

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники»
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Н.И. Войтович

« ____ » _____ 2018 г.

Разработка печатного узла блока формирования режимов и защиты.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУРГУ-11.03.03.2018.894 ПЗ

Руководитель проекта,
доцент к.т.н.

Л.П.Кудрин

« ____ » _____ 2018 г.

Автор работы
студент группы КЭ-480

С.Г. Мальчихин

« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролер

« ____ » _____ 2018г

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Мальчихин С.Г. Разработка печатного узла блока формирования режимов и защиты. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2018 44 с., 5 ил., библиогр. список – 8 наим., 2 прил., 5 листов формата А1

В данной выпускной квалификационной работе был разработан печатный узел блока формирования режимов и защиты. При разработке функционального узла были произведены работы по выбору элементной базы, соответствующей техническому заданию и схеме электрической принципиальной; определены необходимые тип и класс точности печатного узла.

При выборе материала печатной платы учитывали тот факт, что он должен обладать высокой механической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами, иметь высокую нагревостойкость, а также иметь высокую степень адгезии печатных проводников.

Требования технического задания были полностью учтены. Вариант компоновки и соответствующий ему вариант трассировки являются достаточно удачным.

Проведены проверочные расчеты собственных резонансных частот печатного узла.

Проведен расчет надежности для данного функционального узла.

В процессе разработки печатных плат использовались такие САПР, как Autodesk Inventor, Altium Designer, Autodesk Mechanical.

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Мальчихин С.Г.			Разработка блока Формирования режимов и защиты	Лит.	Лист	Листов
Провер.							2	
Реценз.						ЮУрГУ Кафедра КиПР		
Н. Контр.								
Утверд.								

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	5
1.1 Принцип работы	5
1.2 Изучение литературы, нормативных документов.....	8
2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	9
2.1 Разработка печатного узла	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
2.2 Выбор материалов	15
2.3 Посадочные места. Создание библиотеки	16
2.4 Расчет надежности.....	16
2.5 Расчет собственных резонансных частот.....	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	43

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

ВВЕДЕНИЕ

Системы передачи информации в радиочастотном диапазоне обычно включают в себя усилители мощности, построенные как на основе традиционно применяемых ламп, так и мощных транзисторов.

Несмотря на ряд преимуществ применения транзисторов при усилении относительно небольшой мощности сигнала, ламповые усилители при мощности 1кВт и более обладают большим КПД, меньшими габаритами и лучшей надежностью.

В последнее время наибольшее распространение получили усилители использующие на выходе генераторные тетроды.

Тетроды по сравнению с триодами, обладающими высокой линейностью усиления, позволяют получить более высокое усиление, что существенно снижает требования к величине мощности раскачки, а соответственно и упрощению всего устройства в целом.

Однако, для тетродов характерно наличие динатронного эффекта, заключающегося в том, что при определенных режимах питания тетрода поток внутренних электронов от анода устремляется к экранной сетке, создавая опасные для нее токи вплоть до разрушений.

Это приводит к необходимости организации алгоритма питания электродов лампы и создания устройств защиты, обеспечивающих безопасную эксплуатацию генераторных ламп. Это в особенности и касается современных высокоэффективных металлокерамических ламп.

Большая часть известных разработок базируется на использовании электронно-релейных устройств, обеспечивающих управление и защиту выходных ламп усилителей.

Целью данной работы является создание основного блока режимов и защиты тетродов, входящих в состав линейного усилителя мощности с микропроцессорным управлением.

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

1.1 Принцип работы

Данное устройство используется в измерительной технике.

Устройство предназначено для формирования режимов и защиты тетродов.

Состав: устройство состоит из одной печатной платы.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы необходимо разработать печатный узел основного блока режимов и защиты тетродов. Для разработки печатного узла необходима принципиальная электрическая схема, перечень элементов с указанием номиналов, необходимое размещение важных элементов, краткое описание работы устройств.

Информация необходимая для разработки печатного узла:

1. Существует несколько видов печатных плат: односторонняя, двусторонняя и многослойная. Какая должна быть плата?

