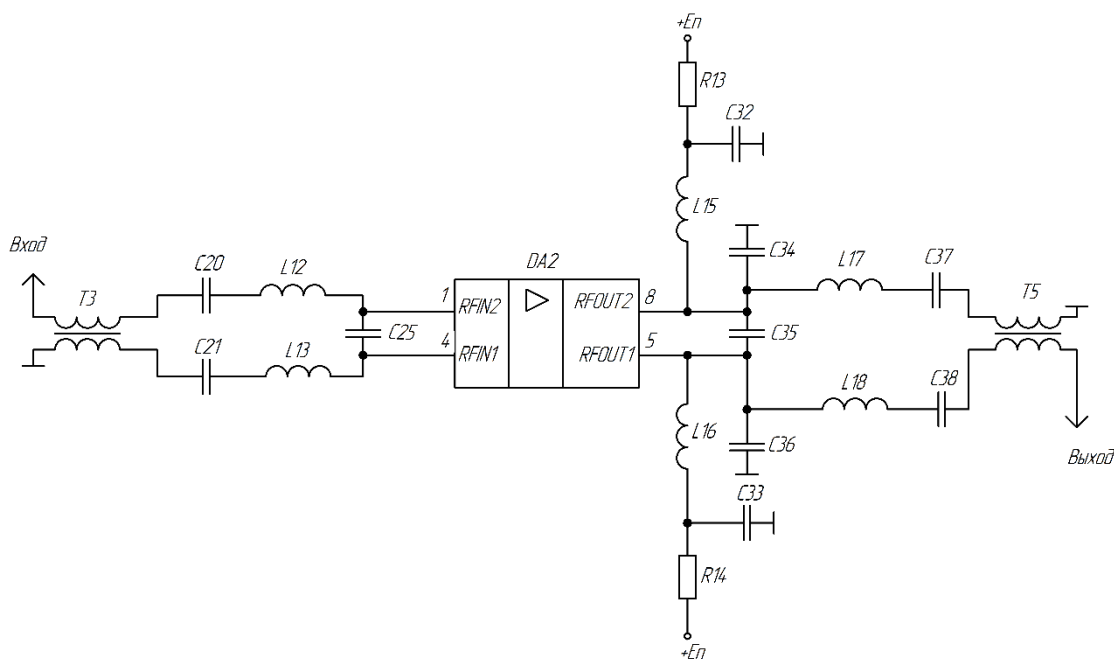


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема выходного каскада

Семейство микросхем АВВ для поверхностного монтажа представляют собой арсенид-галлиевые линейные усилители высокой частоты, разработанные

для использования в усилительных устройствах кабельных распределительных сетей. Интегральная микросхема содержит два усилителя. При равномерном усилении и высоком затухании несогласованности на входе и выходе усилители обеспечивают исключительно низкое искажение и малый коэффициент шума. Микросхема АВВ1519 применяется во входном каскаде, микросхема АВВ2518 в выходном каскаде. Для реализации двухтактного выходного каскада на входе и выходе микросхемы включаются симметрирующие трансформаторы. Максимальный входной уровень составляет 131,8 дБмкВ. [3]

По рекомендации производителя перед микросхемой АВВ2518 выберем катушки индуктивности L12 и L13 - по 1,8 нГн, после L17 и L18 - 2,2 нГн которые служат для согласования сверхвысокочастотного тракта, блокировочные конденсаторы по постоянному току C20, C21, C37, C38 – по 10 нФ. Конденсатор C25 - 0p75 и C35 - 0p5, а C32 и C33 - по 10 нФ, для согласования СВЧ тракта.

Рассчитаем по формуле (2.37) катушки L15 и L16, которые служат для развязки по переменному току. Задаем индуктивное сопротивление равное 250 Ом.

Из формулы (2.36) выразим индуктивность катушки [10]:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad (2.36)$$

где X_L – индуктивное сопротивление равное 250 Ом, f – частота 48 МГц, L – индуктивность катушки.

Тогда:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (2.37)$$

подставляем значения переменных в формулу (2.37) и получаем:

$$L15 = L16 = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 48 \cdot 10^6} = 8,29 \cdot 10^{-7} = 829 \text{ нГн}. \quad (2.38)$$

Пользуясь рядом номиналов элементов, выбираем индуктивность равную 820 нГн. [8]

Рассчитаем резисторы R23 и R18, которые служат для падения напряжения на участке, поступающего от источника питания к микросхеме. [5]

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Из технической документации микросхемы АBB2518 берем значение потребляемого тока 280 мА. Так как у микросхемы два плеча, значит на каждое приходится по 140 мА. Учитывая, что на первое и второе плечо подается напряжение с источника питания $U_1 = 6$ В, а потребляемое напряжение микросхемой $U_2 = 5$ В, то тогда напряжение U будет 1 В.

По формуле (2.39) [10] найдем значение сопротивления резистора R23 и R18:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2.39)$$

Получаем:

$$R13 = \frac{1}{0,14} = 7,1 \text{ Ом}, \quad (2.40)$$

$$R14 = \frac{1}{0,14} = 7,1 \text{ Ом}. \quad (2.41)$$

Так как в ряду номиналов радиодеталей 7,1 Ом нет, берем близкий номинал к значениям R13 и R14 равный 6,8 Ом.

Рассчитаем по формуле (2.42) потребляемую мощность рассеивания резисторами R13 и R14:

$$P = I^2 \cdot R, \quad (2.42)$$

где P - мощность рассеивания, I – ток протекающий через резистор, R – сопротивление резистора.

Получаем:

$$P_1 = P_2 = (0,14)^2 \cdot 6,8 = 0,133 \text{ Вт}. \quad (2.43)$$

2.2.3 Описание входного каскада

Принципиальная электрическая схема входного каскада с цепью коррекции АЧХ представлена на рисунке 3.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

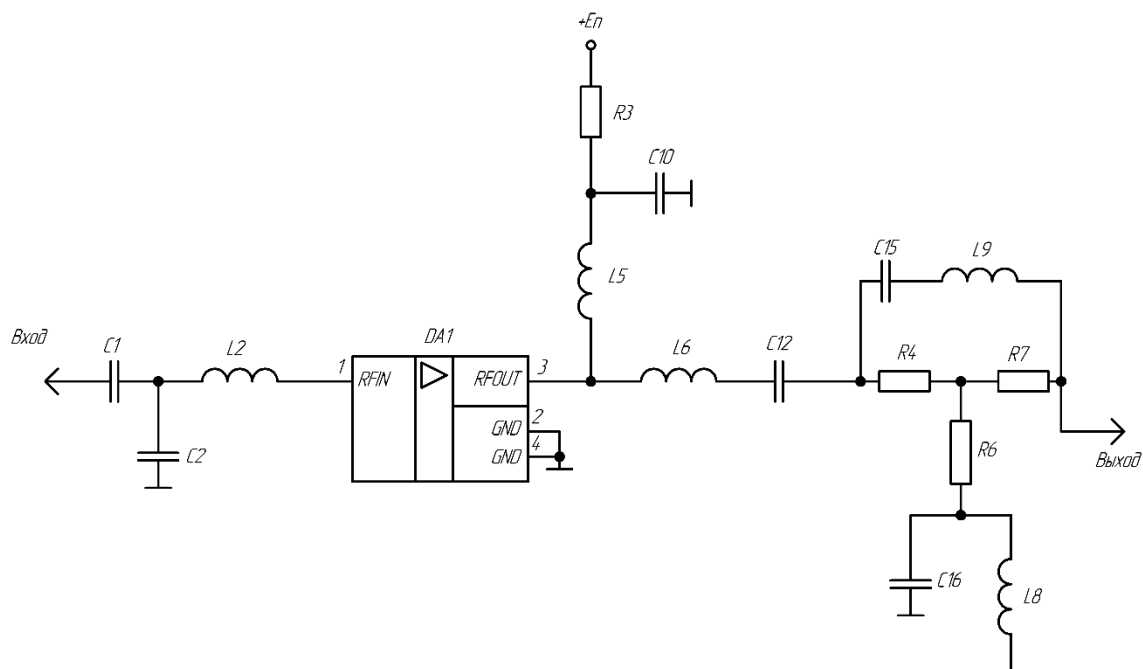


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема входного каскада
 Входной каскад выполнен на микросхеме АВВ1519, выпускаемый фирмой ASB Inc. Интегральная микросхема содержит один усилитель. Технические характеристики микросхемы представлены в таблице 2. [12]

Таблица 2 – Технические характеристики микросхемы АВВ1519

Параметр	Значение
Частота, МГц	5...1700
Коэф.усиления, дБ	19,6
IP3, дБмВт	29
IP2, дБмВт	55
CSO (при $U_{\text{ВЫХ}}(77 \text{ к})=103 \text{ дБмкВ}$), дБ	68
СТВ (при $U_{\text{ВЫХ}}(77 \text{ к})=103 \text{ дБмкВ}$), дБ	61
Ток, мА	125
Напряжение питания, В	5

По рекомендации производителя конденсаторы C1 и C12 выберем – по 1 мкФ, C10 – 10 мкФ. Катушки L2 – 6,8 нГн, L6 – 4,7 нГн и конденсатор C2 – Ор75, которые служат для согласования СВЧ тракта. [9]

Рассчитаем по формуле (2.45) катушку L5, которая служит для развязки по переменному току. Задаем индуктивное сопротивление равное 250 Ом.

Из формулы (2.36) выразим индуктивность катушки:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad (2.44)$$

где X_L – индуктивное сопротивление равное 250 Ом, f – частота 48 МГц, L – индуктивность катушки.

Тогда:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}, \quad (2.45)$$

подставляем значения переменных в формулу (2.45) и получаем:

$$L5 = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 48 \cdot 10^6} = 8,29 \times 10^{-7} = 829 \text{ нГн}. \quad (2.46)$$

Пользуясь рядом номиналов элементов, выбираем индуктивность равную 820 нГн.

Рассчитаем значение сопротивления резистора R3. Из таблицы 2 берем значение микросхемы потребляемого тока 125 мА и напряжение питания 5 В. Учитывая, что на плечо микросхемы подается напряжение с источника питания $U_1 = 6$ В, а потребляемое напряжение микросхемой $U_2 = 5$ В, то тогда напряжение U будет 1 В. По формуле (2.39) найдем значение сопротивления резистора R3:

$$R3 = \frac{1}{0,125} = 8 \text{ Ом}. \quad (2.47)$$

Так как в ряду номиналов радиодеталей 8 Ом нет, берем близкий номинал к значениям R3 равный 7,5 Ом. [8]

Рассчитаем по формуле (2.48) потребляемую мощность рассеивания резисторами R3:

$$P = I^2 \cdot R3, \quad (2.48)$$

где P - мощность рассеивания, I – ток протекающий через резистор, $R3$ – сопротивление резистора.

Получаем:

$$P_1 = (0,125)^2 \cdot 7,5 = 0,117 \text{ Вт}. \quad (2.49)$$

Рассмотрим рисунки 4 и 5, на которых изображены АЧХ микросхем АВВ2518 и АВВ1519.

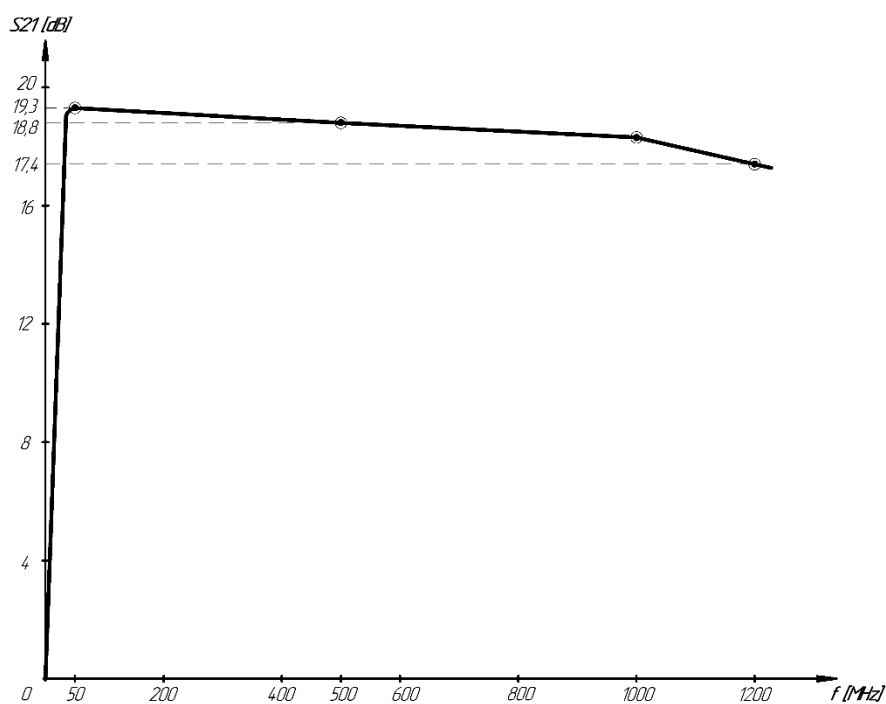


Рисунок 4 –АЧХ микросхемы АВВ2518

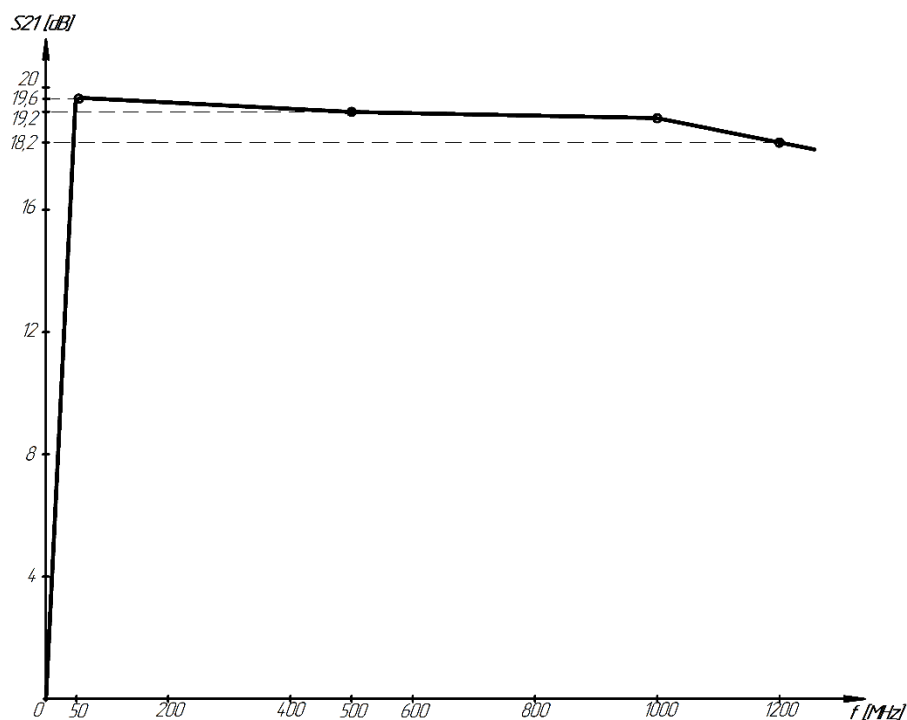


Рисунок 5 –АЧХ микросхемы АВВ119

Вследствие того, что при подключении каскадов происходит затухание АЧХ у первого каскада на 1,9 дБ, а у второго на 1,4 дБ, вводят высокочастотную

цепь коррекции [13], которая позволяет получить “подъем” частотной характеристики в области верхних частот. Рассмотрим цепь коррекции, изображенную на рисунке 4.

