# **Содержание**

Введение

1. Исходные данные и их анализ

1.1 Проектируемый блок составная часть системы высшего уровня

1.2 Развернутое техническое задание

1.3 Описание и анализ электрической принципиальной схемы

1.4 Патентный поиск и аналоги блока

2. Проектирование блока

2.1 Разработка несущей конструкции

2.2 Тепловой расчет

3. Проектирование функционального узла

3.1 Выбор группы жесткости

3.2 Материал и метод изготовления печатной платы

3.3 Расчет печатного монтажа

4. Оценка качества

4.1 Расчет надежности по внезапным отказам

4.2 Оценка качества

Заключение

Список используемых источников

Приложение А (обязательное)

Приложение Б (обязятельное)

**Введение**

Аппаратура связи находит широкое применение. Усовершенствование конструкции и повышение ее эффективности является важной задачей на данном этапе развития радиоэлектронной аппаратуры.

В составе стационарных радиопередающих комплексов используются усилители мощности, которые обеспечивают необходимое усиление радиочастотного сигнала до необходимого уровня мощности. Современные усилители имеют сложную конструкцию. Предварительный усилитель имеет каскады непосредственного усиления сигнала. Для получения более высокой мощности нужно предусмотреть сложение сигналов.

Современный усилитель должен включать в себя автоматизированные системы управления и контроля, которые обеспечивают защиту схемы усилителя от перенапряжения, перегрева и разбаланса. Управление работой усилителя может осуществляться с помощью сигналов от блока управления и контроля, обслуживающего весь радиопередающий комплекс либо сам усилитель.

Для предохранения элементов усилителя от перегрева в конструкции блока следует предусмотреть использование радиаторов, системы воздушного охлаждения, либо современные системы охлаждения, например, тепловые трубы.

Темой курсового проекта является разработка предварительного усилителя мощности, работающего в коротковолновом диапазоне и имеющего минимальную выходную мощность 40 Вт. В задание на курсовой проект входят технические характеристики предварительного усилителя мощности, а также условия эксплуатации, при которых необходимо обеспечить бесперебойную работу усилителя.

# **1.** **Исходные данные и их анализ**

# **Проектируемый блок составная часть системы высшего уровня**

Проектируемый блок входит в состав блока усилителя мощности коротковолнового, автоматизированного, дистанционно управляемого радиопередающего устройства мощностью 1 кВт. Диапазон частот 1,5…29,999 МГц, с дискретной сеткой частот 10 Гц, номинальная выходная мощность 1000±200 Вт, на эквивалентной нагрузке 75 Ом, питание осуществляется от трехфазного тока: () В, масса 265 кг, габаритные размеры 371×90,5×161.

# **Развернутое техническое задание**

Темой данного курсового проекта является предварительный усилитель мощности коротковолнового передатчика мощностью 40 Вт. Он предназначен для линейного широкополосного усиления высокочастотного сигнала возбудителя до уровня мощностью порядка 40 Вт.

Технические данные объекта должны соответствовать следующим значениям:

* диапазон частот – 1,5 — 30 МГц;
* входное сопротивление – 75 Ом;
* КСВ на входе усилителя – не более 1,1;
* номинальное сопротивление нагрузки – не менее 40 Вт;
* номинальное напряжение входного сигнала – (3±0,3) В;
* КПД при номинальной входной мощности в режиме несущей – 30%;
* коэффициент нелинейных комбинационных искажений при выходной мощности в пике огибающей (45±5) Вт – не более –33дБ;

уровень внеполосных гармонических составляющих – не более –20 дБ.

Предварительный усилитель мощности должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к аппаратуре, устанавливаемой на подвижных и стационарных объектах и работающих в непрерывном режиме в условиях эксплуатации соответствующих группе 1.6 по ГОСТ20.39.304 – 76 климатического исполнения УХЛ с изменением требований по синусоидальной вибрации, предельному атмосферному давлению, пониженной температуры среды до требований технических условий на передатчики. Ввиду отсутствия акустически чувствительных элементов, требования по воздействию акустического шума не предъявляются. Работоспособность при пониженном атмосферном давлении гарантируется применением элементной базы и конструкцией.