2. Какая форма и размер печатной платы? Для создания стандартной формы платы нет необходимости использовать чертеж, а если плата нестандартной формы потребуется ее эскиз, где будут указаны зоны, запрещающие разводку печатных проводников.

3. Наличие монтажных отверстий и отверстий для крепления с их расположением и размерами.

4. Минимальная ширина проводников, наличие участков экранирования.

5. Если есть нестандартные элементы, то предоставить на них чертежи или эскизы с размерами, диаметром выводов, цоколевкой ножек.

6. Маркировка должна быть нанесена на печатную плату.

В качестве программного обеспечения для проектирования печатных плат можно использовать системы автоматического проектирования, такие как P-CAD 2006, OrCAD, Altium Designer, Mentor Graphics Pads и другие.

Различают три класса ЭА по объекту установки: наземная, морская и бортовая. В каждом классе различают специализированные группы в зависимости от объекта установки. Конструкция ЭА различного назначения, устанавливаемой

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

на различные объекты, имеют особенности, вытекающие из специфики назначения и условий эксплуатации.

В данной работе используется стационарная электронная аппаратура (ЭА)[5]. Группа ЭА обуславливает уровень внешних воздействий, конструкторско-технологические ограничения в соответствии со стандартами: типоразмеры модулей и ПП, конструкцию модулей, способ закрепления в модулях более высокого конструктивного уровня и пр.

Для стационарной ЭА характерна работа в помещении с нормальными климатическими условиями: температурой (25 ± 10) °С, относительной влажностью (65 ± 15) % (при 30 °С), атмосферным давлением $(8,36—10,6) \cdot 10^4$ Па (630—800 мм рт. ст.), воздух без химических примесей и пыли, отсутствие механических перегрузок во время работы; подверженность механическим воздействиям в нерабочем состоянии при транспортировке.

Выбор класса точности ПП:

ГОСТ Р 53429-2009 устанавливает семь классов точности выполнения элементов конструкции ПП, каждый из которых характеризуется минимальным допустимым значением номинальной ширины проводника (t), расстоянием между проводниками (S), расстоянием от края просверленного отверстия до края контактной площадки, ширины контактной площадки (b).

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ					

Таблица 1 - класс точности печатного монтажа (ГОСТ Р 53429-2009)

Наименование элемента проводящего рисунка	Обоз.	Размеры элементов, мм						
		1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	<i>t</i>	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводников и контактной площадкой	<i>S</i>	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	<i>b</i>	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02	0,015

В качестве основания печатной платы используются слоистые диэлектрики на основе стеклоткани (стеклотекстолиты). Выбор материала определяется электроизоляционными свойствами, механической прочностью, обрабатываемостью, стабильностью параметров при воздействии агрессивных сред и изменяющихся климатических условий, себестоимостью.

Надежность — одно из важнейших свойств изделий, в том числе электронных устройств, которое определяет их эксплуатационную пригодность. Показатели надежности являются техническими параметрами изделия наряду с точностью, коэффициентом полезного действия, масса—габаритными характеристиками и пр. Техническое задание на разработку любого изделия должно содержать раздел (подраздел) с требованиями по надежности.

1.2 Изучение литературы, нормативных документов

В ходе дипломного проектирования в качестве источников будут применяться:

- 1 - нормативные документы;
- 2 - учебно-методические пособия;
- 3 - электронные каталоги библиотек;
- 4 - периодические издания;
- 5 - справочные материалы;
- 6 - информация интернет-источников.

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Разработка печатного узла

Целью данной ВКР является разработка печатного узла блока управления и защиты тетродов.

Конструктивные требования, сформулированные заказчиком:

1. Размещение элементов должно быть на плате из фольгированного стеклотекстолита. Размер платы должен быть - 150x200x1.5 мм. Отверстия должны быть металлизированы с двух сторон
2. Элементы с выводами должны быть расположены на лицевой стороне платы, а безвыводные компоненты должны быть установлены преимущественно на противоположной стороне платы.
3. Вся фольга с обеих сторон платы, не используемая в соединительных дорожках между элементами, должна быть обязательно соединена с корпусом.
4. Привязка элементов, оговоренная заказчиком представлена на эскизе, (рисунок 1).