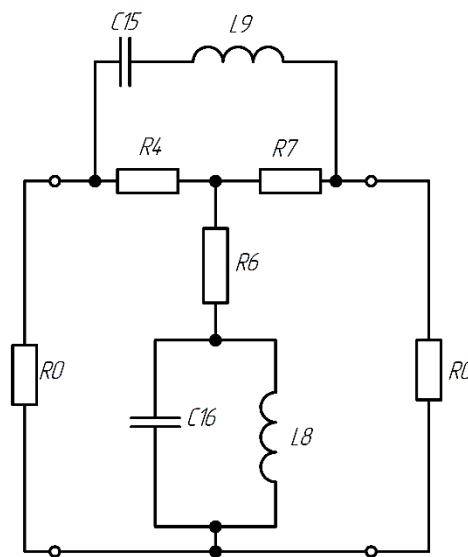


Рисунок 6 – Цепь коррекции АЧХ с сопротивлением нагрузки

При выполнении условия:

$$Z_1 \cdot Z_2 = (R_0)^2, \quad (2.50)$$

где Z_1 – сопротивление последовательного контура $C15$, $L9$, которое на верхней частоте оказывает шунтирующее свойство, а Z_2 – сопротивление параллельной ветви $C16$, $L8$, которая представляет на верхней частоте блокировочный контур, R_0 – сопротивление нагрузки. Тогда входное сопротивление цепи коррекции не зависит от частоты и равно R_0 . На верхней частоте f_B затухание корректора близко к нулю, а на нулевой частоте устройство превращается в T-образный аттенюатор с затуханием S_{21} . Используя формулы (2.51) – (2.52), [1] рассчитаем T – образный аттенюатор:

$$R4 = R7 = \frac{10^{\frac{S_{21}}{20}} - 1}{10^{\frac{S_{21}}{20}} + 1} \cdot R_0; \quad (2.51)$$

$$R6 = \frac{2}{10^{\frac{S_{21}}{20}} - \frac{1}{10^{\frac{S_{21}}{20}}}} \cdot R_0, \quad (2.52)$$

где S_{21} = минус 3 дБ, $R_0 = 75 \text{ Ом}$.

Получаем:

$$R_4 = R_7 = \frac{10^{\frac{-3}{20}} - 1}{10^{\frac{-3}{20}} + 1} \cdot 75 = 13 \text{ Ом}, \quad (2.53)$$

$$R_6 = \frac{2}{10^{\frac{-4}{20}} - \frac{1}{10^{\frac{-4}{20}}}} \cdot 75 = 220 \text{ Ом}. \quad (2.54)$$

Задаем $L_8 = L_9 = 15 \text{ нГн}$, используя формулу (2.56) рассчитаем C_{15} и C_{16} :

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}, \quad (2.55)$$

где f – частота, равная 1000 МГц .

Получаем:

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L}, \quad (2.56)$$

$$C_{15} = C_{16} = \frac{1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10^6)^2 \cdot 15 \cdot 10^{-9}} = 1,7 \text{ пФ}. \quad (2.57)$$

Так как в ряду номиналов радиодеталей $1,7 \text{ пФ}$ нет, берем близкий номинал равный $1,8 \text{ пФ}$. [8]

2.2.4 Описание входной части усилителя

Рассмотрим принципиальную электрическую схему входной части усилителя, которая показана на рисунке 7.

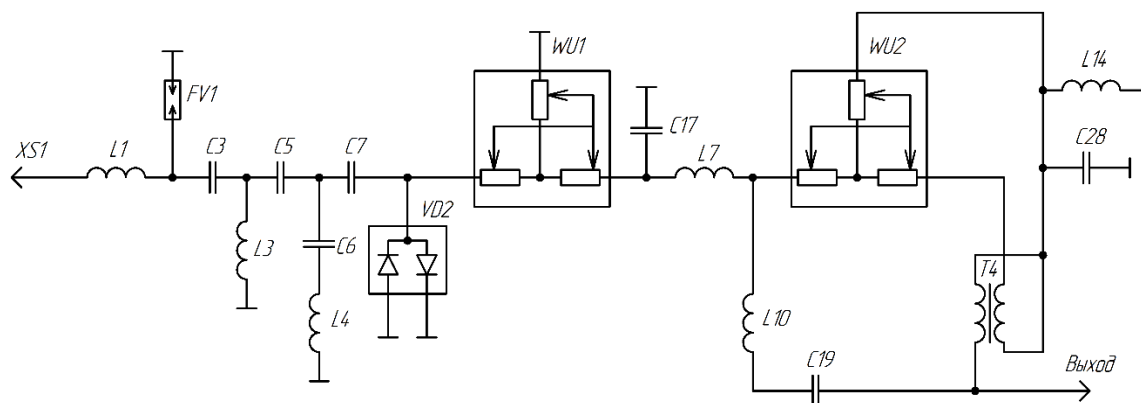


Рисунок 7 – Принципиальная электрическая схема входной части усилителя

В электрических сетях часто возникают импульсные всплески напряжения, вызванные коммутациями электроаппаратов, атмосферными разрядами или иными причинами. Несмотря на кратковременность такого перенапряжения, его может быть достаточно для пробоя изоляции и как следствие, короткого замыкания, приводящего к разрушительным последствиям. В связи с этим в электрических сетях целесообразно применять разрядники. На входе ставим разрядник FV1. [13]

Конденсатор C3 10н-630 В, который не допускает попадания высокого напряжения на вход усилителя.

Для защиты входов аналоговых и цифровых схем от перегрузки используется цепочка из двух диодов VD2 BAR66, подключённых в прямом и обратном направлении. Принцип работы показан на рисунке 8. Защищаемый вход подключается к средней точке этой цепи. При нормальной работе диоды закрыты и почти не оказывают влияния на работу схемы.

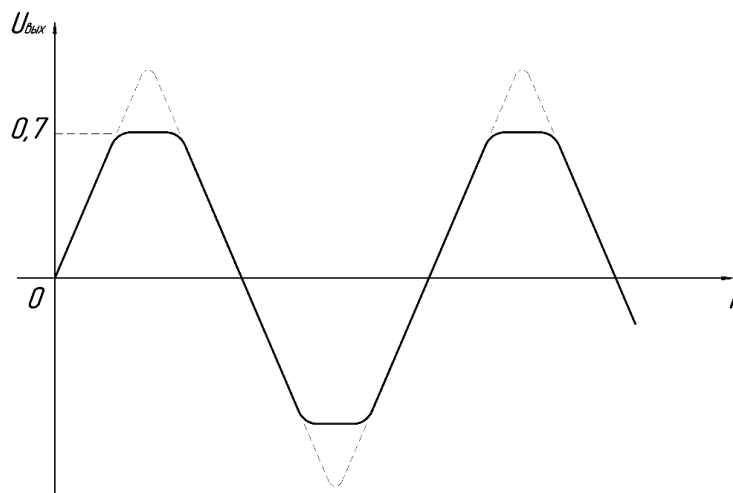


Рисунок 8 – Принцип работы диодов

Когда напряжение поднимается и выходит за пределы рабочего напряжения диода, то один из диодов открывается и шунтирует вход схемы.

Катушка L1 используется в схеме для согласования.

Используя формулы (2.60) – (2.61) и коэффициенты из таблицы 3, [14] рассчитаем эллиптический ФВЧ 5 порядка, изображенный на рисунке 9.

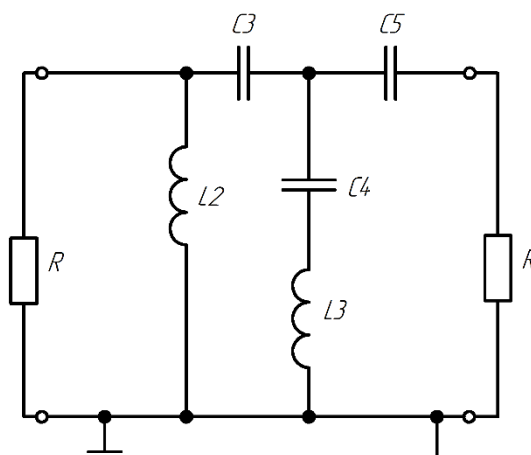


Рисунок 9 – Схема эллиптического ФВЧ с нагрузкой

Порядок расчета фильтра следующий: по формулам (2.58) – (2.59) определяем базовые значения L_B и C_B исходя из значений $f = 40$ МГц и $R = 75$ Ом, затем вычисляют окончательные значения C_n и L_n , основываясь на значениях коэффициентов $K_{Тн}$, взятых из таблицы 3. [14]

Таблица 3 – Коэффициенты, используемые при расчете эллиптического ФВЧ 5-го порядка

C L	Коэффициенты K_T , n=5
1	0,874
2	1,660
3	0,196
4	1,660
5	1,256

Тогда:

$$L_B = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f} , \quad (2.58)$$

$$C_B = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R} , \quad (2.59)$$

получаем

$$L_B = \frac{75}{2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^6} = 2,98 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} , \quad (2.60)$$

$$C_B = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^6 \cdot 75} = 5,31 \cdot 10^{-11} \text{ Гн} . \quad (2.61)$$

Используя формулы (2.61) – (2.62) коэффициент K_{Tn} из таблицы 3 рассчитываем L и C:

$$C_n = \frac{C_B}{K_{Tn}} , \quad (2.62)$$

$$L_n = \frac{L_B}{K_{Tn}} , \quad (2.63)$$

получаем

$$L2 = \frac{2,98 \cdot 10^{-7}}{0,874} = 3,40 \cdot 10^{-7} = 340 \text{ нГн} , \quad (2.64)$$

$$C3 = \frac{5,31 \cdot 10^{-11}}{1,660} = 3,19 \cdot 10^{-11} = 32 \text{ пФ} , \quad (2.65)$$

$$C4 = \frac{5,31 \cdot 10^{-11}}{0,196} = 2,70 \cdot 10^{-10} = 270 \text{ пФ}, \quad (2.66)$$

$$L3 = \frac{2,98 \cdot 10^{-7}}{1,660} = 1,79 \cdot 10^{-7} = 179 \text{ нГн}, \quad (2.67)$$

$$C5 = \frac{5,31 \cdot 10^{-11}}{1,256} = 4,22 \cdot 10^{-10} = 42 \text{ пФ}, \quad (2.68)$$

берем по ряду номиналов значения $L2 = L3 = 330 \text{ нГн}$, $C3 = C5 = 33 \text{ пФ}$, $C4 = C6 = 270 \text{ пФ}$, $L3 = L4 = 180 \text{ нГн}$, $C5 = C7 = 42 \text{ пФ}$.

Часто требуется оперативное изменение затухания, что можно сделать с помощью переменного аттенюатора WU1. Такой аттенюатор может быть реализован с помощью переменных резисторов. Чтобы обеспечить согласование аттенюатора с двух сторон, необходимо изменять сопротивления одновременно всех трех резисторов. Увеличение затухания аттенюатора требует увеличения сопротивлений R1, R3 и уменьшения R2. Такие аттенюаторы позволяют получать большую глубину регулировки затухания до 20 дБ. [1]

В процессе распространения сигналов в кабельной распределительной сети более высокочастотные сигналы подвергаются большему затуханию, как показано на рисунке 10.

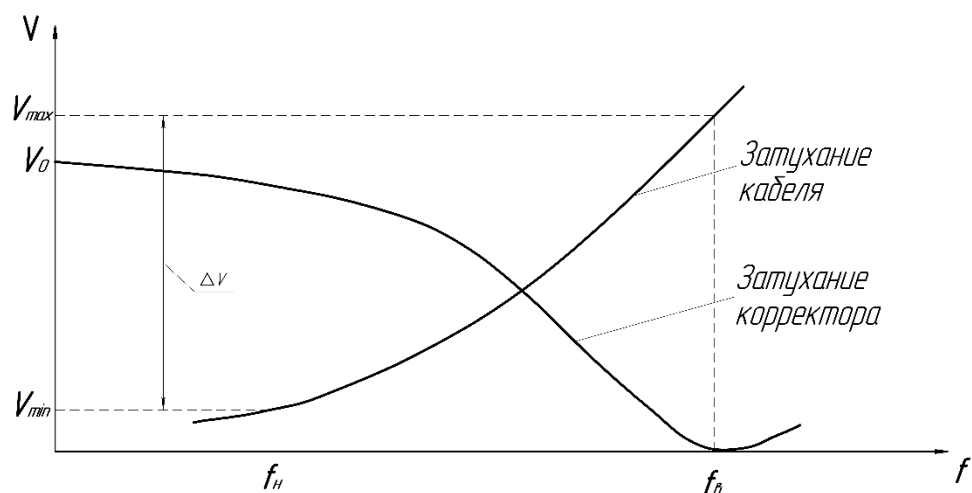


Рисунок 10 – АЧХ амплитудного корректора

В заданном частотном диапазоне от f_n до f_b затухание кабеля изменится от V_{min} до V_{max} . Разность $\Delta V = V_{max} - V_{min}$ называется глубиной наклона АЧХ кабе-

ля. Для выравнивания уровней сигналов применяется эквалайзер WU2, состоящий из переменных резисторов, образующих T-образный аттенюатор с шунтирующим L10, C19 и блокировочным контурами L14, C28. [1]

Задаем L10 =10 нГн и L14= 15 нГн, используя формулу (2.70) рассчитаем C19 и C28:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} , \quad (2.69)$$

где f – частота, равная 1000 МГц.

Получаем:

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} , \quad (2.70)$$

$$C19 = \frac{1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10^6)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 2,7 \text{ нФ} , \quad (2.71)$$

$$C28 = \frac{1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10^6)^2 \cdot 15 \cdot 10^{-9}} = 1,7 \text{ нФ} . \quad (2.72)$$

Так как в ряду номиналов радиодеталей 1,7 пФ нет, берем близкий номинал к значению 1,7 пФ равный 1,8 пФ. [8]

Трансформатор T1 является согласующим волновое сопротивление.

Конденсатор C17 и катушка L7 служат для согласования.

2.2.5 Описание выходной части усилителя

Рассмотрим принципиальную электрическую схему выходной части усилителя, которая показана на рисунке 11.

Направленный ответвитель предназначен для ответвления части мощности телевизионного сигнала из основного тракта в боковой. [1] НО в классическом виде имеет четыре входа, как показано на рисунке 12.