# **Описание и анализ электрической принципиальной схемы**

Первый ВЧ каскад выполнен по двухтактной схеме с общим истоком на транзисторах VT 1, VT2, работающих в классе А и имеющих низкий уровень шумов. Резисторы R11…R14 предназначены для создания неглубокой (порядка 20%) отрицательной обратной связи (ООС) по постоянному и переменному току. Трансформатор ТДЛ WT1осуществляет переход от несимметричного входа ПУ к симметричному входу двухтактного каскада. Для компенсации емкостей составляющей входного сопротивления полевых транзисторов применены корректирующие фазовые контуры на элементах C3, C6, R3, L1 (C4, C7, R4, L2) подборные конденсаторы C11, C13, C14 предназначены для дополнения входных емкостей транзисторов до значений, определяемых волновым сопротивлением контура. Для компенсации индуктивностей выводов резисторов R3, R4 и лучшего согласования по входу параллельно резисторам R3, R4 включены конденсаторы С2, С5. Для обеспечения регулировки коэффициента усиления первого каскада смещение на затворах транзисторов VT1, VT2 подается с платы управления КВ А1. Балансировка режима транзисторов по постоянному току осуществляется с помощью резисторов R7, R9. С целью исключения выхода из строя транзисторов VT1, VT9 при обрыве или замыкании цепи «СМЕЩЕНИЕ 1», на резисторы R7, R9 подается отрицательное напряжение минус 15 В.

Питание стоковых цепей осуществляется через дроссели L3, L4 от эмиттерного повторителя, выполненного на транзисторе VT3, на базу которого подается напряжение со стабилизатора напряжения, выполненного на стабилитроне VD7 транзисторе VT3, расположенных в плате управления КВ. связь между первым и вторым каскадом ПУ осуществляется посредством симметрирующего трансформатора VT2.

Второй каскад ПУ выполнен на транзисторах VT4,VT5 типа 2П909А, работающих в классе А. В цепях стабилизации режима и снижения избыточного усиления, в истоки транзисторов включены резисторы обратной связи R26…R33. Согласование со входом второго каскада осуществляется с помощью элементов L5, R19, L26, R20, образующих с конденсатором Сзи низкочастотный фильтр. Для коррекции АЧХ каскада на высоких частотах, введена ООС по напряжению с помощью элементов R24, C24, R25, C25. Напряжение смещения на затворы транзисторов подается с платы управления КВ и в небольших пределах (10 – 15)% изменяет коэффициент усиления второго каскада. Корректирующая цепь R36\*\*, C27 формирует необходимый уровень и наклон АЧХ ПУ. Трансформатор WT3 выполняет функцию подавления четных гармоник.

Оконечный каскад ПУ выполнен на транзисторах VT8, VT9 типа 2Т9111Б, работающих в режиме В. для согласования низкого входного импеданса этих транзисторов с выходным сопротивлением второго каскада усилителя, применен трансформатор WT4 типа «ДЛИННАЯ ЛИНИЯ» с коэффициентом трансформации по напряжению 3:1. Входная цепь каскада выполнена по схеме последовательного возбуждения. Для компенсации снижения модуля коэффициента усиления по току транзисторов VT8, VT9 с увеличением частоты используется корректирующее звено, состоящее из конденсаторов C28, C29 (C30, C31) и параллельно подключенного резистора R37 (R38). Снижение неравномерности АЧХ осуществляется с помощью ООС, образованной обмоткой, состоящей из одного витка на трансформаторе WT5 и резисторами R42, R45.

Режим транзисторов VT8, VT9 по постоянному току определяется напряжением смещения, поступающим через резисторы R43, R44 и развязывающие дроссели L7, L8 на базы транзисторов от устройства термостабилизации А2. Трансформатор WT5 предназначен для подавления четных гармонических составляющих коллекторного тока.

Для перехода от симметричного выхода двухтактной схемы к несимметричному выходу ПУ и согласования с нагрузкой, используется трансформатор Т ДЛ WT6 с коэффициентом трансформации по напряжению 1:2.

На выходе трансформатора WT6 включены разделительные конденсаторы C39, C40 и конденсатор C41\*, корректирующие уровень выходного напряжения ПУ на верхних частотах.

Выходное напряжение ПУ детектируется детектором, выполненным на элементах VD3, VD4, C37, C38, R46 – R48. Продетектированное напряжение поступает на контрольный разъем Х3.

На контакты этого разъема с целью контроля выведены напряжения питания смещения полевых транзисторов, продетектированное входное напряжение Uвх и продетектированное напряжение с сеток ламп БУМ Uвых, а также цепь управления и запирания ПУ.

# **Патентный поиск и аналоги блока**

Основной задачей настоящего патентного поиска является изыскание инженерно-технических решений по созданию перспективного предварительного усилителя мощности, обладающего лучшими техническими и конструктивными характеристиками.

В последние годы в нашей стране и за рубежом разработан ряд широкополосных усилителей мощности. Функциональное построение всех усилителей мощности определяется элементной базой, конкретными требованиями к качественным характеристикам и методам усиления.

Основные характеристики наиболее типичных усилителей приведены в таблице1.

На основании данных таблицы 1 и проведенного анализа имеющихся материалов по зарубежным усилителям мощности и сравнении их характеристик с характеристиками отечественных изделий можно сделать следующие выводы.