Шаг координатной сетки выбран 1,25 мм, выбран с учетом наименьшего элемента, находящегося на ПП.[4]

Выбор класса точности печатной платы:

Существует семь классов точности выполнения элементов конструкции ПП[5].

Основными критериями которые влияют на выбор класса точности ПП являются:

- конструкторская сложность - степень насыщенности поверхности ПП ЭРИ при традиционной элементной базе или число выводов поверхностно монтируемых компонентов (ПМК) и шаг их расположения;
- элементная база (интегральные микросхемы, бескорпусные элементы);
- тип, число и шаг выводов ЭРИ (штыревые, планарные, безвыводные, матричные);
- массогабаритные характеристики;

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

- уровень технологического оснащения конкретного производства.

Для разрабатываемой печатной платы, ссылаясь на таблицу 1 - класс точности печатного монтажа, выбран 3 класс точности.

В качестве конструктивного металлического покрытия используется ПОС-61 ГОСТ 21931-76.

По структуре печатная плата двухсторонняя. Переходные отверстия располагаются в узлах координатной сетки. Монтажные отверстия согласно эскизу платы. Ширина проводников - 1 мм, ширина проводников питания 2 мм. Зазор между проводниками не менее 0,4 мм.

Размещением называют такое взаимное расположение элементов, при котором наилучшим образом учитываются предъявляемые к аппаратуре требования.

Главная цель размещения - создание наилучших условий для трассировки.

Критерии размещения элементов:

- минимальная суммарная взвешенная длина проводников;
- минимум числа соединений, длина которых больше заданной;
- минимум числа пересечений;
- минимум расстояния между элементами.

Учитываются те сведения, что задано конкретное местоположение для разъемов ХР1 – ХР12.

Рисунок 1 – зафиксированное положение элементов (Блока формирования режимов и защиты)

Результат размещения элементов представлен на рисунках 2 и 3.

Рисунок 2 – Размещение элементов на печатную плату верхняя сторона

Рисунок 3 – Размещение элементов на печатную плату нижняя сторона

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ				

Трассировка печатной платы — разработка топологии электрических соединений между посадочными местами электронных компонентов, устанавливаемых на печатную плату.

Критерии выполнения трассировки:

- минимальная суммарная длина проводников;
- минимальное число пересечений проводников;
- равномерность расположения проводников;
- минимальное количество изгибов проводника;
- минимальное количество слоёв платы;
- минимальная протяжённость параллельных участков соседних проводников.

Результаты трассировки представлены на рисунках 3 и 4.

Рисунок 4 - Трассировка (верхняя сторона)

Рисунок 5 – Трассировка (Нижняя сторона)

Рисунок 6 – Модель печатной платы верхняя сторона

Рисунок 7 – Модель печатной платы нижняя сторона

2.2 Выбор материалов

Материал печатной платы — фольгированный стеклотекстолит. Толщина печатной платы - 1.5 мм.

Для изготовления печатных плат используются слоистые диэлектрики, плакированные электролитической медью. К материалам для печатных плат предъявляются следующие требования:

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

- теплопроводность и теплоемкость должны быть максимальны для отвода тепла от печатных медных проводников;
- стойкость к химическим, внешним воздействиям;
- высокие механические свойства (твердость, прочность на изгиб, сжатие, растяжение, вибростойкость);
- допускать возможность обработки резанием и штамповкой;
- сохранять свои свойства при воздействии климатических факторов, а также в процессе создания рисунка схемы и пайки.

Они должны обладать высокой термостойкостью (260°C в течение 5—20с) и малой влагопроницаемостью (0,2% - 0,8%).

Поверхностное сопротивление при 40°C должно быть не менее 104 МОм.

Чистота меди должна быть не менее 99,5%.

Шероховатость не хуже 0,4 мкм.