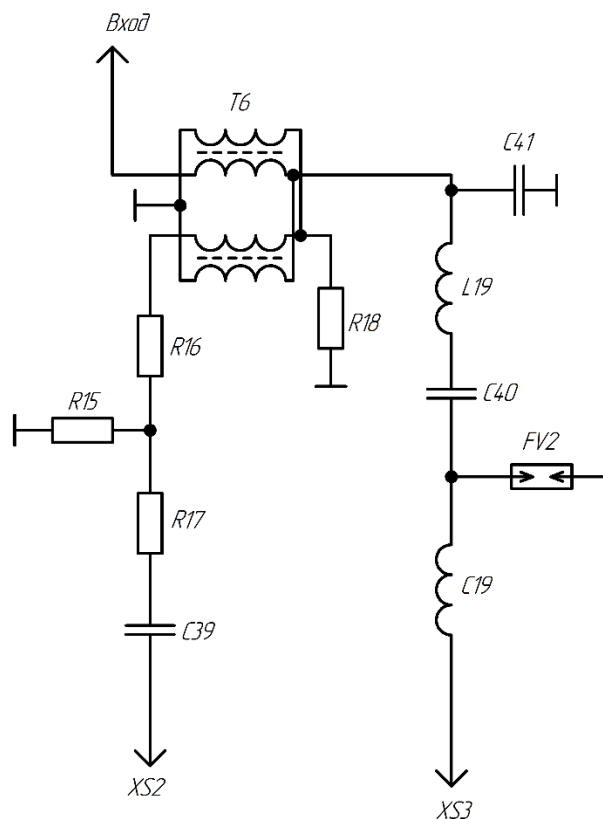


Рисунок 11 – Принципиальная электрическая схема выходной части усилителя

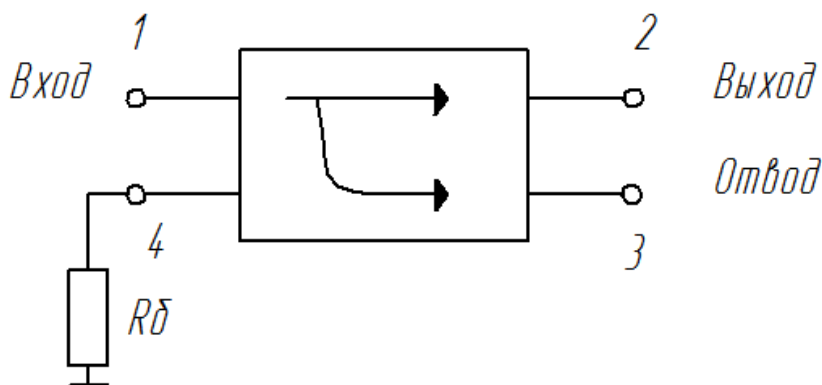


Рисунок 12 – Нумерация входов ответвителя

Два из них включаются в разрыв основного тракта. В зависимости от того, на какой вход поступает сигнал, а с какого снимается, будем различать вход и выход НО. Третий вход, к которому подключается балластное сопротивление R_{δ} .

Суть работы направленного ответвителя заключается в следующем.

Если сигнал поступает на первый вход, то его мощность делится между отводом и выходом. Четвертый вход НО является развязанным по отношению ко входу 1, то есть на 4 входе мощность отсутствует, происходит ответвление части

мощности сигнала в отвод. Если сигнал поступает на второй вход, то его мощность будет делиться между четвертым и первым входами, а отвод развязан по отношению к второму входу. Ответвленная мощность при этом рассеивается в балластном сопротивлении. Таким образом, что в отводе сигнал может появиться только в случае его поступления со стороны входа НО. Это свойство позволяет исключить проникновение в отвод отраженных сигналов в основном тракте.

Направленный ответвитель можно реализовать на линиях с электромагнитной связью или на трансформаторах. [1]

В нашем случае, для создания, широкополосного направленного ответвителя, применяется трансформатор Т6 на ферритовом сердечнике, который вносит затухание минус 16 дБ и балластным резистором R18 равным 75 Ом. Так как на контрольном отводе затухание минус 20 дБ, используем Т-образный аттенюатор, чтобы добиться затухание минус 4 дБ.

Используя формулы (2.71) – (2.72), [1] рассчитаем Т – образный аттенюатор, состоящий из резисторов R15, R16, R17:

$$R16 = R17 = \frac{10^{\frac{S_{21}}{20}} - 1}{10^{\frac{S_{21}}{20}} + 1} \cdot R0 , \quad (2.73)$$

$$R15 = \frac{2}{10^{\frac{S_{21}}{20}} - \frac{1}{10^{\frac{S_{21}}{20}}}} \cdot R0 , \quad (2.74)$$

где S_{21} = минус 4 дБ, $R0 = 75$ Ом.

Получаем:

$$R16 = R17 = \frac{10^{\frac{-4}{20}} - 1}{10^{\frac{-4}{20}} + 1} \cdot 75 = 16,8 = 17 \text{ Ом} , \quad (2.75)$$

$$R15 = \frac{2}{10^{\frac{-4}{20}} - \frac{1}{10^{\frac{-4}{20}}}} \cdot 75 = 156,7 = 157 \text{ Ом} . \quad (2.76)$$

Таким образом, благодаря ответвителю, который дает затухание минус 16 дБ и аттенюатору с затуханием минус 4 дБ в сумме получается на выходном отводе минус 20 дБ. [14]

Для защиты схемы выхода усилителя ставятся конденсаторы С39, С40 и разрядник FV2.

Такие элементы как С41, L5, L20 используются для согласования.

2.2.6 Описание блока питания усилителя

Блок питания — электротехнический прибор, выполняющий функцию преобразования первичного напряжения (электрической сети) в величину, требующуюся для работы различного типа оборудования.

В современной электротехнике существует два принципа преобразования энергии для электрических потребителей, основанные на:

- использовании аналоговых трансформаторных устройств для передачи мощности во вторичную схему;
- импульсных блоках питания.

Они имеют принципиальные отличия в своей конструкции, работают по разным технологиям.

Трансформаторный (линейный) блок питания

Первоначально создавались только такие конструкции. Они изменяют структуру напряжения за счет работы силового трансформатора, питающегося от бытовой сети 220 вольт, в котором происходит понижение амплитуды синусоидальной гармоники, направляемой далее на выпрямительное устройство, состоящее из силовых диодов, включенных, как правило, по схеме моста.

После этого пульсирующее напряжение сглаживается параллельно подключенной емкостью, подобранной по величине допустимой мощности, и стабилизируется полупроводниковой схемой с силовыми транзисторами.

Импульсный (инверторный) блок питания

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Импульсный блок питания - инверторная система, в которой происходит преобразование переменного напряжения в постоянное, после чего генерируются высокочастотные импульсы, которые проходят ряд дальнейших преобразований. В устройстве с гальванической развязкой импульсы передаются к трансформатору, а при отсутствии таковой - напрямую к низкочастотному фильтру на выходе устройства. [15]

Благодаря формированию высокочастотных сигналов, в импульсных блоках питания применяются малогабаритные трансформаторы, что позволяет уменьшить размеры и вес устройства. Для стабилизации напряжения используется стабилитрон, благодаря которому на выходе поддерживается постоянный уровень напряжения.

Рассмотрим принципиальную электрическую схему блока питания усилителя, расположенную на рисунке 13.

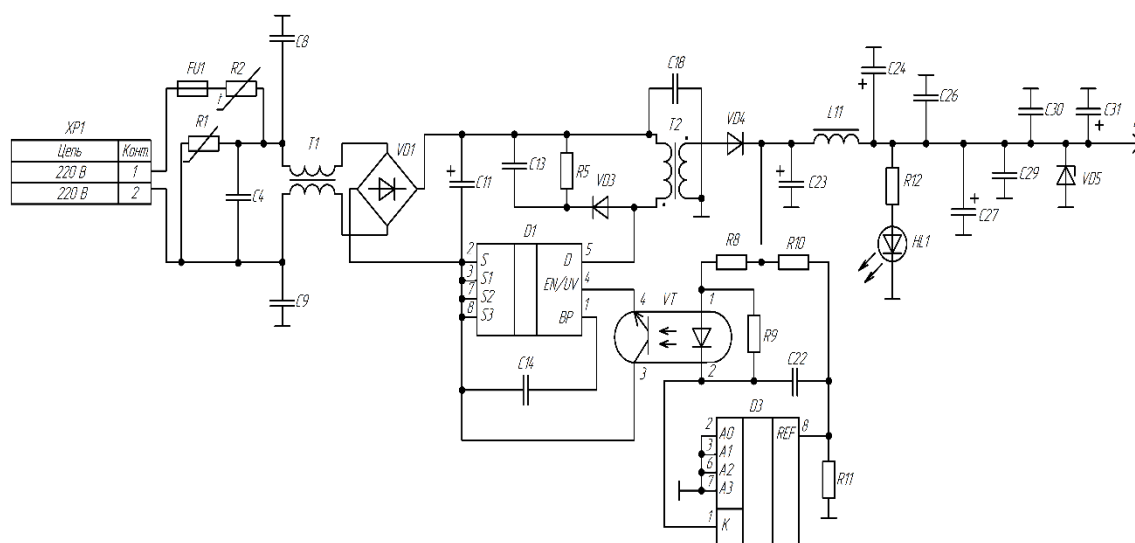


Рисунок 13 – Принципиальная электрическая схема блока питания усилителя

В данной дипломной работе на вход блока питания подается переменное напряжение 220 В из сети, а на выходе получаем постоянное напряжение 6 В, благодаря которому происходит питание элементов в схеме. Разделим блок питания на части и рассмотрим их принцип действия работы. [13]

Входная часть блока питания изображена на рисунке 14.

Питание поступает на входную часть, которая состоит из цепи элементов для защиты схемы и сетевого фильтра. Задача фильтра минимизировать сетевые помехи, как входящие, так и исходящие, возникающие вследствие работы. Рассмотрим элементы входной части:

- предохранитель FU1 с номинальным значением 1,6 А;
- термистор R2 SCK-101, 10 Ом, специализированного резистора с отрицательным температурным коэффициентом, сопротивление которого быстро падает, при повышении температурой компонента определенного порога;
- варистор R1 S10K275, 275 В, обеспечивающий защиту от всех видов перенапряжения и предотвращает выход электрического оборудования из строя;
- конденсаторы C4, C8, C9 и трансформатор T1, состоящий из двух катушек индуктивностей.

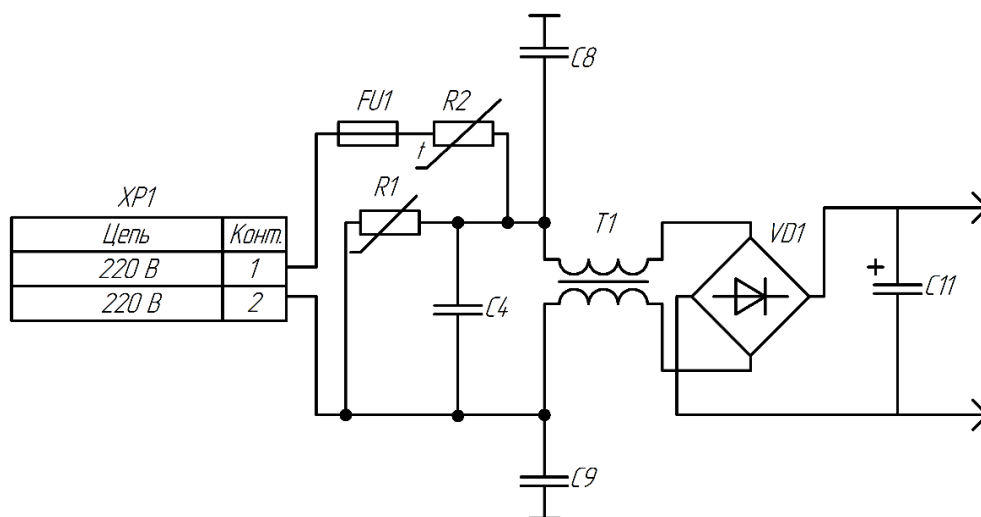


Рисунок 14 – Принципиальная электрическая входной части блока питания

Далее вступает в работу блок преобразования синусоидального напряжения в постоянное. [15]

Реализован в виде диодного выпрямительного моста VD1 и конденсатора C11 равным 47-400 В, выдерживающий пики порядка 400 В. Входной диодный мост выпрямляет проходящие через него синусоиды, которые затем преобразуются микросхемой D1 в импульсы высокой частоты и прямоугольной формы с определенной скважностью.

Рассмотрим рисунок 15, на котором изображена принципиальная электрическая схема импульсного блока питания с гальванической развязкой.

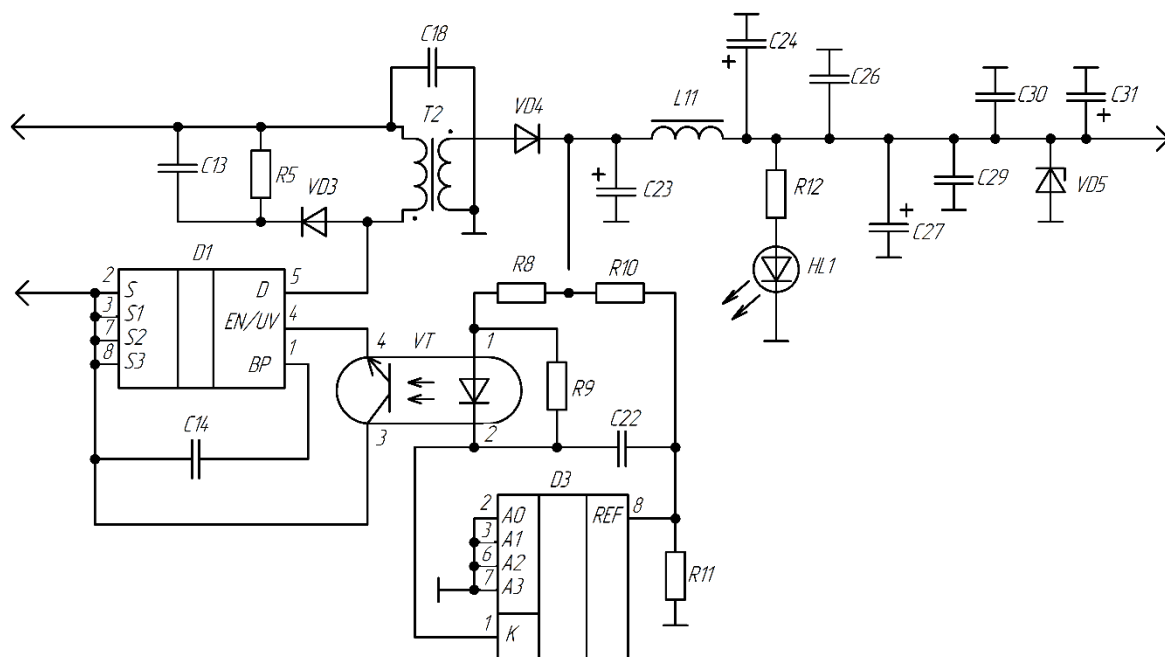


Рисунок 15 – Принципиальная электрическая схема блока питания с гальванической развязкой

Принципиальная электрическая схема состоит из следующих элементов.

ШИМ – контроллер в виде микросхемы D1 TNY264 [16], имеющая выходной ключ на высоковольтном МДП-транзисторе (транзистор с изолированным затвором). Контроллер управляет процессом преобразования широтно-импульсной модуляции. В его основу заложен принцип выработки импульсов одинаковой частоты, но с разной длительностью включения, частота преобразования равна 132 кГц. Имеет четыре активных вывода D – подключен к стоку выходного ключа на МДП-транзисторе, через этот вывод осуществляется запуск при включении и питание микросхемы в установившемся режиме; S – исток МДП-транзистора выходного ключа; BP – к этому выводу подключается внешний развязывающий конденсатор C14 для внутреннего источника питания 5,8 В микросхемы; EN – вход разрешения, низкий уровень напряжения на котором блокирует работу преобразователя импульсного блока питания, за счет чего происходит управление микросхемой. [16] С помощью элементов C3, R5 и VD3

происходит защита МДП-транзистора от выбросов электродвижущей силы в первичной обмотке трансформатора T2 при запираании этого транзистора.

Трансформатор T2, необходим для автоматического генераторного режима, подачи напряжения на цепи защиты, управления контроллером. Сердечник этого устройства изготавливается из ферромагнитных материалов, что способствует надежной передачи высокочастотного сигнала. Расчет трансформатора производится с помощью специальной программы, в которую вводятся необходимые параметры и после этого получаем результат количества витков и количество жил первичной и вторичной обмоток. После трансформатора стоит диод VD4, который выпрямляет сигнал.