Отечественные усилители мощности не уступают зарубежным аналогам по ряду основных параметров: диапазон рабочих частот, каналам излучения, стабильности частот, уровню подавления высших гармонических составляющих, уровню шума в рабочей полосе, надежности. Вместе с тем отечественные усилители существенно уступают западным аналогам по массе и КПД. В настоящей курсовом проекте разрабатывается усилитель мощности с высокими техническими характеристиками.

Таблица 1. Параметры аналогов блока

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование характеристики | Ед.изм. | Исследуемые объекты | | | |
|  |  |  |  |
| 1. Диапазон радиочастот | МГц | 2 – 30 | 30 – 88 | 3 – 30 | 1,5 – 30 |
| 2. Выходная мощность | Вт | 80 | 60 | 40 | 40 |
| 3. Входная мощность | Вт | 0,5–2 | 0,5 – 1 | 0,4–2 | 0,4–2 |
| 4. Вид управления | – | Ручн. | Авт. | Авт. | Авт. |
| 5. Рабочая температура | °С | -40÷60 | -5÷55 | 5÷40 | 5÷40 |
| 6. КПД | % | 60 | – | 50 | 30 |
| 7. Среднее время наработки на отказ | Ч | – | – | 3000 | 3200 |
| 8. Масса | Кг | – | – | 3 | 2,8 |
| 9. Габаритные размеры | Мм | 332×305×64 | – | 431×464×170 | 371×90,5×161 |

# **2. Проектирование блока**

# **2.1 Разработка несущей конструкции**

В связи с узкоспециализированным назначением радиопередающего устройства, к конструкции блока предварительного усилителя предъявляется особое значение. Размеры корпуса блока предварительного усилителя должны быть соответствовать габаритным размерам места установки блока, т.е. его ширина, длинна и высота не должны превышать эти размеры.

В условиях эксплуатации радиопередающего комплекса предусмотрены быстрая поблочная разборка и транспортировка всего комплекса. Но с учетом того, что блок эксплуатируется в стационарных условиях, то нет необходимости для его дополнительного крепления и амортизации.

Обычно масса несущей конструкции радиоэлектронной аппаратуры составляет примерно 70% от общей массы аппаратуры. Поэтому задача уменьшения массы базовой несущей конструкции является весьма актуальной. Габаритные размеры и масса блока во многом зависит от применяемой в нем системы охлаждения. Для уменьшения габаритных размеров блока в качестве системы охлаждения для элементов, работающих в критических режимах, применяем теплоотвод потоком воздуха, нагнетаемого вентиляторами. Для более эффективного охлаждения блока кожух выполнен с перфорацией. Внутренние ячейки блока выполнены по многомодульному типу. Каждый модуль может быть легко заменен в случае его выхода из строя.

Рассматриваемый блок должен иметь облегченную конструкцию, поэтому в качестве материала несущей конструкции выбираем сплавы алюминия, а токопроводящие элементы выполним из меди. Для антикоррозионной стойкости все платы покрываются лаком ЭП–730. Для обеспечения внешней эстетичности, а также для антикоррозионной стойкости наружные поверхности покрываются эмалью.

Конструкция предварительного усилителя мощности состоит из радиатора (поз. 33) с установленными на него передней (поз. 2) и задней (поз. 31) панелями, также на радиатор на втулки (поз. 32) устанавливаются платы печатные с усилительными каскадами. Снизу на радиатор установлена направляющая (поз.27), для предварительного позиционирования блока внутри БУМ. Справа на радиатор на втулки (поз.40) устанавливается блок управления усилителя предварительного.

На передней панели для контроля режимов работы блока предварительного усилителя мощности устанавливается розетка (поз.101) типа РП–15ГВ. Также для регулировки параметров блока управления предварительного усилителя мощности сделаны 3 отверстия. Но с учетом того, что все это используется только при регулировке блока, все эти позиции закрываются фальшпанелью (поз. 25).

На задней панели устанавливаются штыри ловители (поз.39) для более точного позиционирования блока. Для точного вхождения вилки типа РП10–11ЛВ, на ней установлены штыри. Входной и выходной сигнал предварительного усилителя мощности поступает через штекеры ВЧ входа и ВЧ выхода установленных на задней панели (поз.11).

Габаритные размеры блока 320×160×30 мм. Масса 2.8 кг.

# **2.2 Тепловой расчет**

В проектируемом блоке требуется отвод тепла от транзисторов усилительных каскадов. Для отвода тепла в конструкции устройства предусмотрены два осевых электровентилятора 1,0 ЭВ–1,4–4. Процесс теплообмена радиоэлектронных аппаратов охлаждаемых продуваемым через них воздухом, носит очень сложных характер и не поддается точному расчету. Тепловой режим аппарата зависит от следующих параметров: формы и размеров кожуха, шасси и радиодеталей, расположения деталей на шасси, мощности отдельных источников тепла и их расположения в аппарате, размеров, формы и расположения устройств для подвода и отвода воздуха, расхода и температуры воздуха, а также условий теплообмена снаружи аппарата.