В качестве материала для изготовления ПП выбираем стеклотекстолит СФ2-35-1.5 ГОСТ 10316-88, он уверенно выдерживает перепады температур, Вибрационные нагрузки, климатические удары (в отличие от гетинакса, который! со временем имеет свойство расслаиваться):

- толщина фольги — 35 мкм;
- толщина основания (стеклотекстолита) - 1.5 мм.

Для компоновки и трассировки печатной платы использовалась САПР Altium Designer 2017. Для компоновки и трассировки была создана библиотека используемых элементов, включающая в себя УГО, посадочные места и 3D модели элементов.

Для создания объемных моделей элементов и корпуса использовалась САПР Autodesk Inventor 2019. Данные системы автоматизированного проектирования были выбраны, как отвечающие всем современным требованиям и обладающие понятным и дружелюбным интерфейсом.

2.3 Посадочные места. Создание библиотеки.

Создание библиотеки элементов является первым шагом работы над проектом. При создании библиотечных элементов проходят следующие этапы:

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- создание схемного (символьного) образа элемента;
- создание посадочного места для элемента на печатной плате (причем правила создания посадочных мест для элементов со штыревыми и планарными контактами отличаются друг от друга);
- создание взаимосвязи между схемными и технологическими библиотечными элементами;
- внесение библиотечных элементов в библиотеки.

2.4 Расчет надежности

Для определения надежностных свойств каждой составной части изделия будет использован справочный материал.[8] На основе этих данных производится определение суммарных вероятностных характеристик всего изделия

1.1 Эксплуатационный показатель интенсивности отказа $\lambda_{\text{Э}}$ для всех элементов, кроме микросхем, платы, определяется по формуле:

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б}} (\lambda_{\text{б..с.г}}) \cdot K_{\text{Р}},$$

где $\lambda_{\text{б}}$ - базовая интенсивность отказов для элемента;

$\lambda_{\text{б..с.г}}$ - базовая интенсивность для группы элементов;

Справочник "Надежность электрорадиоизделий" построен по принципу перечисления групп изделий по интенсивности отказов, каждая из которых включает в себя разновидность различных элементов данной группы и значения интенсивности отказа этих элементов, т.е $\lambda_{\text{б}}$.

$K_{\text{Р}}$ - коэффициент режима работы, который зависит от коэффициента нагрузки элемента ($K_{\text{Н}}$), температурного состояния и электрической нагрузки.

1.2 Для расчета эксплуатационной интенсивности отказа интегральных микросхем (ИМ) используется другой вид математической модели:

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б..}} (\lambda_{\text{б..с.г}}) \cdot K_{\text{С.Т}} \cdot K_{\text{КОРП}} \cdot K_{\text{V}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ИС}},$$

						11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			13

где $K_{C.T}$ - коэффициент режима в зависимости от типа корпуса ИМ, определяется по таблице;

$K_{КОРП}$ - коэффициент в зависимости от типа корпуса ИМ, определяется по таблице;

K_V - коэффициент в зависимости от максимальных значений напряжения питания, определяется по таблице;

$K_Э$ - коэффициент жесткости условий эксплуатации, в данной работе $K_Э=1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации;

$K_{ПР}$ - коэффициент приемки, в данной работе $K_{ПР}=1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации;

$K_{ИС}$ - коэффициент учитывающий степень освоенности технологического процесса $K_{ИС}=1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации.

1.3 Для расчета эксплуатационного показателя интенсивности отказа платы используется следующая модель:

$$\lambda_э = \lambda_б \cdot K_Э \cdot [N_1 \cdot K_C + N_2 \cdot (K_C + 13)],$$

где $\lambda_б$ - базовая интенсивность отказа в зависимости от технологии межсоединений;

N_1 - количество сквозных отверстий, пропаянных волной;

N_2 - количество сквозных отверстий, пропаянных ручной пайкой;

K_C - коэффициент в зависимости от сложности (количества слоев в плате).