Все импульсные блоки питания имеют элементы, осуществляющие отрицательную обратную связь с выходными параметрами. За счет этого они обладают хорошей стабилизацией выходного напряжения при изменяющихся нагрузках и колебаниях питающей сети. С помощью оптоэлектронного прибора (оптрон) VT K1010SP [15], состоящего из излучающего и фотоприемного элементов, между которыми имеется оптическая связь, обеспечивается электрическую изоляцию между входом и выходом. Резисторы R8 и R9 задают рабочую точку светодиода в оптроне.

Микросхема D3 TL431S – это регулируемый стабилитрон [17]. Используется в роли опорного источника напряжения. Рассмотрим структурную схему стабилитрона, изображенную на рисунке 16.

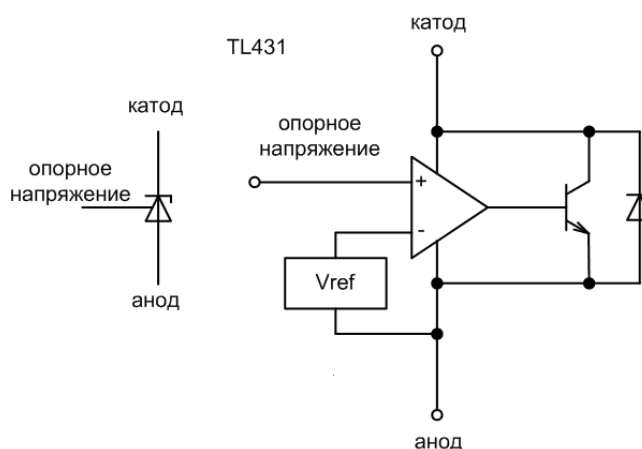


Рисунок 16 – Структурная схема стабилитрона

Если напряжение на входе источника ниже опорного напряжения V_{ref} , то и на выходе операционного усилителя низкое напряжение соответственно транзистор закрыт и ток от катода к аноду не протекает. Если входное напряжение станет превышать V_{ref} , то операционный усилитель откроет транзистор и от катода к аноду начнет протекать ток. Для задания напряжения стабилизации понадобятся два резистора $R10$ и $R11$. Зададим значение сопротивления $R11 = 33 \text{ кОм}$ и выходное напряжение равное 6 В . По формуле (2.77) [15] рассчитаем значение сопротивления резистора $R10$:

$$R10 = R11 \cdot \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{V_{\text{ref}}} - 1 \right), \quad (2.77)$$

где $R11$ – сопротивление резистора, равное 33 кОм ; $U_{\text{ВЫХ}}$ – требуемое выходное напряжение, равное 6 В и V_{ref} – опорное напряжение, равное $2,495 \text{ В}$.

Получаем:

$$R10 = 33 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{6}{2,495} - 1 \right) = 46358 \text{ Ом}, \quad (2.78)$$

пользуясь рядом номиналов выбираем значение 47 кОм .

Светодиод HL1 подключенный через токоограничительный резистор $R12$, показывает, что на схему подается питание. [14]

Катушка $L11$ и конденсаторы $C23$, $C24$, $C26$, $C27$, $C29$, $C30$ и $C31$ нужны в схемы для сглаживания пульсация на протяжении всей линии питания.

В схемы стоит стабилитрон $VD5$, который обеспечивает защиту схемы от попадания высокого напряжения.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

3. Конструкторский раздел

3.1 Компоновка прибора

Подлежащая разработке конструкция прибора должна иметь оптимальные габариты, а также отвечать требованиям технологичности, т.е. максимально обеспечивать возможность применения прогрессивных методов ее изготовления и сборки при соблюдении заданных эксплуатационных требований.

Компоновку прибора проводят следующим образом. Сначала разбивают схему прибора на отдельные блоки или узлы и намечают их расположение. При этом учитывают возможное взаимное влияние отдельных узлов (блоков). Узлы прибора должны быть размещены так, чтобы провода либо дорожка с линиями, по которым проходят сигналы, соединяющие их друг с другом и каждый из них с источником питания, были как можно короче. [18]

Для разрабатываемого устройства оптимальным является модульный вариант конструкции, с коммутацией между модулями, осуществляемой при помощи трасс.

Общий вид компоновки прибора изображен на рисунке 17. Условно в устройстве можно выделить следующие составные части: модуль блока питания 1, модуль регулировки усилителя 2, модуль усилительных каскадов 3, контакт для подключения шины зануления 4, коаксиальный разъем 5, буксы для подключения сетевого кабеля 6, корпус боковина 7.

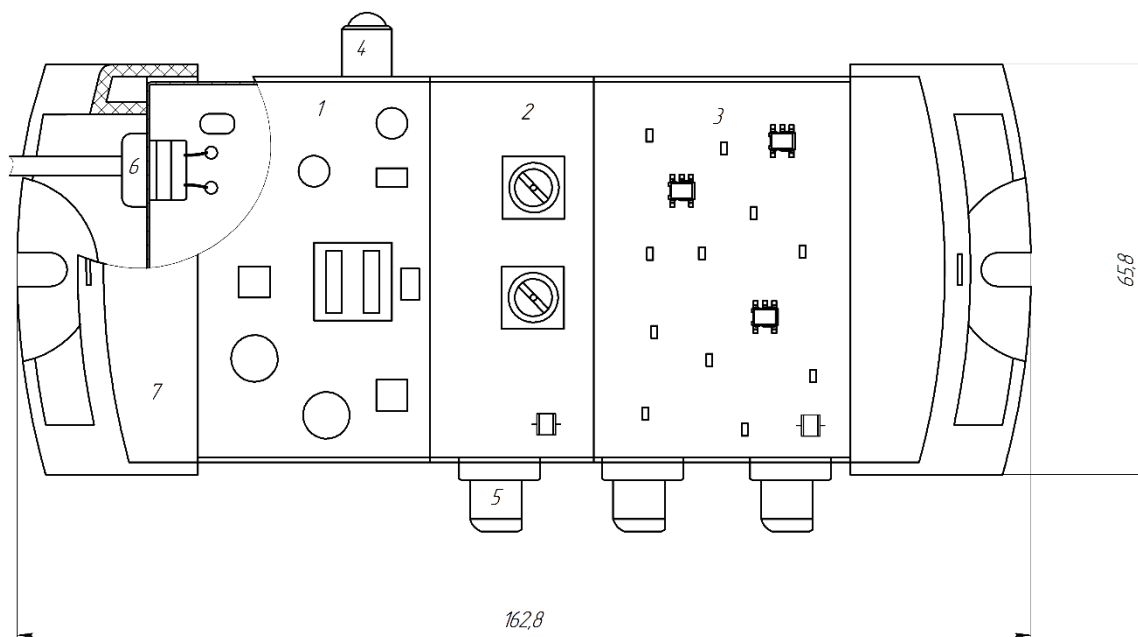


Рисунок 17 – Компоновка прибора

Установка микросхем и навесных элементов на печатную плату должна производиться в соответствии с ОСТ 4ГО.010.030-81. Основная плата выполнена с использованием двухстороннего печатного монтажа.

Между первым, вторым и третьим модулем используется помехозащитный экран, выполненный из луженой жести ГОСТ Р 52204-2004 толщиной 0,20 мм.

Нижняя и верхняя крышки, также, как и боковая стенка, также выполнены из луженой жести ГОСТ Р 52204-2004. На верхней крышке присутствуют три отверстия, два служат для регулировки усилителя с помощью аттенюаторов, а третье для светодиодного индикатора. На боковой стенке присутствуют коаксиальные разъемы для подключения усилителя.

3.2 Разработка печатной платы

Основной целью процесса конструирования является создание коммутационного устройства для объединения группы ЭРЭ в функциональный узел с обеспечением требуемых механических и электрических параметров в заданном диапазоне эксплуатационных характеристик при минимальных затратах. [3]

Для этого необходимо:

- выбрать тип печатной платы;

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

- определить класс точности;
- выбрать способ изготовления ПП;
- установить размеры и конфигурацию платы;
- определить тип установки ЭРЭ;
- разместить ЭРЭ на ПП с учетом электросовместимости и технических допусков;
- осуществить трассировку;
- подготовить конструкторскую документацию.

На выбор материала основания и его толщину влияют эксплуатационные характеристики изделия. Материал основания должен обеспечивать стабильность физико-механических и электрических параметров ПП после воздействия механических нагрузок, климатических факторов и агрессивных химических сред. Он должен быть устойчив к условиям пайки волной припоя, в паровой фазе, инфракрасными лучами, подогревом снизу. Неплоскостность поверхностей основания платы должна быть не более 0,1 мм на 100 мм. Непараллельность поверхностей основания платы – не более 0,5 мм. Температурный коэффициент линейного расширения основания платы должен быть близок к ТКЛР элементов поверхностного монтажа, устанавливаемых на печатную плату. [18]

Выбор фольгированного диэлектрика для печатного узла можно осуществить, учитывая конструктивные особенности применения узла (размеры, механическую прочность, температурные воздействия), а также технологию изготовления печатной платы.

Толщина ПП выбирается из предпочтительного ряда и должна быть увязана с диаметрами применяемых металлизированных отверстий (для качественной металлизации отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы должно быть более 0,33). В качестве материала ПП выбираем теплостойкий фольгированный стеклотекстолит СФ-2-35Г-1.5 ТУ 16-503.271-86.

Предусматривается пять классов точности, отличающихся конфигурацией печатного рисунка. Класс точности выбирается исходя из плотности и техноло-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

гических возможностей производства. Согласно этим данным выбираем третий класс точности. [19]

Поскольку сложность связей печатной платы не позволит нам провести трассировку в одном слое, то для изготовления ее будем применять материалы и техпроцесс производства, способные делать двухсторонние платы с металлизацией сквозных отверстий.

Габаритные размеры, конфигурация и места крепления ПП выбирают в зависимости от установочных размеров, эксплуатационных характеристик и с учетом класса точности. Рекомендуется разрабатывать ПП простой прямоугольной формы. Выбранный размер платы составляет 120×60 мм.

Печатную плату изготавливать комбинированным позитивным методом. Печатная плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79. Шаг координатной сетки 1,25 мм.

Трассировку печатных проводников необходимо проводить с учетом ряда требований. Цель операции трассировки – провести проводники, соединяющие контактные площадки, так, чтобы они имели минимальную длину, и минимальное число переходов на другие слои с целью устранения пересечений. Печатные проводники рекомендуется выполнять прямоугольной конфигурации, располагая их параллельно линиям координатной сетки.

Проводники на всем их протяжении должны иметь одинаковую ширину. Если один или несколько проводников проходят через узкое место, ширина проводников может быть уменьшена. При этом длина участка, на котором уменьшена ширина, должна быть минимальной. В узких местах ширина печатного проводника должна быть не менее $(0,25 \pm 0,05)$ мм. Расстояние между печатными проводниками и контактными площадками не менее 0,2 мм. [20]

Для обеспечения стабильности электрических, механических и других параметров печатных плат необходимо применять конструктивные металлические покрытия.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Одним из главных элементов конструкции печатных плат являются отверстия. Большинство параметров печатных плат связано именно с размерами этих отверстий, которые могут быть металлизированными, гладкими, а по назначению - монтажными, куда устанавливаются и запаиваются выводы элементов, и переходными, обеспечивающими только электрические соединения между слоями платы. Диаметр отверстий в печатной плате должен быть больше диаметра, вставляемого в него вывода, что обеспечит возможность свободной установки электрорадиоэлемента. [19] Диаметр металлизированного отверстия зависит от диаметра, вставляемого в него вывода и от толщины платы и должен составлять не менее половины толщины платы. Металлизированные монтажные отверстия являются одновременно переходными отверстиями. Кроме того, на плате присутствует некоторое количество неметаллизированных конструктивных отверстий, служащих для крепления печатной платы к несущим элементам конструкции. Эти отверстия чаще всего бывают гладкими. Однако крепежные отверстия с целью удешевления производства выполняются одновременно с монтажными, поэтому в них присутствует внутренняя металлизация. С конструктивной точки зрения металлизация крепежных отверстий не влияет на качественные параметры печатной платы. В данном случаях эти отверстия служат дополнительным соединением контакта «земля» с элементами несущих конструкций.

3.3 Разработка узла на печатной плате

Разработка узла на печатной плате включает в себя следующие пункты.

1. Компоновку - оптимальное размещение электрорадиоэлементов и других компонентов на печатной плате. Необходимо предусматривать их рациональное взаимное расположение, чтобы обеспечить наиболее простую трассировку, малое взаимное влияние на электрические параметры и взаимодействие, ремонтпригодности, эффективный теплоотвод. [18]

2. Оформление чертежа с соблюдением требований стандартов.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При размещении ЭРЭ на печатной плате необходимо учитывать следующее:

- полупроводниковые приборы и микросхемы не следует располагать близко к элементам, выделяющим большое количество теплоты, а также к источникам сильных магнитных полей;
- должна быть предусмотрена возможность конвекции воздуха в зоне расположения элементов, выделяющих большое количество теплоты;
- должна быть предусмотрена возможность легкого доступа к элементам, которые подбирают при регулировании схемы.

Первый процесс – компоновка – непрерывно связан с трассировкой печатной платы, так как иногда в процессе трассировки конструктор обнаруживает, что компоновку нужно изменить. На выполнение этих двух процессов при разработке сложных плат затрачивается много времени. Поэтому при разработке сложных печатных плат используют автоматизированные методы проектирования.

Для каждого вывода ЭРЭ, устанавливаемого на плате, должно быть предусмотрено отдельное монтажное отверстие или контактная площадка. Контактные площадки, к которым будут припаиваться выводы от планарных корпусов, рекомендуется делать прямоугольными. [19]

Необходимость и способы дополнительного крепления ЭРЭ на печатной плате следует выбирать, исходя из массы, габаритов, конструктивных данных, указанных в технических условиях и государственных стандартах на ЭРЭ и условий эксплуатации аппаратуры. При невозможности использования деталей крепления, указанных в стандартах, допускается конструировать их с учетом особенностей конструкции ЭРЭ и механических нагрузок, воздействующих на печатный узел. Формовку выводов и установку ЭРЭ на печатную плату следует производить таким образом, чтобы маркировка ЭРЭ просматривалась в процессе контроля.

Установку элементов производить по ОСТ4 010.030-81 и чертежу.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Меры защиты от статического электричества по ОСТ 92-1615-74. Группа жесткости I по ОСТ 11.073.062-2001.

Маркировка содержит серийный номер платы и наносится краской МКЭ, белой ОСТ 4ГО.054.205 ОМ2 по инструкции ИОТ-56-90 шрифтом «З» тип А ГОСТ 2.304-81 в месте, удобном для чтения.

3.4 Обеспечение защищенности узлов от коррозии, выбор защитно-декоративных покрытий

Металлические детали прибора в процессе эксплуатации подвергаются коррозии - химическому воздействию окружающей среды, что приводит к нарушению его работоспособности.

Чтобы максимально обеспечить защищенность узлов прибора от коррозии, необходимо знать факторы коррозии, а также выбрать оптимальное покрытие из всех существующих видов защитных покрытий. Основными факторами, влияющими на процесс коррозии металлических деталей блока, являются: повышенная влажность окружающей среды, повышенная температура, наличие в воздухе химических примесей и пыли и т.д. [18]

Необходимо предотвратить проникновение влаги, пыли в зазоры контактных соединений, так как это влечет за собой нежелательные химические и электрохимические разрушения в конструкции прибора.