# *Расчет радиатора*

Перегрев полупроводниковых приборов можно уменьшить, путем увеличения теплоотдающей поверхности, т.е. установкой их на радиатор. Методика расчета приведена в [2].

Исходными данными при проектировании или выборе радиатора являются: предельная температура рабочей области транзистора tp=100°С; мощность рассеиваемая на приборе Р=25Вт; температура окружающей среды t0=35°С; внутреннее тепловое сопротивление прибора между рабочей зоной транзистора и корпусом Rвн=0,425°С/Вт.

– Определим перегрев места крепления прибора с радиатором:



где Rк – тепловое сопротивление контакта между прибором и радиатором, °С/Вт,

,

Sк= 0,42⋅10-3м2 – площадь контактной поверхности.

°С/Вт

°С

– определим в первом приближении средний перегрев основания радиатора:



°С

– Выбираем тип радиатора в первом приближении с помощью графиков представленных на рисунке 4.21 [2].

В соответствии с графиком выбираем ребристый радиатор в условиях вынужденного охлаждения.

– определим коэффициент теплоотдачи радиатора по графикам на рисунке 4.25 [2]. В соответствии с графиком αэф=125Вт/м2град

– находим площадь основания радиатора



м2

– Определим средний перегрев основания радиатора во втором приближении



где ; ;

αр – коэффициент теплопроводности материала радиатора, Вт/мград;

Sp – толщина основания радиатора, м.

Выберем в качестве материала радиатора алюминий, у которого λр=208 Вт/мград, а толщина основания δр=0,023м.





ΔtS=0.008м2

Из сделанных расчетов можно сделать вывод, что суммарная площадь радиатора всех транзисторов не будет выходить за пределы габаритных размеров блока и мы можем применить данную схему охлаждения транзисторов.

# **3. Проектирование функционального узла**

# **3.1 Выбор группы жесткости**

В зависимости от условий эксплуатации определим группу жесткости по ОСТ4.ГО.077.000 обслуживающие соответствующие требования к конструкции печатной платы, используемому материалу основания проводящему рисунку и т.д. Для нашей платы выбираем вторую группу жесткости.

# **3.2 Материал и метод изготовления печатной платы**

Двусторонняя печатная плата с металлизированными монтажными отверстиями и переходными отверстиями характеризуются высокими коммутационными свойствами, повышенной прочностью соединения вывода навесного монтажа с проводящим рисунком платы, относительно высокой стоимостью конструкции. Для платы усилителя выбираем двустороннюю печатную плату с металлизированными и переходными отверстиями.

Габаритные размеры печатной платы должны соответствовать ГОСТ10317-79 при максимальном соотношении сторон 5:1. Согласно ГОСТ10317-79 выбираем прямоугольную форму платы. Размеры печатной платы определяются типом применяемых навесных элементов и размерами модуля. Для нашего блока выбираем платы размерами 110×170 мм и 80×100мм.

Сопрягаемые размеры контура печатной платы должны иметь предельные отклонения по 12 квалитету ГОСТ 25347-82, несопрягаемые размеры контура печатной платы должны соответствовать предельным отклонениям по14 квалитету ГОСТ25347-82.

Толщину печатной платы определим исходя из используемой элементной базы и действующей механической нагрузки. Толщину печатной платы устанавливаем по ТУ на исходный материал ГОСТ10316-78.

Материал основания печатной платы выбираем согласно ГОСТ10316-78, ГОСТ23751-79 или ТУ. Для печатной платы эксплуатируемой в условиях соответствующих группе 1.6 по ОСТ4.ГО.077.000 рекомендовано применять материалы но основе текстолита. Платы усилителя изготавливаем из стеклотекстолита СФ-2-50-2 ГОСТ10316-78 фольгированная с двух сторон. Толщина фольгированного слоя 35 мкм толщина платы 2 мм.

# **3.3 Расчет печатного монтажа**

Проведем расчет печатного монтажа платы предварительного усилителя. Методика расчета приведена в [2]. Расчет произведем в следующей последовательности:

– Исходя из технологических возможностей производства, выбираем комбинированный позитивный метод изготовления печатной платы. Класс точности 3 по ГОСТ 23752-79.

Определим ток наиболее нагруженного элемента:



– Определяем минимальную ширину (мм) печатного проводника по постоянному току для цепей питания.

,

где jдоп= 48 А/мм2 – допустимая плотность тока, выбирается по таблице 4.5 [2]; t=35мкм – толщина проводника.

мм

* Определим номинальное значение монтажных отверстий d:



где dэ=0,7 мм – максимальный диаметр вывода устанавливаемого ЭРЭ; Δdn.o=0.1 мм – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра таблица 4.6 [2]; Г=0,,2 – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода.