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Интенсивность отказа всего печатного узла (Λ), определяется по формуле:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_{эi}.$$

Среднее время безотказной работы ($T_{ср}$) определяется по формуле:

$$T_{ср} = 1 / \Lambda .$$

2. Расчет параметров надежности платы

2.1 Значение эксплуатационного показателя интенсивности отказа платы будет рассчитываться по следующей формуле, т.к. $N_1 = 0$, потому что количество сквозных отверстий, пропаянных волной равно 0. N_2 – количество сквозных отверстий, пропаянных ручной пайкой.

$$\lambda_э = \lambda_б \cdot K_э \cdot N_2 \cdot (K_c + 13),$$

$$\lambda_б = 0,0017 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч};$$

$K_э = 1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации;

$$N_2 = 370.$$

$$K_c = 1.$$

$$\lambda_э = 0,088 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

2.2 Расчет параметров надежности разъемов

Разъемы относятся к группе низкочастотных прямоугольных соединителей для печатного монтажа, поэтому по таблице:

$$\lambda_{б.с.г} = 0,005 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}.$$

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа $\lambda_э$ для разъема, примет вид:

$$\lambda_э = \lambda_{б.с.г} \cdot K_p$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

где $K_p = 0,1$

$$\lambda_3 = 0,005 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 = 0,0005 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество разъемов, используемых в данном изделии $N_i=10$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа штепсельных вилок

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,005 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.3 Расчет параметров надежности трансформатора ВВЕИ 541 1130

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для трансформатора, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_T$$

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,005 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, по таблице, значение $K_T = 1,08$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К15-5, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_T = 0,005 \cdot 10^{-6} \cdot 1,08 = 0,054 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество трансформаторов, используемых в данном изделии $N_i=1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа:

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,054 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.4 Расчет параметров надежности Реле TRIL

Реле TRIL относится к группе электромагнитных реле, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,052 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

С учетом этих данных, по таблице, значение $K_P = 0,401$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для Реле TRIL, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,052 \cdot 10^{-6} \cdot 0,401 = 0,02086 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество Реле TRIL, используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,04 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.5 Расчет параметров надежности конденсатора К15-5

Для конденсатора К15-5: $\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,03 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

С учетом этих данных, по таблице, значение $K_P = 0,407$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К15-5, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,407 = 0,01221 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К15-5 используемых в данном изделии $N_i = 10$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.6 Расчет параметров надежности конденсатора К73-44

Данный конденсатор относится к группе металлобумажных, поэтому по таблице:

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,02 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Конденсатор К73-44 является пассивным элементом, поэтому значение

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, по таблице, значение $K_P = 0,311$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К73-44, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 0,311 = 0,006 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К73-44 используемых в данном изделии $N_i = 4$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,024 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

2.7 Расчет параметров надежности конденсатора К50-35

Данный конденсатор относится к группам оксидно-электролитическим алюминиевым, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,19 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных значение $K_P = 0,526$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К50-35, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,19 \cdot 10^{-6} \cdot 0,526 = 0,099 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К50-35 используемых в данном изделии $N_i = 14$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \cdot \lambda_3 = 1,386 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

2.8 Расчет параметров надежности конденсатора К73-17

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Данный конденсатор относится к группе с органическим синтетическим диэлектриком, полиэтилентерефталатным низковольтным конденсаторам, поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{`}} = 0,043 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_{\text{H}} = 0,6, t_{\text{C}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

С учетом этих данных значение $K_{\text{P}} = 0,301$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа $\lambda_{\text{э}}$ для конденсатора К73-17, примет вид:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{`}} \cdot K_{\text{P}} = 0,043 \cdot 10^{-6} \cdot 0,301 = 0,013 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К73-17 используемых в данном изделие $N_i = 4$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \cdot \lambda_{\text{э}} = 0,052 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

2.9 SMD 1206 Конденсатор

Данный конденсатор относится к группе керамических конденсаторов, поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{`}} = 0,019 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_{\text{H}} = 0,6, t_{\text{C}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