При длительном хранении РЭА в нерабочем состоянии влажность окружающей среды также вызывает разрушения от коррозии (в особенности изолированных проводов диаметром менее 0,1 мм). Для металлических деталей РЭА характерна атмосферная коррозия, протекающая под тонкой пленкой влаги на поверхности прибора в присутствии кислорода воздуха. Химическая стойкость металлических деталей определяется защитными свойствами продуктов коррозии.

Для сокращения потерь от коррозии используется нанесение защитных покрытий: металлических и неметаллических. Защитные металлические покрытия

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

весьма распространены и дают хорошие результаты. Для защиты от коррозии используют тонкий слой металла, устойчивого в данных условиях. Все металлические покрытия, как правило, пористые. В процессе производства и эксплуатации покрытия могут повреждаться. Поэтому важным является анализ взаимодействия покрытия и основного металла. [20]

Как известно, различают два вида покрытий: катодные и анодные, в зависимости от поляризуемости металла пленки. Покрытие, материал которого имеет более положительный потенциал, чем у основного металла детали, называют катодным. Катодные покрытия защищают основной металл лишь механически. При образовании в слое покрытия даже незначительного механического разрушения (царапины) и проникновении туда влаги начинается контактная коррозия, при которой разрушению подвергается металл детали. Если на деталь нанесено покрытие из металла, имеющего более отрицательный потенциал, чем у основного металла детали, то при воздействии влаги в первую очередь разрушается металл покрытия, а основной металл детали не разрушается. Такое покрытие называется анодным. Анодные покрытия защищают основной металл не только механически, но и электрохимически. Продукты его разрушения заполняют поры, и коррозия замедляется. Поэтому степень пористости анодных покрытий в отличие от катодных играет меньшую роль.

Для деталей, расположенных внутри приборов, анодные покрытия применять опасно. Продукты коррозии, осыпаясь, могут вывести из строя контакты коммутирующих устройств, которые расположены в приборе. В таких случаях вместо металлических защитных пленок применяют оксидные или полимерные.

Неметаллические покрытия осуществляют с помощью лаков, красок, смазок, эмалей и полимеров. Недостатком лакокрасочных покрытий является их хрупкость при старении, а также низкая нагревостойкость. [18] Лакокрасочные покрытия представляют собой пленкообразующие органические вещества, наносимые в один или несколько слоев на защищаемую поверхность. Такие покрытия химически более инертны, чем металлические, а поэтому обладают лучшими

антикоррозионными свойствами, но меньшей механической прочностью по сравнению с металлическими. Основой лакокрасочного покрытия являются органическое пленкообразующее вещество и пигмент (красящее вещество). Все применяемые лаки и краски, в известной степени, проницаемы для воды и кислорода.

Затем детали покрываем слоем эмали ЭП-140 серая ГОСТ 24709-81. Покрытия на основе эмали марки ЭП-140 стойки к длительному действию минеральных масел, смазок, керосина, бензина, моющих средств, к периодическому действию воды. Эмаль представляет собой суспензию пигментов и наполнителей в растворе эпоксидной смолы в смеси органических растворителей с добавлением отвердителя. Эмаль предназначена для окраски предварительно загрунтованных поверхностей из алюминиевых сплавов. Наносится методом пневматического распыления, наливом или кистью. Покрытия механически прочные, эластичные, абразивостойкие, с высокой твердостью. Показатели физико-механических свойств покрытий сохраняются на достаточно высоком уровне при температурах от минус 180 до плюс 200 °С; выдерживают температуру до минус 250 °С. Промышленностью эмаль поставляется в виде двух компонентов: основы эмали и отвердителя. В условиях открытой атмосферы умеренного климата защитные свойства сохраняются в течение трех лет; в условиях неотапливаемых помещений-до десяти лет. [20]

Повышенная влажность помимо коррозионного воздействия на металлические детали конструкции, оказывает негативное влияние на печатные узлы, приводящее к отказам. При увлажнении металлов, используемых в печатном узле, отказы могут произойти из-за коррозии, приводящей к нарушению паяных соединений, обрыву электромонтажных связей, увеличению сопротивления контактных пар. И если не принять защитных мер, то через несколько месяцев хранения во влажной атмосфере незащищенный печатный узел будет поврежден и вскоре после включения его возникнет отказ. Механизм повреждения печатных плат под действием влаги вызван планарностью конструкции, где промежутки

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

между отдельными проводниками заполнены материалом основания. В условиях незначительной влажности и постоянной температуры, предотвращающих адсорбцию влаги на поверхности, и при отсутствии пыли такая поверхность обладает высоким сопротивлением изоляции и малыми токами утечки. При повышенной влажности, перепадах температуры, при наличии пыли и спор плесневых грибов изоляционная поверхность покрывается адсорбированным слоем влаги и загрязнений. Слой характеризуется ионной проводимостью, и уже он, а не исходный диэлектрический материал основания определяет электрическую прочность межэлектродного промежутка, токи утечки, диэлектрические потери. После пайки с флюсом его следы на поверхности печатной платы, самые незначительные, сохранившиеся после промывки в порах основания, растворяются постепенно в адсорбированном слое, увеличивая токи утечки на три-четыре порядка. При включении такого печатного узла под напряжение возникает электрический процесс, приводящий к отказу аппаратуры. [19]

Поэтому печатные узлы необходимо покрывать слоем лака. Используемые для этого лаки должны иметь следующие свойства:

- хорошую адгезию к материалу платы и печатным проводникам;
- малую влагопоглощаемость;
- большое сопротивление изоляции;
- способность быстро высыхать при невысокой плюсовой температуре;
- отсутствие растрескивания в диапазоне рабочих температур.

Поэтому дополнительно печатный узел покрывается слоем лака АК-113 ГОСТ 23833-79УХЛ. Лак АК-113 является газонепроницаемым, твердым, бензостойким, стойким к истиранию.

3.5 Расчет параметров надежности

Надежность является одним из основных требований, предъявляемых к радиоэлектронным приборам, особенно к средствам, используемым в производ-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

ственных процессах. Повышение надежности способствует сокращению затрат в условиях промышленной эксплуатации и увеличению производительности труда благодаря уменьшению времени простоев.

В зависимости от стадии разработки изделиям дают ориентировочную, полную и окончательную оценки надежности. Нормы надежности назначают на этапе составления технического задания и эскизного проектирования. Основным показателем надежности определяется из назначения изделия. [19]

Для разрабатываемого изделия основным показателем надежности является среднее время наработки на отказ, т.к. изделие работает непрерывно в течении длительного времени. Нарботка на отказ для проектируемого изделия должна составлять не менее 10000 часов при вероятности безотказной работы 0,9. Вероятность безотказной работы определяется по формуле [1]:

$$P_c(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{jH} K_H\right), \quad (3.1)$$

где λ_{jH} – интенсивность отказов элементов в лабораторных условиях;

K_H – поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации;

n_i – количество элементов i -го номинала;

N – количество типонаименований элементов в изделии.

Среднее время безотказной работы определяется по формуле:

$$t_{cp} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{jH} K_H}. \quad (3.2)$$

Для определения суммарной интенсивности отказов строится таблица 4.

Результаты расчета зависимости вероятности безотказной работы от времени сведены в таблицу 5.

Итак, суммарная интенсивность отказов:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{jH} K_H = 26,302 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}. \quad (3.3)$$

Среднее время безотказной работы: $t_{cp} = 38017 \text{ ч}$.

Таблица 4 – Определение суммарной интенсивности отказов

Наименование элементов	Кол-во элементов n_i	Интен. отказов $\lambda_i, \text{ч} \cdot 10^{-6}$	$n_i \cdot \lambda_i, \text{ч} \cdot 10^{-6}$	Режим работы элементов		Поправочн. коэфф.	Интенсив. отказов $n_i \lambda_i K_H, \text{ч} \cdot 10^{-6}$
				K_{Hi}	$T, ^\circ\text{C}$		
Микросхемы	4	0,03	0,12	1,00	40	1,00	0,12
Конденсаторы электролит.	4	0,5	2,00	0,80	40	1,80	3,60
Конденсаторы керамические	38	0,20	7,60	0,50	40	0,75	5,70
Шнур	1	0,05	0,05	0,50	40	1,00	0,05
Оптрон	1	0,54	0,54	1,0	40	1,20	0,65
Резисторы керамические	18	0,16	2,88	0,80	40	0,82	2,36
Резисторы подстроечные	6	0,50	3,00	0,50	40	0,82	2,46
Индикаторы	1	0,55	0,55	0,50	40	1,00	0,55
Диоды кремниевые	4	0,45	1,80	0,50	40	1,05	1,90
Трансформатор	6	0,50	3,00	0,80	40	1,40	4,20
Аттенюатор	2	0,50	1,00	1,00	40	1,00	1,00
Соединения пайкой	253	0,01	2,53	1,00	40	1,00	2,53
Дроссели	1	0,20	0,20	0,50	40	1,00	0,20
Варикапы	1	0,50	0,50	1,00	40	1,00	0,50
Диодные мосты	1	0,30	0,30	0,8	40	0,80	0,48
Итого:							26,3025

Таблица 5 – Зависимость безотказной работы прибора от времени

Время, ч.	1	10	10^2	10^3	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5
Вероятность безотказной работы $P_c(t)$	1,0	0,9999	0,9991	0,9908	0,9115	0,8309	0,6293	0,3960

Зависимость безотказной работы прибора от времени представлена на рисунке 18.

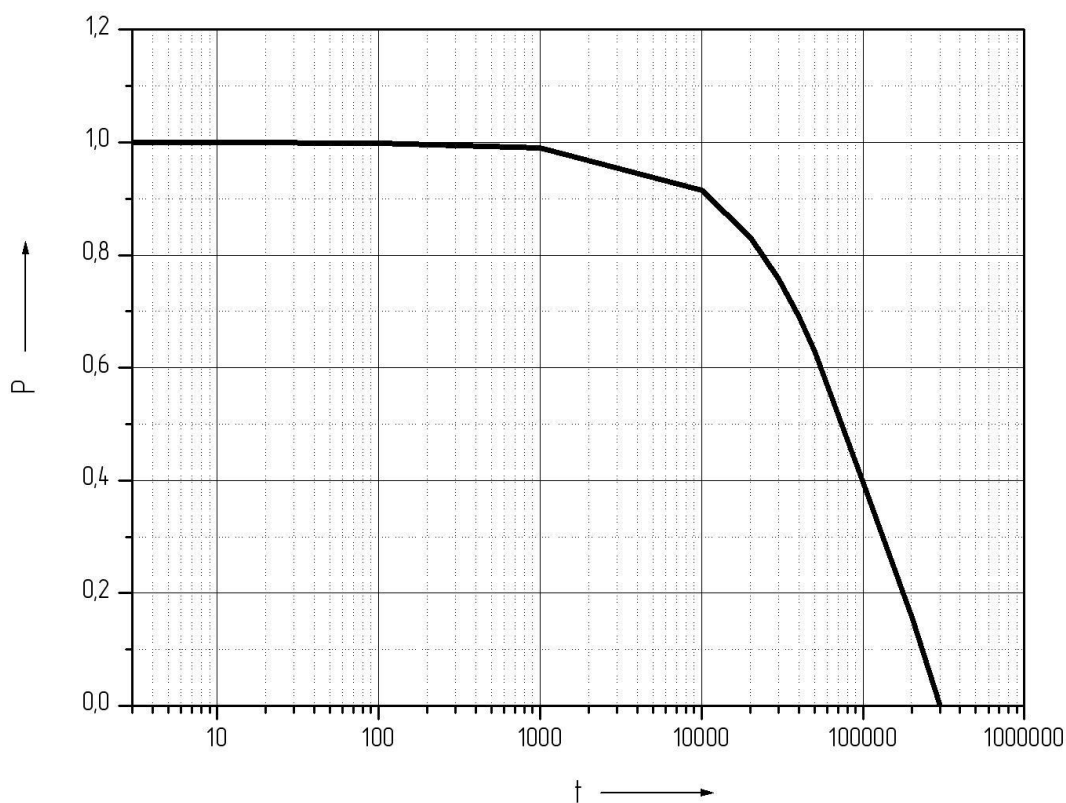


Рисунок 18 – Зависимость безотказной работы прибора

Средняя наработка на отказ получилась больше заданной техническим заданием на разработку, следовательно, разработанное устройство достаточно надежно.

4 Технологический раздел

4.1 Расчет и оценка технологичности печатного узла

Комплексная оценка технологичности изделий основана на определении численных значений конструкторских, технологических и экономических показателей, характеризующих возможность производства изделий с применением средств механизации и автоматизации, т.е. с оптимальными затратами труда, средств, материалов и времени при технологической подготовке производства и изготовлении изделия. [20]

Определение конструкторских показателей

1. Коэффициент использования микросхем и микросборок:

$$K_{исп.мс} = \frac{H_{мс}}{H_{эрэ}} = \frac{4}{105} = 0,03, \quad (4.1)$$

где $H_{мс}$ – количество микросхем и микросборок в изделии, шт.; $H_{эрэ}$ – общее количество ЭРЭ в изделии, шт.

2. Коэффициент повторяемости микросхем и микросборок:

$$K_{пов.мс} = 1 - \frac{H_{т.мс}}{H_{мс}} = 1 - \frac{4}{4} = 0, \quad (4.2)$$

где $H_{т.мс}$ – количество типоразмеров корпусов микросхем и микросборок в изделии, шт.

3. Коэффициент сложности печатных плат:

$$K_{сл.пн} = 1 - \frac{H_{мпн}}{H_{пн}} = 1 - \frac{4}{4} = 0, \quad (4.3)$$

где $H_{мпн}$ – количество многослойных печатных плат в изделии, шт.; $H_{пн}$ – общее количество печатных плат всех видов в изделии, шт.

4. Коэффициент стандартизации конструкции изделия (коэффициент применяемости):

$$K_{np} = \frac{n - n_o}{n} \approx 1,0, \quad (4.4)$$

где n – общее количество типоразмеров составных частей изделия; n_o – количество типоразмеров оригинальных составных частей.

5. Коэффициент унификации конструкции изделий (коэффициент повторяемости):

$$K_n = \frac{N - n}{N} = 0, \quad (4.5)$$

где N – общее количество составных частей изделия, шт.

Определение технологических показателей

1. Коэффициент автоматизации и механизации установки ЭРЭ на печатных платах:

$$K_{a.m.y} = \frac{H_{му.эрэ}}{H_{эрэ}} = \frac{69}{105} = 0,657, \quad (4.6)$$

где $H_{му.эрэ}$ – количество навесных ЭРЭ в узле, которые могут устанавливаться механизированным и автоматизированным методами, шт.

2. Коэффициент автоматизации и механизации монтажа:

$$K_{a.m} = \frac{H_{a.m}}{H_m} = 0,84, \quad (4.7)$$

где $H_{a.m}$ – количество монтажных соединений, которые могут осуществляться механизированным или автоматизированным способом; H_m – общее количество монтажных соединений.

3. Коэффициент выполнения типовых технологических процессов:

$$K_{m.n} = \frac{D_{m.n} + E_{m.n}}{D + E} = 1, \quad (4.8)$$

где $D_{т.п}$ и $E_{т.п}$ – количество соответственно деталей и сборочных единиц в шт., технология изготовления которых охватывается типовыми или групповыми технологическими процессами;

Д и Е – общее количество соответственно деталей и сборочных единиц в изделии, шт.