мм

– Рассчитываем диаметр контактных площадок для двусторонней печатной платы, изготовленной комбинированным позитивным методом



где D1min – минимальный эффективный диаметр площадки, мм:



где bm=0.05 мм – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки; δd=0.08 мм и δр=0,2 мм – допуски на расположение отверстий и контактных площадок; dmax – максимальный диаметр посверленного отверстия:



где Δd=0.05 – допуск на отверстия таблица 4.6 [2]:

мм

мм

мм

– Определим ширину проводников



мм

– Определим минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка:

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой:



где L0=2.5 мм – расстояние между центрами рассматриваемых элементов, δl=0.05 – допуск на расположение проводников таблица 4.6 [2]; Dmax – максимальный диаметр контактной площадки:

мм

мм

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками:

мм

Минимальное расстояние между двумя проводниками:

мм

# **3.4 Расчет индуктивностей**

Рассчитаем конструкцию индуктивностей L1=L2. Определим уточненные значения индуктивностей для типовых значений емкостей на частоте f=30МГц по формуле:

,



нГн

Рассчитываем диаметр провода катушек:

,

где I – радиочастотный ток, А;

f – частота тока, МГц;

Δ – разность температуры провода и окружающей среды, ΔТ=40К.

 мм

Шаг намотки, при котором достигается наименьшее активное сопротивление катушки току радиочастоты:

g=2d

g=2⋅1.4=2.8 мм

Рассчитываем число витков спирали катушки:

,

где Lрасч – Расчитанное значение индуктивности, мкГн; D – диаметр катушки, см; F(C/D) – коэффициент формы катушки, определяемый по графику на рисунке 10.3 [3].

витка

рассчитаем катушки L5=L6. Определяем уточненный номинал индуктивности:

нГн

Рассчитаем диаметр провода катушек:

мм

Рассчитаем шаг намотки:

g=2⋅3=6 мм

Рассчитаем число витков спирали катушки:

витка

**4. Оценка качества**

# **4.1 Расчет надежности по внезапным отказам**

Прикидочный расчет

В начале для определённого класса объектов выбирается один из типов показателей надёжности: интервальный, мгновенный, числовой таблица 6 в [1]. Из нее выбираем, с учетом вида объекта (ремонтируемый с допустимыми перерывами в работе), числовые показатели надежности, т.е. mt – средняя наработка между отказами, mB – среднее время восстановления объекта, КГ – коэффициент готовности. Таким образом, при конструкторском проектировании РЭС не требуется рассчитывать все ПН, необходимо, прежде всего, определить вид объекта и выбрать те ПН, которые наиболее полно характеризуют надёжностные свойства разрабатываемого объекта.

Для дальнейшего выбора показателей надежности установим шифр из четырёх цифр, по рекомендации таблицы 7 [1]: 2312. Что соответствует: по признаку ремонтопригодности — ремонтируемому (2), по признаку ограничение продолжительности эксплуатации— режим использования по назначению – непрерывный (1), по признаку доминирующий фактор при оценке последствий отказа – факт выполнения или не выполнения изделием заданных ему функций в заданном объеме(2).

Исходя из этих данных по таблице 8 [1] определяются показатели надежности. Полученные результаты сравниваем с таблицей 6 [1]. Окончательно получаем, что в связи с тем, что приёмник ремонтируемый, восстанавливаемый, с допустимыми перерывами в работе, то ПН будут mt, mв, Кг, Т. е. мы выбрали числовые ПН: наработку на отказ – mt, среднее время восстановления объекта – mв, коэффициент готовности – Кг.

Ответственным этапом в проектировании надёжности РЭА является обоснование норм, т. е. допустимых значений для выбранных показателей надежности. Это объясняется следующими причинами. Во-первых, от правильности результатов данного этапа зависит успех и смысл всех расчётов надёжности, т. к. здесь мы определяем, какое значение показателей надежности можно считать допустимым. Во-вторых, нет общих правил и рекомендаций для установления норм надёжности различных объектов, многое зависит от субъективных факторов и опыта конструктора. В-третьих, любая ошибка на данном этапе ведёт к тяжёлым последствиям: занижение нормы ведёт к повышению потерь от ненадёжности, завышение – от дороговизны. Итак, из таблицы 9 [1] мы определяем исходя из группы аппаратуры по ГОСТ 16019–78 – возимая на автомобилях; по числу ЭРЭ (700), что mt допустимая равна 3000 часов.