С учетом этих данных значение $K_{\text{P}} = 0,526$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа $\lambda_{\text{э}}$ для конденсатора 1206, примет вид:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{`}} \cdot K_{\text{P}} = 0,019 \cdot 10^{-6} \cdot 0,526 = 0,009 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов 1206 используемых в данном изделии $N_i = 18$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \cdot \lambda_{\text{э}} = 0,162 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

2.10 Расчет параметров надежности конденсатора К78-2

Для конденсатора К78-2:

$$\lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{}} = 0,012 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_{\text{Н}} = 0,6, t_{\text{С}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_{\text{Р}} = 0,301$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа $\lambda_{\text{э}}$ для конденсатора К78-2, примет вид:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{}} \cdot K_{\text{Р}} = 0,043 \cdot 10^{-6} \cdot 0,301 = 0,013 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К78-2 используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \cdot \lambda_{\text{э}} = 0,026 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

2.11 Расчет параметров надежности микросхемы LM358

Данная микросхема относится к группе интегральных полупроводниковых аналоговых.

Формула для расчета эксплуатационной интенсивности отказа интегральной микросхемы LM358, примет вид:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{}} \cdot K_{\text{С.Т}} \cdot K_{\text{КОРП}} \cdot K_{\text{V}},$$

$$\lambda_{\text{б.с.г}}^{\text{}} = 0,037 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч;}$$

$$K_{\text{С.Т}} = 1,42 \text{ (10-100 бит)}$$

$$K_{\text{V}} = 1;$$

$$K_{\text{КОРП}} = 3 \text{ (пластмассовый корпус).}$$

$$\lambda_{\text{э}} = 0,157 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Количество микросхем LM358 используемых в данном изделии $N_i=2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа микросхем $N_i \cdot \lambda_3 = 0,314 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.12 Расчет параметров надежности резистора MF

Данный резистор относится к группе металлоокисные, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,006 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,90$

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для резистора MF, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,006 \cdot 10^{-6} \cdot 0,90 = 0,0054 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество резисторов MF используемых в данном изделии $N_i=23$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,124 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.13 Расчет параметров надежности резистора SMD 1206

Данный резистор относится к группе композиционные пленочные, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,03 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,75$

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для резистора SMD 1206, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,75 = 0,022 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Количество резисторов SMD 1206 используемых в данном изделии $N_i=23$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,517 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.14 Расчет параметров надежности резистора SQP

Данный резистор относится к группе проволочные, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,032 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,6, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,49$

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для резистора SQP, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,032 \cdot 10^{-6} \cdot 0,49 = 0,015 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество резисторов SQP используемых в данном изделии $N_i=3$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,047 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.15 Расчет параметров надежности диода 1N4002

Данный диод относится к группе выпрямительных, кремниевых, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,5467$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для диода 1N4002, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5467 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Количество диодов 1N4002 используемых в данном изделии $N_i=14$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_o = 0,77 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.16 Расчет параметров надежности диода 1N5381B

Данный диод относится к группе стабилитронов, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,004 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,643$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_o для диода 1N5381B, примет вид:

$$\lambda_o = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 0,643 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество диодов 1N5381B используемых в данном изделии $N_i=1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_o = 0,055 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.17 Расчет параметров надежности диода BZX79C7V5

Данный диод относится к группе стабилитронов поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,004 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,643$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_o для диода BZX79C7V5, примет вид:

$$\lambda_o = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 0,643 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Количество диодов BZX79C7V5 используемых в данном изделии $N_i=2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,11 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.18 Расчет параметров надежности диода 1N5711

Данный диод относится к группе выпрямительных, кремниевых, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,5467$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для диода 1N5711, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5467 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество диодов 1N5711 используемых в данном изделии $N_i=2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,11 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.19 Расчет параметров надежности диода 1N5383, 1N5363

Данные диоды относятся к группе стабилитронов поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,004 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, по таблице, значение $K_P = 0,643$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для диодов 1N5383, 1N5363, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 0,643 = 0,00257 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Количество диодов 1N5383, 1N5363 используемых в данном изделии $N_i=4$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,22 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.20 Расчет параметров надежности диода 1N5408

Данный диод относится к группе выпрямительных, кремниевых, поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,5467$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для диода 1N5408, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5467 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество диодов 1N5408 используемых в данном изделии $N_i=1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,055 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

2.21 Расчет параметров надежности диода 1N4007

Данный диод относится к группе выпрямительных, кремниевых, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,5467$.