4.2 Проектирование технологического процесса изделия

Нормы расхода материалов взяты из “Нормы расхода материалов на электромонтажные работы”, существующие на предприятии-изготовителе, и приведены в таблице 6. [20]

Основой составления технологического процесса сборки является сборочный чертеж ЮУрГУ-Д.11.05.01.2017.306.01 СБ «Широкополосный усилитель».

Таблица 6 – Нормы расхода материалов

Расходуемый материал	Нормы расхода материала
Паста паяльная Radiel С62ААК36Р	0,01 гр на один компонент
Припой ПОС-61	0,1 гр на один компонент
Флюс, пайка	0,06 гр на один компонент
Спирто-бензиновая смесь в % использованного припоя	70
Лак АК-113 на 1 мм ² площади	0,006 гр

Разработка состава технологического процесса

Для сборки усилителя необходимы следующие операции:

- изготовление радиатора;
- покрытие поверхности радиатора;
- изготовление дна;
- изготовление крышки;
- шелкография крышки;
- изготовление перегородки;
- выдача SMD комплектующих;
- установка SMD элементов плюс проверка;
- промывка печатной платы;
- оптический контроль;

- визуальный контроль;
- установка навесных комплектующих;
- автоматическая пайка;
- промывка платы;
- изготовление левой стенки;
- изготовление правой стенки;
- сборка обечайки;
- монтаж платы в обечайку;
- промывка изделия;
- установка чувствительных элементов;
- промывка изделия;
- настройка СВЧ параметров;
- финальная сборка;
- прогон под высокой температурой;
- выходной контроль;
- маркирование.

4.3 Климатические испытания

После разработки прибора необходимо провести испытания опытного образца, для выявления недостатков схемотехнических решений, конструкции и технологии изготовления, которые не позволяют устройству выполнить заданные функции в условиях эксплуатации. [21]

В данном случае, в соответствии с ГОСТ В 20.57.306-76, проводим температурные испытания, испытания на воздействие атмосферных конденсированных осадков: инея и росы, поскольку эти осадки могут образоваться в процессе длительного хранения на складе.

Испытания на воздействия температуры окружающей среды проводятся под совмещенной нагрузкой (термической и электрической) в камере клима-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

тической КТВ-60, постепенно повышая температуру от 0 до 55 °С в течении 2 ч, при этом снимают показания прибора.

Испытания на воздействие атмосферных конденсированных осадков (иней и росы) проводятся в камере климатической GDW-100. В выключенном состоянии прибор помещают в камеру, понижают температуру до – 20 °С и выдерживают прибор в течение 2 ч. Следующим шагом извлекают из камеры прибор в нормальные климатические условия и включают, при этом через каждые 30...60 мин. снимают показания (измеряют параметры в течение 3 ч.). Затем прибор осматривают и проверяют на соответствующие требованиям, установленным в ПИ и ТУ для данного вида испытаний.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

5 Безопасность жизнедеятельности

В дипломном проекте разрабатывается и исследуется электронное устройство, поэтому в данном разделе необходимо рассмотреть вопросы, связанные с охраной труда как на этапе производства, так и при проведении экспериментов.

5.1 Анализ условий эксплуатации проектируемой системы

Проектируемый широкополосный усилитель является стационарным устройством, которое устанавливается в подъезде жилого дома, в специализированных шкафах:

- температура окружающего воздуха от 0 до плюс 40 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха до 80% при температуре не выше 35 °С.

Устройство имеет питание 220 В. Так как прибор устанавливается в подъезде, который имеет проводящий бетонный пол, значит помещение относится к категории повышенной опасности поражения электрическим током.

Профилактические методы предусматривают соблюдение правил и норм противопожарной безопасности. Устройство не содержит частей, которые являются источниками возникновения искры.

5.2 Соответствие проектируемой системы требованиям безопасности

Проектируемая система как электротехническое устройство соответствует требованиям ГОСТ 12.2.007 – 75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. [22]

По способу защиты человека от поражения электрическим током усилитель соответствует классу 1 по ГОСТ 12.2.007.0-75, то есть является изделием, имеющие рабочую изоляцию и элемент для заземления. Для обеспечения защиты от поражений электрическим током, на корпусе присутствуют контакты для подключения шины зануления. Степень защиты по ГОСТ 14254 – 96 “Степень

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)» соответствует требованию: IP20. [23]

Электрическая схема изделия исключает возможность его самопроизвольного включения и отключения. Конструкция изделия исключает возможность неправильного присоединения сочленяемых токоведущих частей и обеспечивает удобство и безопасность при выполнении механосборочных работ и проведения обслуживания за счет применения маркировки разъемов.

Корпус устройства соединен с основными частями системы в единую конструкцию, закрывает опасную зону и снимается только при помощи инструмента. Ввод проводов в корпус осуществляется через изоляционные детали, которые имеют маркировку и исключают замыкание проводников на корпус, и между собой. Система соответствует требованиям эргономики и эстетики, и обеспечивает удобство и безопасность работы во всех режимах. Для обеспечения защиты от поражений электрическим током, на корпусе присутствуют контакты для подключения шины зануления. На корпусе прибора существует индикатор в виде диода, который говорит о состоянии работоспособности устройства. [22]

Следовательно, электротехническое устройство соответствует общим требованиям безопасности при эксплуатации электротехнических устройств.

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В процессе изготовления спроектированной системы выполняются такие операции как сборка печатных плат (пайка, нанесение защитных покрытий) и их испытание. При проведении этих работ возникают опасные и вредные производственные факторы. [25]

Классификация опасных и вредных факторов

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2014 «Классификация опасных и вредных производственных факторов», исходя из характера технологического процесса можно выделить следующие группы ОВПФ:

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

– **физические:**

- 1) повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- 2) повышенная или пониженная влажность воздуха;
- 3) недостаточная освещенность рабочей зоны;
- 4) повышенный уровень шума;
- 5) опасный уровень напряжения;
- 6) статическое электричество.

– **психофизиологические:**

- 1) ограниченная подвижность во время работы;
- 2) неправильная рабочая поза.

– **химические:**

- 1) выделение паров следующих веществ: олова, свинца, канифоли, клея, растворителей.

5.3.1 Характеристика воздействия выявленных ОВПФ на организм человека и окружающую среду

Рассмотрим характер воздействия и возможные пути проникновения в организм человека каждого из выявленных ОВПФ.

1. Микроклимат. Характеризуется температурой воздуха, относительной влажностью и скоростью движения воздуха. Повышенная температура воздуха рабочей зоны неблагоприятно действует на человека (быстрее наступает утомление, усталость, уменьшается производительность труда). При повышенной температуре возможен тепловой удар (при $t = 40 \dots 41$ °С). Пониженная влажность приводит к сухости в дыхательных путях и затрудняет дыхание. [24]

Воздух влажностью 15 ... 20 % высушивает изоляцию проводов, через 3...4 года изоляция проводов растрескивается от пересыхания.

Скорость движения воздуха в среднем 0,15 м/с. При температуре воздуха до 36 °С поток ощущается как прохладный, свыше 37 °С - как теплый-горячий. Движение воздуха особенно опасно при воздействии по ночам и при сквозняках.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Недостаточная скорость движения воздуха в местах выполнения технологических операций (пайки) может привести к отравлению организма человека парами и аэрозолями вредных веществ.

2. Подвижные части производственного оборудования могут стать причиной травмирования, как во время настройки и регулирования оборудования, так и во время непосредственной эксплуатации.

3. Электрический ток оказывает на организм термическое, биологическое, механическое, электролитическое воздействие. Это может привести к двум видам поражений: местным (электротравмам) и общим (электроударам). Электрический ток не может быть обнаружен органами чувств человека, что значительно усугубляет опасность поражения.

4. Статическое электричество, накопленное на теле человека способно не только испугать его, но и воспламенить паро-воздушные смеси, пыли и т.д.

5. Постоянное магнитное поле. На рабочих местах персонала, обслуживающего линии передачи постоянного тока, электролитные ванны, при производстве и эксплуатации постоянных магнитов и электромагнитов, МГД-генераторов, магнитных сепараторов, при использовании магнитных материалов в приборостроении возможен повышенный уровень постоянного магнитного поля. Оказывая биологическое действие на организм человека, может вызвать заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем объекта. [24]

6. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны парами и аэрозолями вредных веществ может возникнуть в случае неисправности вентиляции. Загазованность воздуха характерна при выполнении операций пайки - парами свинца, кадмия, олеиновой кислоты. Вследствие воздействия этого ОВПФ может произойти отравление.

7. Повышенная температура монтажного инструмента может стать причиной ожога при прикосновении к ним человека. Ожог можно получить в случае попадания припоя, горячего флюса и капель расплавленного металла на незащищенные части тела при выполнении операций пайки или сварки. При сопри-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

косновении перегретых элементов и изделий с горючими веществами и материалами могут возникнуть возгорания и пожары.

8. Освещение. Слабое освещение при любых видах работ приводит к напряжению глаз, что при длительном воздействии может привести к ухудшению зрения.

9. Одной из операций в процессе сборки, настройки и регулировки электронных узлов является операция пайки посредством припоев. Припой содержит в своем составе свинец, поэтому процесс пайки сопровождается загрязнением среды, рабочих поверхностей, одежды и кожи рук. Это может привести к свинцовому отравлению организма и вызвать изменение в нервной системе, кровеносных сосудах. В процессе пайки применяются флюсы. Они могут оказывать токсическое воздействие на организм человека, что проявляется раздражением кожи. Вредные вещества [24], выделяющиеся при пайке, перечислены в таблице 7.

Таблица 7 – Вредные вещества

Вещество	Класс опасности	Агрегатное состояние
Свинец	Чрезвычайно опасный	Аэрозоль
Оксид углерода	Мало опасный	Газ
Спирт гидролизный	Мало опасный	Пар

Факторами производственной среды в процессе труда являются:

- санитарно-гигиеническая обстановка, определяющая внешнюю среду в рабочей зоне, как результат воздействия применяемого оборудования, технологических процессов;
- психофизические элементы, которые обусловлены самим процессом труда: рабочая поза, физическая нагрузка, нервно-психологическое напряжение;
- эстетические элементы: оформление производственного помещения, оборудования, рабочего места, рабочего инструмента;
- социально-психологические элементы, составляющие характеристику психологического климата.

5. 3.2 Сравнение фактических значений параметров с допустимыми

Чтобы обеспечить безопасность и безвредные условия труда, необходимо пронормировать каждый из ОВПФ и принять меры по соблюдению этих норм.

1. Микроклимат. Нормированные параметры микроклимата устанавливаются по СанПиН 2.2.4.3359-16 “Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы”. [26] Работы, связанные с наладкой и регулировкой узла на печатной плате – это работа сидя, сопровождающаяся незначительными движениями, т.е. относятся к категории работ 1а.и предусматривает для этой категории следующие параметры микроклимата в зависимости от периода года, указанные в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры микроклимата

Период года	Категория	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая на постоянных рабочих местах	Оптимальная	Допустимая на постоянных рабочих местах, не более	Оптимальная	Допустимая на постоянных рабочих местах
Холодный	1а	22...24	21...25	40...60	75	0,1	<0,1
	1б	21...23	20...24	40...60	75	0,1	<0,2
Теплый	1а	23...25	22...28	40...60	59	0,1	0,1...0,2
	1б	22...24	21...28	40...60	60	0,2	0,1...0,3

Примечание: легкие физические работы разделяются на категорию 1а – энергозатраты до 120 ккал/ч (139 Вт) и категорию 1б – энергозатраты 121...150 ккал/ч (140...174 Вт).

Для поддержания заданной температуры и влажности воздуха возможно применение бытового или промышленного кондиционера.

2. Электрический ток. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов устанавливаются по ГОСТ 12.1.038 – 82 (см. таблицу 9.).

Таблица 9 – Допустимые уровни напряжений и токов

Род и частота тока	Напряжение прикосновения, В	Ток, мА	Время, мин/сут
Переменный (50 Гц)	2	0,3	10
Постоянный	8	1,0	10

Рассмотрим технические способы и средства защиты от поражения электрическим током. К ним относятся: изоляция токоведущих частей с устройством непрерывного контроля, применение малых напряжений, сигнализация и знаки опасности, защитное заземление, ограждения, электрозащитные средства и т.д.

Для обеспечения нормальной работы электроустановок и защиты от поражения электрическим током применяется рабочая изоляция – электрическая изоляция токоведущих частей. Для уменьшения опасности поражения электрическим током применяют малые напряжения для питания электрифицированного инструмента, переносных светильников и местного освещения. [25] Предполагаются следующие организационные и технические мероприятия по безопасной эксплуатации электроустановок. Пригодность персонала определяется при приеме его на работу и периодическим медицинским освидетельствованием. К работам допускаются лица достигшие 18-летнего возраста, прошедшие инструктаж и обучение безопасным методам труда.

Для трехфазной четырехпроводной промышленной сети с заземленной нейтралью сопротивление заземления нейтрали источника должно быть не более 10 Ом.

Для питания паяльников предусмотрено пониженное напряжение. Понижающий трансформатор защищен от пробоя защитной обмоткой, намотанной между высоковольтной и низковольтной, которая имеет зануление. Токоведущие

части рубильника, и понижающий трансформатор закрыты металлическими кожухами, которые занулены. [26]

Контроль зануления заключается во внешнем осмотре и измерении сопротивления петли "фаза-нуль". При внешнем осмотре проверяется состояние контактов присоединения к нулевому проводу, целостность и непрерывность нулевого провода.

Изоляция проводов характеризуется ее сопротивлением току утечки. Сопротивление изоляции в электроустановках с напряжением до 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм.

3. Электростатическое поле. Допустимые значения напряженности электростатического поля на рабочих местах согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Допустимые значения напряженности

Напряженность электростатического поля, кВ/м	Допустимое время пребывания в поле, ч
>60	без применения защитных средств работа не допускается
60	1
20...60	$t_{доп} = \left(\frac{60}{E_{факт}} \right)^2$
20	не регламентируется

В соответствии с «Правилами защиты от статического электричества» оборудование, коммуникации и токоприемники на участках возможного образования статического электричества должны быть заземлены, относительная влажность воздуха в рабочих помещениях должна быть не ниже 50%.

Рассмотрим общие требования, обеспечивающие защиту от статического электричества. [24]

1. Во входном каскаде РЭА рекомендуется предусматривать устройства, ограничивающие напряжение и ток.

2. Все работы, связанные с изготовлением, испытанием и контролем изделий, должны проводиться с антистатическими браслетами, одетыми на запястье, подключаемыми посредством гибкого многопроволочного, сечением (0,5...1) мм², изолированного проводника к заземленной шине, через резистор с сопротивлением 1 МОм±20%. Рекомендуется сопротивление распределять между двумя последовательными резисторами, один из которых может быть вмонтирован в браслет. Сочленение проводника с браслетом должно быть разъемным и исключающим возможность случайного разъединения.

3. Для снятия электростатических зарядов с готовых изделий после межцеховой транспортировки перед подключением необходимо: для изделий, имеющих корпус, обеспечить его заземление на шину заземления или контакт заземления, при этом время контактирования должно быть не менее 3 секунд; для изделий, не имеющих корпуса, обеспечить снятие зарядов путем установки изделия на металлический заземленный лист на время не менее 3 секунд.

4. Перед начальным подключением измерительного прибора к сигнальным цепям одним из выводов прибора следует коснуться заземленной клеммы, если прибор заземлен; если не заземлен - двумя выводами.