Надёжность РЭА в значительной степени определяется надёжностью элементов электрической схемы (ЭЭС) и их числом. Поэтому точность расчёта ПН проектируемого объекта относительно отказов, обусловленных нарушениями ЭЭС, имеет большое значение. Заметим, что к ЭЭС следует относить места паек, контакты разъёмов, крепления элементов и т. д. При разработке РЭА можно выделить три этапа расчёта: прикидочный расчёт, расчёт с учётом условий эксплуатации и уточнённый расчёт. Прикидочный расчёт проводится с целью проверить возможность выполнения требований технического задания по надёжности, а также для сравнения ПН вариантов разрабатываемого объекта. Прикидочный расчёт может производиться, и когда принципиальной схемы ещё нет, в этом случае количество различных ЭЭС определяется с помощью объектов аналогов. Исходные данные и результаты расчёта представлены в таблице 1. По данным таблицы рассчитываются граничные и средние значения интенсивности отказов, а также другие показатели надёжности.

Следует учесть то, что после нахождения интенсивности отказов элементов одной платы необходимо для определения  всего приёмника произвести умножение на 8, что и будет отражаться в расчёте.

Таблица 2.

Исходные данные для прикидочного расчета надежности РЭА

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Порядковый номер и тип элемента | Число элемен. каждого типа nj | Границы и среднее значение интенсивности отказов | | | Суммарное значение интенсивности отказов элементов определенного типа | | |
| imin | imax | iср | nimin | nimax | niср |
| 1. Резисторы постоянные | 330 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 18,8 | 28,2 | 23,5 |
| 2. Конденсаторы | 150 | 0,263 | 0,513 | 0,31 | 11,05 | 21,55 | 13,04 |
| 3. Микросхемы | 285 |  |  |  |  |  |  |
| 4. Диоды | 120 | 0,36 | 0,678 | 0,439 | 1,44 | 2,71 | 1,76 |
| 5. Транзисторы | 60 | 0,370 | 0,840 | 0,740 | 3,33 | 7,56 | 6,66 |
| 6. Индикаторы единичные | 12 | 0,51 | 1,018 | 0,50 | 6,12 | 12,22 | 6 |
| 7. Тумблеры | 5 |  |  |  |  |  |  |
| 8. Реле | 50 |  |  |  |  |  |  |
| 9. Разъем | 38 | 0,10 | 0,20 | 0,15 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| 10. Основание ПП (текстолит) | 16 | 0,006 | 0,010 | 0,008 | 0,006 | 0,008 | 0,010 |
| 11. Пайка | 1500 | 0,083 | 0,150 | 0,117 | 26,15 | 47,25 | 36,86 |

Произведём вычисления:

















Расчёт с учётом условий эксплуатации.

Расчёт безотказности конструируемого объекта с учётом условий эксплуатации аппаратуры, т.е. влияние механических воздействий, высотности и климатических факторов производится с помощью поправочных коэффициентов для интенсивностей отказов по одной из следующих формул: ; 

 где оэ – интенсивность отказов j-го элемента в номинальном режиме ( температура окружающей элемент среды 20С, коэффициент нагрузки равен 1);

 - поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно воздействия вибрации, ударных нагрузок, климатических факторов (влажности и температуры) и высоты; k1,2,j- коэффициент, учитывающий одновременно воздействие вибрации и ударных нагрузок.

Значения интенсивностей оj и поправочных коэффициентов k,j берутся из научно-технической литературы по надёжности РЭА. Для наиболее распространённых элементов и условий эксплуатации эти значения приведены в приложении [2].

Обозначим произведение поправочных коэффициентов для j-го элемента через , тогда



Исходные данные интенсивности отказов  для расчёта электрической схемы с учетом условий эксплуатации заносятся в таблицу 2. Если в объекте имеется nj однотипных элементов, имеющих одинаковые значения и , то для всей электрической схемы интенсивность определяется по формуле  На основе этого значения определяются другие показатели с учётом условий эксплуатации: 

## Таблица 3. Исходные данные для уточненного расчета с учетом условий эксплуатации

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер и наименование элемента | Кол-. элем.  j-го типа | Интенс. отказов  оj 10-6,  1/час | Поправочные коэффициенты | | | | | | Интен. отказов с учетом усл.экспл,  njkэ |
| k1j | k2j | k1,2j | k3j | k4j |  |
| 1. Резисторы | 47 | 0,5 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 84,6 |
| 2. Переменный резистор | 2 | 1,65 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 11,88 |
| 3. Конденсатор | 42 | 0,31 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 46,87 |
| 4. Переменный конденсатор | 4 | 0,02 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 0,29 |
| 5. Диод | 4 | 0,439 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 6,32 |
| 6. Транзистор | 9 | 0,740 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 23,98 |
| 7. Индуктивность | 12 | 0,50 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 21,6 |
| 8. Трансформатор | 6 | 1,090 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 23,54 |
| 9, Разъем | 4 | 0,15 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 2,16 |
| 10. Основание ПП | 1 | 0,008 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 0,029 |
| 11. Пайка | 315 | 0,117 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1 | 1 | 3,6 | 132,68 |

Из таблицы 2 получаем, что











Уточнённый расчёт.