5. Удельное поверхностное сопротивление материалов покрытий столов и полов не должно превышать 10^{12} Ом; спецодежда из материала, имеющего удельное поверхностное сопротивление более 10^7 Ом должна подвергаться чистке с антистатической обработкой. [26]

4. Нормирование вредных веществ осуществляется в соответствии с ГН 2.2.5.1313-03. Физико-химические и токсические характеристики приведены в таблице 11.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

Таблица 11 – Физико-химические и токсические характеристики

Вредные вещества	Величина ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/М	Температурный предел, t °С		Класс токсической опасности
		Воспламенение паров	Самовоспламенение	
Спирт гидролизный (этанол)	2000/1000	110	440	4
Свинец и его органические соединения	- /0,05	-	-	1
Оксид углерода	20/-	-	-	4

5. Освещение. Нормирование естественного и искусственного освещения осуществляется по СанПиН 2.2.4.3359-16 в зависимости от характеристики зрительной работы и объекта различения. [25] Настрочные и регулировочные работы с объектом различения 0,5 ... 1,0 мм относятся к работам средней точности, IV разряду зрительных работ. Нормированные значения освещенности при естественном, искусственном и совмещенном освещении приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Нормированные значения освещенности

Характеристика работы	Разряд зрительных работ	Наименьший размер объекта, мм	Контраст объекта с фоном	Искусственное освещение Освещенность, лк		Естественное освещение КЕО, %		Коэффициент пульсации, Кл, %
				при комбинированном освещении	при общем освещении	при верхнем и боковом	при боковом	
Средней точности	III	0,5...1,0	малый, средний	500	200	4	1,5	15

5.3.3 Требования техники безопасности при пайке

В помещениях, где производится пайка припоем, содержащим свинец, во избежание попадания паров свинца в организм не разрешается хранить личные вещи и принимать пищу. Также запрещается стирать рабочую одежду дома. Рабочее место пайки оборудуется местной вытяжной вентиляцией, обеспечивающей концентрацию паров свинца в рабочей зоне не больше предельно-допустимой – $0,05 \text{ мг/м}^3$. В зоне пайки скорость направленного потока, создаваемого местными вытяжными системами, должна на $0,2 \text{ м/с}$ превышать подвижность воздуха вне зоны пайки, но быть не менее $0,5 \text{ м/с}$. На участках, где допускается естественное проветривание, скорость воздуха в зоне пайки, создаваемая местными воздухоприемниками должна быть не менее $0,6 \text{ м/с}$.

Для предотвращения ожогов открытых участков кожи, работающих расплавленным свинцом, должны быть выданы салфетки для удаления лишнего припоя с жала паяльника. [24]

В качестве вспомогательного материала при пайке применяют флюс канифольно-спиртовой. Канифоль раздражает кожу, может вызвать сыпь. Для предупреждения профессиональных заболеваний необходимо после окончания работы ополаскивать кожу рук однопроцентным раствором уксусной кислоты.

5.3.4 Техника безопасности при изготовлении печатной платы

При резке печатной платы основным производственным фактором являются механические травмы. При работе на гильотинных ножницах наиболее опасной частью являются ножи, которые при неправильной подаче материала или его заклинивания могут нанести серьезные ранения. Поэтому, для предотвращения травматизма, необходимо применять балансирные ножницы с ограничительной линейкой, предупреждающей попадания руки рабочего под нож. [24]

Учитывая то, что в процессах промывки, химической обработки, химического меднения печатной платы и травления меди применяются пожароопасные,

токсичные и вредные для здоровья вещества, все виды работ должны проводиться в вытяжных шкафах или других укрытиях типа шкафа с эффективной местной вытяжкой. При выполнении вышеперечисленных работ необходимо пользоваться спецодеждой, а для защиты глаз необходимо применять очки. Кожу рук необходимо защищать с помощью латексных или резиновых перчаток.

К работе с травителями, которые являются токсичными веществами, допускаются только лица, обученные безопасным приемам работы и прошедшие инструктаж по работе с вредными и ядовитыми веществами. [24]

5.3.5 Эргономика и производственная эстетика

Планировка рабочего места должна удовлетворять требованиям удобства выполнения работ и экономии энергии и времени оператора, рациональному использованию производственных площадей, соблюдению правил охраны труда и соответствовать требованиям, предъявляемым ГОСТ 12.2.032-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя”. [27] Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при физической работе малой тяжести, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны.

Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и методических указаний по технике безопасности труда.

Наиболее удобным считается сиденье, имеющее выемку, соответствующую форме бедер и наклон назад; спинка должна быть изогнутой формы, облегчающей поясницу, длина спинки около 0,3 м, ширина – 0,11 м, радиус изгиба 0,3 ... 0,36 м. При планировании рабочего места необходимо учитывать зоны достигаемости рук оператора. Эти зоны, установленные на основании антропометрических данных женщин и мужчин, дают возможность рационально разместить

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

инструменты, приборы и т.д. Большое значение имеет рациональное размещение пульта управления, средств сигнализации и контрольно-измерительных приборов. Кнопки, выключатели, всевозможные ручки управления должны обеспечивать минимальные затраты мускульной силы и нервной энергии и отвечать эстетическим требованиям. При работе двумя руками органы управления размещают с таким расчетом, чтобы не было перекрещивания рук. [27]

Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости $\pm 15^{\circ}$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^{\circ}$ от сагиттальной плоскости. Часто используемые средства отображения информации, требующие менее точного и быстрого считывания показаний, допускается располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 30^{\circ}$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 30^{\circ}$ от сагиттальной плоскости (редко используемые $\pm 60^{\circ}$).

5.3.6 Пожарная безопасность

Радиомонтажные участки обладают повышенной пожароопасностью. Пожарная безопасность соответствует нормативному документу “Правила противопожарного режима в Российской Федерации”.

Во время выполнения операций настройки и регулировки узлов на печатной плате могут иметь место пожаро и взрывоопасные производственные факторы. [24]

Пожарная опасность электрических установок, различных приборов, автоматов, РЭА, аппаратуры управления и других электроприемников связана с применением горючих конструкционных материалов (покровных эмалей и лаков, масел и др.). Источниками воспламенения могут являться: электрические искры, дуговые электроразряды, короткое замыкание, перегрузки проводов, перегретые опорные поверхности, неисправности аппаратуры, оборудования, брызги расплавленного металла при сварке деталей. Причиной возникновения загорания в

радиотехнических схемах и устройствах могут быть небрежное исполнение и нарушение правил монтажа, так, например, наличие оголенных концов токоне-
сущих проводов при их случайном движении может привести к короткому за-
мыканию. В приборах и оборудовании имеются изоляционные материалы, кото-
рые являются горючими. В процессе эксплуатации ухудшаются диэлектрические
свойства изоляции. Это приводит к увеличению вероятности появления пробоев.

Печатные платы, выполненные из стеклотекстолита, гетинакса, составляют
основную массу горючего материала в приборах. Практика показывает, что
наиболее пожароопасным местом являются кабельные линии, служащие для по-
дачи электропитания и передачи электрических сигналов. [24]

Категория В – пожароопасная: в помещении находятся горючие вещества
и материалы, способные гореть, но не создавать взрывоопасные среды.

Помещение, в котором располагаются участники настройки, относится к
пожарной зоне класса В-Па. Здесь применяются электрические машины закры-
того исполнения, аппаратура управления выполнена в пылезащищенном вариан-
те. [24]

Опасные состояния возникают только в результате аварий - неисправности
проводки, электроприборов.

Для предупреждения пожара должны проводиться следующие мероприя-
тия:

- организационные (обучение рабочих пожарной безопасности, инструк-
тажи);
- эксплуатационные (правильная эксплуатация и обслуживание оборудо-
вания);
- технические (соблюдение пожарных правил и норм при устройстве
отопления, вентиляции, оборудования);
- режимные (запрещение курения на рабочих местах, производственных
участках).

Устранение возможных причин пожара проводится в разных направлениях.

1. Предупреждение коротких замыканий осуществлено правильным выбором, монтажом и эксплуатацией электросетей и приборов. Конструкция, вид исполнение, способ установки и класс изоляции проводов должен соответствовать их номинальным параметрам.

2. Защита сетей. Применяются быстродействующие реле, плавкие предохранители.

3. Сигнализация. В помещении находится ценное электронное оборудование (измерительные приборы, ЭВМ), поэтому необходима эффективная система сигнализации. В качестве датчика применяется извещатель ДИП-1, реагирующий на появление дыма и повышение температуры. Зона действия извещателя - 150 м, поэтому в данном помещении с площадью 40 м² достаточно одного извещателя. Пульт пожарной сигнализации ППС-1 находится в помещении пожарной охраны.

4. Огнетушители и системы пожароподавления. Так как объем производственного помещения небольшой, а рабочие места находятся под напряжением, то применяются ручные углекислотные огнетушители ОУ-5. На предприятии организована централизованная сеть пожаротушения. Пожарный гидрант находится в коридоре в метре от входа на производственный участок.

5. Организационные мероприятия: обучение рабочих и служащих противопожарным правилам, проведение лекций, инструктажа и т.п.

Во избежание пожара электрические паяльники должны обеспечиваться специальными термостойкими диэлектрическими подставками. Обжигание концов монтажных проводов должно производиться в несгораемом вытяжном шкафу. [24]

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

6 Организационно - экономический раздел

Темой данной дипломной работы является “Широкополосный усилитель для систем кабельного телевидения”.

В организационно-экономическом разделе проведено планирование научно-исследовательских работ методом сетевого планирования, определены затраты на опытно-конструкторские работы, проведен расчет себестоимости и оптовой цены прибора, а также определен экономический эффект разработки. [27]

6.1 Сетевое планирование

Метод сетевого планирования применяется для оптимизации планирования и управления сложными разветвлёнными комплексами работ. При применении данного метода достигается:

- координация работ, выполняемых различными исполнителями;
- установление между исполнителями необходимой связи;
- выявление решающих направлений и работ;
- целесообразное и планомерное сокращение сроков.

6.1.1 Построение сетевого графика

Ожидаемая продолжительность работы t_{ij} сетевого графика рассчитана по двухоценочной методике, исходя из минимальной $t_{ij\text{мин}}$ и максимальной $t_{ij\text{макс}}$ оценок их продолжительности. [27]

Ожидаемая продолжительность каждой работы рассчитана по формуле:

$$t_{ij \text{ож}} = 0,6 \cdot t_{ij \text{мин}} + 0,4 \cdot t_{ij \text{макс}}, \quad (6.1)$$

где $t_{\text{мин}}$ и $t_{\text{макс}}$ - минимальная и максимальная продолжительности выполнения работы соответственно.

Перечень всех работ приведены в таблице 13.

Перечень и параметры работ сетевого графика приведены в таблице 14.

Среднеквадратическое отклонение δ_{ij} продолжительности в двухоценочной методике рассчитывается по формуле:

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$\delta_{ij} = 0,2 \cdot (t_{ij \text{ макс}} - t_{ij}) . \quad (6.2)$$

Дисперсия определяется по формуле:

$$D_{ij} = 0,04 \cdot (t_{ij \text{ макс}} - t_{ij \text{ мин}})^2 . \quad (6.3)$$

Результаты расчётов занесены в Таблицу 14.

Таблица 13 – Перечень всех работ

Код работы	Наименование
0,1	Получение и анализ технического задания
1,2	Составление сетевого графика
1,3	Сбор и систематизация литературы
1,4	Подбор приборов-аналогов
2,5	Сбор и систематизация технической документации
3,5	Изучение литературы
4,5	Изучение приборов-аналогов
5,6	Разработка структурной схемы прибора
6,7	Согласование с заказчиком
7,8	Сбор и систематизация литературы по БЖД
7,9	Разработка принципиальной схемы прибора
7,10	Изучение технической документации
8,9	Изучение литературы по БЖД
9,10	Разработка конструкции прибора
9,11	Изучение и подготовка базы данных САПР P-CAD
10,12	Разработка чертежей деталей
11,12	Оформление принципиальной схемы
12,13	Разработка топологии печатной платы
13,14	Разработка чертежей печатной платы
14,15	Расчет температурных параметров

Продолжение таблицы 13

Код работы	Наименование
14,16	Разработка маршрута сборки
14,17	Расчет параметров надежности
15,16	Разработка сборочного чертежа прибора
16,17	Изготовление макета прибора
17,18	Испытания прибора
18,19	Запись экспериментальных данных
18,21	Оформление графической документации
19,20	Расчет экономических показателей
19,21	Оформление пояснительной записки
20,21	Согласование с заказчиком
21,22	Доработка проекта
22,23	Сдача заказчику

Таблица 14 – Перечень и параметры работ сетевого графика

Код	Наименование	Продолжительность			Исполнители			СКО дн	σ^2 дн ²
		min	max	$t_{\text{ожид}}$	Рук -ль	Инж -р	Тех- к		
0,1	1	1	3	2	1	1	-	0,4	0,16
1,2	2	2	6	4	-	1	-	0,8	0,64
1,3	3	1	3	2	-	1	-	0,4	0,16
1,4	4	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
2,5	5	1	3	2	-	1	-	0,4	0,16
3,5	6	2	6	4	-	-	1	0,8	0,64
4,5	7	2	6	4	-	1	-	0,8	0,64
5,6	8	1	3	2	1	-	-	0,4	0,16
6,7	9	1	3	2	1	-	-	0,4	0,16
7,8	10	1	3	2	-	-	1	0,4	0,16
7,9	11	2	6	4	1	1	-	0,8	0,64
7,10	12	2	6	4	-	1	-	0,8	0,64
8,9	13	2	4	3	-	-	1	0,4	0,16
9,10	14	2	6	4	1	1	-	0,8	0,64
9,11	15	5	9	7	-	1	-	0,8	0,64
10,12	16	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16

Продолжение таблицы 14

Код	Наименование	Продолжительность			Исполнители			СКО дн	σ^2 дн ²
		min	max	$t_{\text{ожид}}$	Рук-ль	Инж-р	Тех-к		
11,12	17	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
12,13	18	1	3	2	-	1	-	0,4	0,16
13,14	19	1	3	2	-	1	-	0,4	0,16
14,15	20	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
14,16	21	2	6	4	-	1	-	0,8	0,64
14,17	22	1	3	2	-	1	-	0,4	0,16
15,16	23	2	4	3	1	1	-	0,4	0,16
16,17	24	2	4	3	-	1	1	0,4	0,16
17,18	25	1	3	2	-	1	-	0,4	0,16
18,19	26	1	3	2	-	-	1	0,4	0,16
18,21	27	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
19,20	28	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
19,21	29	3	7	5	-	-	1	0,8	0,64
20,21	30	2	4	3	1	1	-	0,4	0,16
21,22	31	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
22,23	32	4	6	5	1	1	-	0,4	0,16

6.1.2 Расчёт параметров событий сетевого графика

Ранний срок T_{pj} свершения события j рассчитан по формуле [27]:

$$T_{pj} = \max \{ T_{pi} + t_{\text{ожид } ij} \}, j \in K, i \in H(j), \quad (6.4)$$

где: $H(j)$ - множество начальных событий тех работ, которые имеют своим конечным событием одно и тоже событие j ; K - множество конечных событий сетевого графика, которое включает множество событий сетевого графика, кроме исходного.

Поздний срок наступления события рассчитан по формуле:

$$T_{pi} = \max \{ T_{pj} - t_{\text{ожид } ij} \}, i \in H, j \in K(i), \quad (6.5)$$

где: $K(i)$ – множество конечных событий тех работ, которые имеют своим начальным событием одно и тоже событие i ; H - множество всех начальных событий сетевого графика, которое включает все события сетевого графика, кроме завершающего.

Резерв времени события вычисляется по формуле:

$$R = T_{pi} - T_{pi}. \quad (6.6)$$

Результаты расчётов приведены в табл. 15.

Таблица 15 – Параметры событий сетевого графика

Номер события	Сроки свершения, дн		Резерв времени, дн	Номер события	Сроки свершения, дн		Резерв времени, дн
	ранний	поздний			ранний	поздний	
0	0	0	0	13	30	30	0
1	2	2	0	14	32	32	0
2	6	8	2	15	35	35	0
3	4	5	1	16	38	38	0
4	5	5	0	17	41	41	0
5	9	9	0	18	43	43	0
6	11	11	0	19	45	45	0
7	13	13	0	20	48	48	0
8	15	15	0	21	51	51	0
9	18	18	0	22	54	54	0
10	17	25	8	23	59	59	0
11	25	25	0				
12	28	28	0				

6.1.3 Расчёт параметров работ сетевого графика

Важнейшими параметрами любой сетевой модели являются ранние и поздние сроки начала и окончания его работ, по которым определяем резервы времени: полный, частные 1-го и 2-го рода, свободный. [27]

Для работ, лежащих на критическом пути, никаких резервов нет и, следовательно, коэффициент напряжённости таких работ равен единице.

Ранний срок начала работы равен раннему сроку свершения его начального события:

$$T_{pij} = T_{pi}. \quad (6.7)$$

Поздний срок начала работы равен разности между поздним сроком свершения её конечного события и её продолжительности:

$$T_{пн\ ij} = T_{п\ j} - t_{ож\ ij} . \quad (6.8)$$

Ранний срок окончания работы равен сумме раннего срока свершения её начального события и её продолжительности:

$$T_{ро\ ij} = T_{р\ i} + t_{ож\ ij} . \quad (6.9)$$

Поздний срок окончания работы равен позднему сроку свершения её конечного события:

$$T_{по\ ij} = T_{п\ j} . \quad (6.10)$$

Полный резерв времени работы:

$$R_{nij} = T_{п\ j} - T_{р\ ij} - t_{ож\ ij} . \quad (6.11)$$

Частный резерв времени работы первого рода:

$$R^1_{nij} = T_{п\ j} - T_{п\ i} - t_{ож\ ij} . \quad (6.12)$$

Частный резерв времени работы второго рода:

$$R^2_{nij} = T_{р\ j} - T_{р\ i} - t_{ож\ ij} . \quad (6.13)$$

Свободный (независимый) резерв времени работы:

$$R_{cij} = T_{р\ j} - T_{п\ i} - t_{ож\ ij} . \quad (6.14)$$

Коэффициент напряжённости:

$$K_{H_{ij}} = \frac{t(L_{\text{макс}}^{\text{несовп}})}{t(L_{\text{кр}}^{\text{несовп}})} , \quad (6.15)$$

где: $t(L_{\text{макс}}^{\text{несовп}})$ - продолжительность отрезков максимального пути, проходящих через данную работу, не совпадающих с критическим путём; $t(L_{\text{кр}}^{\text{несовп}})$ - продолжительность отрезков критического пути, не совпадающих с максимальным путём, проходящим через данную работу. [27]

Полученные результаты сведены в табл. 16.

Таблица 16 – Параметры работ сетевого графика

Код работы	Ожидаемая про- должительность, дн	Срок начала, дн		Срок окон- чания, дн		Резервы времени, дн				K _н
		Ранний	Поздний	Ранний	Поздний	Полный	1 род	2 род	Свобод- ный	
0,1	2	0	0	2	2	0	0	0	0	1,00
1,2	4	2	4	6	8	2	0	0	-2	0,86
1,3	2	2	3	4	5	1	0	0	-1	0,86
1,4	3	2	2	5	5	0	0	0	0	1,00
2,5	2	6	7	8	9	1	0	0	-1	0,50
3,5	4	4	5	8	9	1	0	0	-1	0,86
4,5	4	5	5	9	9	0	0	0	0	1,00
5,6	2	9	9	11	11	0	0	0	0	1,00
6,7	2	11	11	13	13	0	0	0	0	1,00
7,8	2	13	13	15	15	0	0	0	0	1,00
7,9	4	13	14	17	18	1	0	0	-1	0,93
7,10	4	13	21	17	25	8	0	0	-8	0,47
8,9	3	15	15	18	18	0	0	0	0	1,00
9,10	4	18	21	22	25	3	0	0	-3	0,47
9,11	7	18	18	25	25	0	0	0	0	1,00
10,12	3	17	25	20	28	8	0	0	-8	0,47
11,12	3	25	25	28	28	0	0	0	0	1,00
12,13	2	28	28	30	30	0	0	0	0	1,00
13,14	2	30	30	32	32	0	0	0	0	1,00
14,15	3	32	32	35	35	0	0	0	0	1,00
14,16	4	32	34	36	38	2	0	0	-2	0,67
14,17	2	32	39	34	41	7	0	0	-7	0,20
15,16	3	35	35	38	38	0	0	0	0	1,00
16,17	3	38	38	41	41	0	0	0	0	1,00
17,18	2	41	41	43	43	0	0	0	0	1,00
18,19	2	43	43	45	45	0	0	0	0	1,00
19,20	3	45	45	48	48	0	0	0	0	1,00
20,21	3	48	48	51	51	0	0	0	0	1,00
18,21	3	43	48	46	51	5	0	0	-5	0,37
19,21	5	45	46	50	51	1	0	0	-1	0,83
21,22	3	51	51	54	54	0	0	0	0	1,00
22,23	5	54	54	59	59	0	0	0	0	1,00

Количество событий	$n_c=23$
Количество работ	$n_p=32$
Коэффициент сложности	$k_c=1,395$
Продолжительность критического пути дней	$t_{кр}=59$

Сетевой график представлен на рисунке 19.

Среднеквадратическое отклонение продолжительности критического пути определяется по формуле:

$$\delta_{кр} = \sqrt{D_{ткр}},$$

где $D_{ткр}$ - дисперсия срока наступления завершающего события, равная сумме дисперсий работ критического пути. [27]

Таблица 17 - Вероятности свершения завершающего события в директивный срок

Наименование показателя	
Критический срок	59
Среднеквадратическое отклонение	2,039607805
Директивный срок	60
Нормальное отклонение	0,490290338
Вероятность свершения	0,63262342

Директивный срок: $22 \text{ (дн./мес.)} \cdot 2,5 \text{ (мес.)} = 60 \text{ дн.}$

Вероятность свершения завершающего события в директивный срок попадет в рамки значений от 0,35 до 0,65, можно сделать вывод о том, что оптимизацию и перепланирование сетевого графика делать не нужно.

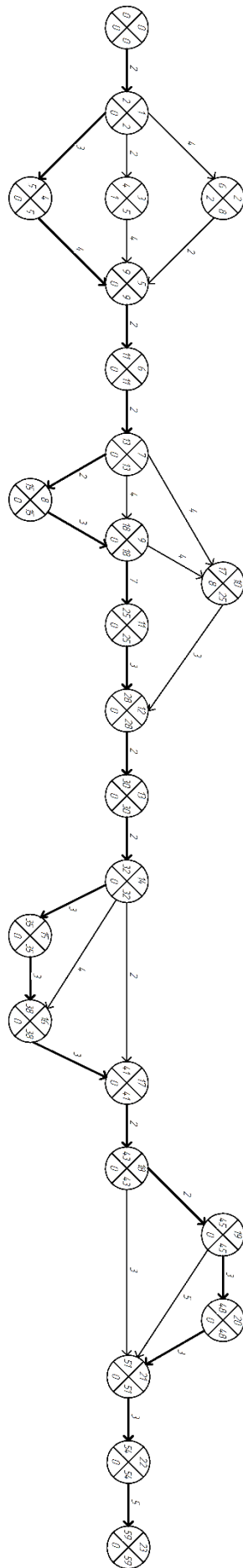


Рисунок 19 – Сетевой график

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6.2 Расчет стоимости работ

1. Рассчитаем материалы и комплектующие, необходимые при изготовлении устройства, данные представим в таблице 18. [27] Так же нужно учесть необходимые материалы для написания дипломной работы, указанные в таблице 19.

Таблица 18 – Материалы и комплектующие

Номер	Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб
1	Микросхема	5	299,50
2	Трансформатор	5	100,16
3	Катушка индукт.	20	64,25
4	Конденсатор	42	36,39
5	Резистор	23	38,27
6	Диод	5	21,14
7	Аттенюатор	2	58,00
8	Разъём	3	25,50
9	Плата	1	62,48
10	Паяльная паста	1	10,00
11	Крышка	1	66,60
12	Обечайка	1	21,10
13	Дно	1	2,00
14	Перегородка	1	0,60
15	Радиатор	1	44,10
		Итого:	850,09

Таблица 19 – Материалы для диплома

Номер	Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб
1	Бумага А4	1	250
2	Папка для диплома	1	250
		Итого:	500

2. Так как при изготовлении устройства не используются услуги сторонних организаций, значит предприятие не тратит денег. Итого с учётом 1-го пункта расчета стоимости будет равно 1350,09 рублей.

3. Рассчитаем заработную плату сотрудников предприятия и полученные значения занесем в таблицу 20. К получившейся сумме добавим начисления в виде 30%.

Таблица 20 – Заработная плата персонала

Категория персонала	Занятость, дн	Оклад за 22 раб.дня, руб	Средняя заработная плата, руб/день	Итоговая зар.плата, руб
Руководитель	27	40000	1818,18	49090,0
Инженер	80	30000	1363,63	109090,9
Техник	23	20000	909,09	20909,9
	Итого:			179090,0
	С процентами:			232818,0

4. Рассчитаем накладные расходы, которые получаются путем сложения всех сумм, указанных выше с пунктов 1-3 и добавлением 10%. Итого получается 23416 рублей.

5. Последним этапом в этой части будет расчет сметы, значения которой занесем в таблицу 21. [27]

Таблица 21 – Расчет сметы

Номер	Наименование	Расходы, руб
1	Материалы и компоненты	1350,09
2	Услуги сторонних организаций	0
3	Покупные изделия	0
4	Заработная плата	232818,00
5	Накладные расходы	23416,00
	Итого:	257584,00

6.3 Анализ технико-экономической эффективности

Разработка и изготовление данного устройство является целесообразным и выгодным предложением для предприятия. Аналоги разрабатываемого усилителя были сделаны на элементной базе, которая в настоящее время снята с производства. Поэтому с технической точки зрения, усилитель будет состоять из современной высоконадежной элементной базы. С экономической стороны, нужно отметить, что в случае заказа на другом предприятии, данная разработка стояла

бы гораздо дороже. В отличии от других разработчиков, наше предприятие берет обслуживание прибора и устраняет выявленные недостатки до конца. Расчетная стоимость - это стоимость разработки и комплектующих, которая в дальнейшем будет гораздо меньше, так как уже будет учитываться только компоненты прибора.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломного проектирования было разработано устройство широкополосный усилитель для систем кабельного телевидения. При проектировании были учтены все требования, определенные в техническом задании.

В процессе работы были осуществлены инженерные решения (выбор схемы стабилизации и коррекции) и расчет номиналов схем.

В результате работы получили готовую схему усилительного устройства с известной топологией и номиналами элементов, которая будет использоваться в практическом применении.

В пояснительной записке описаны мероприятия по вопросам безопасности жизнедеятельности, рекомендации к оборудованию рабочего места оператора, а также приведен анализ технико-экономической эффективности. Сетевое планирование позволило правильно выбрать сроки выполнения дипломного проектирования.

Все вышеизложенное позволяет говорить о полноте решения поставленных задач.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приемные распределительные системы телевидения. / Составители: Воробьев М.С., Кудрин Л.П., Сазонов Н.И., Толкачев А.Б., Хашимов А.Б. – Челябинск: Изд. Татьяна Лурье, 2002. – 240с.
2. Учебник для вузов. 4-е изд., стереотип. - М.: Горячая линия - Телеком. 2007. - 616 с.
3. ГОСТ Р 52023-2003. Сети распределительные систем кабельного телевидения [Текст]. – Введ. 2003, - М.: Изд-во стандартов, 2003. – 62с.
4. ГОСТ Р. Телевизоры и приставки для приема сигналов цифрового наземного, кабельного и спутникового телевизионного вещания [Текст]. – Введ 2005, - М.: Изд-во стандартов, 2005. – 48с.
5. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.: Связь, 1977. – 360с.
6. Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электротехнические чертежи и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288с.
7. Хоровиц П. Искусство схемотехнике / П. Хоровиц, У. Хилл; изд. 5, перераб., пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 702с.
8. Корицкий Ю.В. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В. т.3 в 3 томах. – М.: Энергоатомиздат., 1986. – 367с.
9. http://www.asb.co.kr/sub01_02_01/product/view.html.
10. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: ВШ, 1982. – 496с.
11. Гель П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация РЭА. – М.: ВШ, 1984. – 437с.
12. http://www.asb.co.kr/sub01_02_01/product/view1.html.
13. Проектирование и технология радиоэлектронных средств: Методические указания к дипломному проектированию/ Составители: Бабин М.П., Лысенко Ю.В., Пермяков Б.В., Степаненко В.Н. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 47с.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

14. Э. Ред. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике / Ред Э., пер. с немец. – М.: Мир, 1990. – 254с.
15. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению/Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Додэка”, 2008. – 272с.
16. <http://www.macrogroupp.ru/catalog/partgroup/3162.html>
17. <http://www.ti.com/sitesearch/docs/universalsearch.l431.html>.
18. Лопаткин А.В. Конструирование и технология РЭС: Учебное пособие для радиотехнических спец. вузов. - Н. Новгород, НГТУ, 2001. – 105 с.
19. Едренкин Э.Д., Макаров В.В. Проектирование технологических процессов сборки РЭА. Учебное пособие к курсовому проектированию. - Челябинск, ЧПИ, 1986. – 81с.
20. Кудрин Л.П. Конструктивно-технологический расчет печатного монтажа. Учебное пособие. – Челябинск, ЧГТУ, 1994. – 12с.
21. Испытания и сертификация электронных средств: Методические указания к лабораторным работам/ Составитель Б.В. Пермяков; Под ред. А.С. Козловского.- Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 21с.
22. ГОСТ 12.2.007-75. Изделия электротехнические [Текст]. – Введ. 1975, – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 12с.
23. ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками [Текст]. – Введ. 1997-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 35с.
24. ГОСТ 12.0.003-2014. Опасные и вредные производственные факторы [Текст]. – Введ. 2014 – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 17с.
25. СанПиН.23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования [Текст]. – Введ. 1996-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 17с.
26. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Текст]. – Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 46с.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

27. ГОСТ 12.2.031-78. Производственное помещение. Общие эргономические требования [Текст]. – Введ. 1979-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 21с.

28. Сетевые методы планирования и управления: Методические указания к курсовому проекту для студентов Приборостроительного факультета / Составители: В.С. Зинневич [и др.]. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 22с.

29. Аршинов А.Н. Инженерный расчет контуров. – М.: Радио и связь, 1967. – 345с.

30. Корицкий Ю.В. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В. т.3 в 3 томах. – М.: Энергоатомиздат., 1986. – 367с.

31. Организация и планирование радиотехнического производства. Управление предприятием радиопромышленности / Под ред. А.Н. Кноля, Г.М. Лапшина. – М.: Высшая школа, 1987. – 351с.

32. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [Текст]. – Введ. 2016-21-07. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 69с.

33. СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырещикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56с.

34. ГОСТ 2.105 – 95. Общие требования к текстовым документам [Текст]. – Введ. 1995. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 29с.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2017.306.00 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94