Уточнённый расчёт показателей безотказности производится, когда конструкция объекта в основном определена. Здесь, прежде всего, учитывается отклонение электрической нагрузки ЭЭС и окружающей их температуры от номинальных значений, кроме того, анализируется изменение ПН при используемой системе обслуживания. Интенсивности отказов элемента j-го типа уточнённая  и всей схемы рассчитываются по формулам:



где aj – поправочный коэффициент, определяемый как функция коэффициента кн,j, учитывающего электрическую нагрузку, и температуры Тj для элемента j-го типа. Значения коэффициента Тj для элементов с учетом их температуры приведены в приложении 2 в таблице П 4.1, П 4.2, П 4.3, П4.4.

Для удобства расчёта заполняется таблица 3. Коэффициенты нагрузки для резисторов и конденсаторов определяются соответственно по формулам:



где Wдоп , W – допустимая и средняя мощности рассеяния на резисторе; Uном ,UП – номинальное и постоянное напряжение на конденсаторе; Uим – амплитуда импульсного напряжения.

Для транзисторов в качестве Кн берётся максимальный из следующих коэффициентов:

Uкэ/Uкэ,д ; Uкб/Uкб,д ; Uэб/Uэб,д ; W/Wд,

где Uкэ, Uкб, Uэб – прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой; Uкэ,д , Uкб, д, Uэб,д – прямое допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой; Wд , W – допустимая и рассеиваемая на транзисторе мощности.

Для диодов коэффициент нагрузки берётся с учётом коэффициентов по прямому току (Iпр), обратному току и напряжению (U), т. е.

Кн = max{ Iобр.раб./Iобр.ном.; Iобр.раб./Iобр.ном.; Uраб/Uном }.

Рекомендуемые значения коэффициентов нагрузки различных ЭЭС приведены в приложении 4 [2].

## Таблица 4. Исходные данные для уточненного расчета.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер и наименование элемента | Кол-во элементов  j-го типа | Интенсивность отказов с учетом усл.экспл,  эj | Поправочные коэффициенты | | | Уточненная интенсивность отказов эj aj | Уточненная интенсивность отказов элементов  nj j aj 1/ч |
| Kнj | Тj°C | aj |
| 1. Резисторы | 47 | 84,6 | 0,2 | 30 | 0,27 | 23,4 | 1099,8 |
| 2.Переменный резистор | 2 | 11,88 | 0,3 | 40 | 0,33 | 3,6 | 7,2 |
| 3. Конденсатор | 42 | 46,87 | 0,4 | 40 | 0,42 | 18,7 | 876,47 |
| 4.Переменный конденсатор | 4 | 0,29 | 0,2 | 40 | 0,34 | 0,099 | 0,4 |
| 5. Диод | 4 | 6,32 | 0,6 | 40 | 0,41 | 2,59 | 10,36 |
| 6. Транзистор | 9 | 23,98 | 0,3 | 60 | 0,19 | 4,56 | 41,04 |
| 7.Индуктивность | 12 | 21,6 | 0,5 | 40 | 0,2 | 4,32 | 51,84 |
| 8.Трансформатор | 6 | 23,54 | 0,4 | 60 | 0,3 | 7,06 | 42,36 |
| 9. Разъем | 4 | 2,16 | 0,6 | 20 | 0,5 | 1,08 | 4,32 |
| 10.Основание ПП | 1 | 0,029 | 0,75 | 20 | 0,72 | 0,02 | 0,02 |
| 11. Пайка | 315 | 132,68 | 0,45 | 20 | 0,43 | 57,05 | 17970,75 |

Уточним значение :  1/час,

ч.



Расчёт надёжности с учётом других видов отказов.

Примем к расчёту, что отказы родственных РЭА показывают, что 60 % всех отказов вызвано нарушениями ЭРЭ принципиальной схемы, 30 % - ошибками конструкции и 10 % - нарушениями технологии изготовления и сборки. В этом случае сх Кк Кт,

где Кк и Кт– поправочные коэффициенты, учитывающие увеличение интенсивности за счёт ошибок в конструкции и нарушений технологии соответственно. Коэффициенты Кк и Кт:

;



Тогда 20,1⋅10–5 ⋅ 1,1 ⋅ 1,5 = 33,2 ⋅ 10–5 1/час

Окончательно, с учётом всех видов отказов и с учётом количества плат в приёмнике, получаем: = 33,2 ⋅10–5 = 0,0312 ⋅10–5 1/час; mt = 3120 ч; mв = 2 ч; Кг = 0,999359.

Сравним с нормой: 3120 > 3000 ч. По полученным данным можно сделать вывод, что усилитель предварительный КВ по средней наработке на отказ может эксплуатироваться, но учитывая не значительное превышение средней наработки над допустимой наработкой в дальнейшем следует увеличить надежность элементной базы.

# **4.2 Оценка качества**

Показатель качества , Бi – показатель базового образца; Дi – значение показателя оцениваемого образца. – когда улучшение конструкции характеризуется уменьшением показателя. – когда улучшение конструкции характеризуется увеличением показателя.

Оцениваемый образец – предварительный усилитель мощности блока усилителя мощности КВ передатчика. Для данного образца рассматриваем 5 групп показателей для каждой группы , где mi – весовой коэффициент, ; , где k – число группы.

Представим показатели качества изделия в таблице 5.

Таблица 5. Показатели качества.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование | Числовое значение | | | | |
| Базов. | Оценв. | qi | mi | qi⋅mi |
| 1. Группа назначения | | | | | | |
| 1,1 | Объем, м3 | 0,02 | 0,02 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 1,2 | Масса, кг | 3,5 | 2,8 | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 1,3 | Потребляемая мощность, Вт | 5 | 4 | 1,2 | 0,2 | 0,24 |
| 1,4 | Уровень миниатюризации | 0,037 | 0,04 | 1,08 | 0,3 | 0,324 |
| 1,5 | Быстродействие, мс | 15 | 10 | 1,5 | 0,3 | 0,45 |
| М1= 0,2 214 M1Q1=0.24 | | | | | | |
| 2. Группа надежности | | | | | | |
| 2,1 | Безотказность, ч | 3000 | 3120 | 1,04 | 0,4 | 0,416 |
| 2,2 | Долговечность, лет | 5 | 5 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| 2,3 | Ремонтопригодность, баллы | 2 | 2 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| М2=0,2 =1.016 M2Q2=0.2 | | | | | | |
| 3. группа безопасности и эргономики | | | | | | |
| 3,1 | Безопасность, баллы | 2 | 2 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| 3,2 | Гигеенические, баллы | 2 | 2 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| 3,3 | Антропометрические, баллы | 3 | 3 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| 3,4 | Психофизиологические, баллы | 3 | 3 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| М3=0,1 =1 M3Q3=0.1 | | | | | | |

Продолжение таблицы 10

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 4. Группа эстетики | | | | | | |
| 4,1 | Выразительность, баллы | 2 | 2 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| 4,2 | Рациональность формы, баллы | 3 | 3 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| 4,3 | Целостность композиции, баллы | 2 | 2 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| 4,4 | Совершенство производственного исполнения, баллы | 2 | 3 | 1,5 | 0,2 | 0,3 |
| М4=0,2 =1,1 М4Q4=0.22 | | | | | | |
| 5. Группа технологичности и унификации | | | | | | |
| 5,1 | Трудоемкость, н⋅ч | 12,1 | 9,21 | 1,31 | 0,2 | 0,262 |
| 5,2 | Материалоемкость, кг | 9 | 8,2 | 1,1 | 0,2 | 0,22 |
| 5,3 | Себестоимость, тыс.руб | 1,4 | 1,3 | 1,08 | 0,2 | 0,22 |
| 5,4 | Применяемость | 0,5 | 0,6 | 1,2 | 0,2 | 0,24 |
| 5,4 | Коэффициент технологичности | 0,58 | 0,46 | 1,26 | 0,2 | 0,25 |
| M5=0.3 =1.19 M5Q5=0.33 | | | | | | |
| =1.09 | | | | | | |

Анализируя результаты сравнения полученных показателей качества базового и рассматриваемого образцов можно сделать вывод, что новый образец качественнее старого на 9%.

**Заключение**

В процессе курсовой работы была разработана конструкция предварительного усилителя мощности коротковолнового передатчика, был произведен расчет печатного монтажа, радиатора применяемого для охлаждения, надежности применяемых ЭРЭ и комплексного показателя качества.

Полученные результаты показали, что в дальнейшем следует большее внимание уделить разработке и расчетам систем охлаждения и повышению надежности блока.

В процессе выполнения курсовой работы, мною были приобретены навыки разработки конструкции блока, расчета его печатного монтажа, надежности применяемых ЭРЭ, теплового режима и качества изделия.

# **Список используемых источников**

1. Муромцев Ю.Л., Грошев В.Н., Чернышева Т.И. “Надежность радиоэлектронных и микропроцессорных систем”: Учебное пособие/ Московский институт хим. Машиностр. М.: 2006.–104с.

2. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры / Е.М. Парфенов, В.П. Усачев.– М.: Радио и связь, 2003

3. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник/Под ред. А.В. Голомедова.–М.:Радио и связь, 2005.

4. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / П.И. Овсищер, Ю.В. Голованов, В.П. Кровешников и др.; под ред. П.И. Овсищера. – М.: Радио и связь, 1998. – 232 с.; ил.

5. Конструирование и микроминитюаризация радиоэлектронной аппаратуры / П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – Л.: Энергоатомиздат, 1999. – 536 с.

6. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справ. Пособие / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов, Т.П. Новикова. – М.: Радио и связь, 1994. – 256 с.