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для диода 1N4007, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_p = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5467 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество диодов 1N4007 используемых в данном изделии $N_i=1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа диодов $N_i \cdot \lambda_3 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$

2.22 Расчет параметров надежности транзистора 2n3904 2n5551 2n3904

Данный транзистор относится к группе кремниевых биполярных малой мощности, поэтому по таблице

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,006 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_p = 0,6637$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для транзисторов 2n3904 2n5551 2n3904, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_p = 0,006 \cdot 10^{-6} \cdot 0,6637 = 0,004 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество транзисторов, используемых в данном изделии $N_i=4$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа транзисторов:

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,016 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.23 Расчет параметров надежности транзистора BF423

Данный транзистор относится к группе кремниевых биполярных средней мощности, поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,081 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,6637$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для транзистора BF423, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,081 \cdot 10^{-6} \cdot 0,6637 = 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество транзисторов используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа транзисторов

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.24 Расчет параметров надежности транзистора IRF740

Данный транзистор относится к группе кремниевых биполярных малой мощности, поэтому по таблице:

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,086 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,8, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

С учетом этих данных, по таблице, значение $K_P = 0,6637$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для транзистора IRF740 примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,086 \cdot 10^{-6} \cdot 0,6637 = 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество транзисторов IRF740 используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа транзисторов

$$N_i \cdot \lambda_3 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

2.25 Расчет параметров надежности дросселей

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Для дросселей ЕС и RLB значение интенсивности отказа:

$$\lambda_{\text{б.с.г}} = 0,02 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

$$K_H = 0,4, t_C = 40 \text{ }^\circ\text{C.}$$

С учетом этих данных, значение $K_P = 0,47$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_o примет вид:

$$\lambda_o = \lambda_{\text{б.с.г}} \cdot K_P = 0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 0,47 = 0,009 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество дросселей используемых в данном изделии $N_i = 8$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа транзисторов

$$N_i \cdot \lambda_o = 0,072 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Таблица 2 - Расчет показателей надежности

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

N	Наименование элемента	N _i	$\lambda_{б..} (\lambda_{б..с.г}) \cdot 10^{-6}$ 1/ч	K _p	$\lambda_{3} \cdot 10^{-6}$ 1/ч	$\lambda_{3} \cdot N_{i} \cdot 10^{-6}$ 1/ч
1	Плата	1	$0,0017 \cdot 10^{-2}$	-	$0,088 \cdot 10^{-6}$	-
2	Разъемы	10	0,005	0,1	0,0005	0,005
3	Трансформатор BVEI 541 1130	1	0,005	1,08	0,054	0,054
4	Реле TRIL	2	0,052	0,401	0,02	0,04
5	Конденсатор K15-5	10	0,03	0,407	0,012	0,12
6	Конденсатор K73-44	4	0,02	0,311	0,006	0,024
7	Конденсатор K50-35	14	0,19	0,526	0,099	1,386
8	Конденсатор K73-17	4	0,043	0,301	0,013	0,052
9	Конденсатор SMD 1206	18	0,019	0,526	0,009	0,162
10	Конденсатор K78-2	2	0,012	0,301	0,013	0,026
11	Микросхема LM358	2	0,037	-	0,157	0,314
9	Резистор MF	23	0,006	0,90	0,0054	0,124
11	Резисторы SMD 1206	23	0,03	0,75	0,022	0,517
12	Резистор SQP	3	0,03	0,49	0,015	0,045
13	Диод 1N4002	14	0,1	0,5467	0,055	0,77
14	Диод 1N5711	2	0,1	0,5467	0,055	0,11

Продолжение таблицы

15	Диод 1N5408	4	0,1	0,5467	0,055	0,22
16	Диод 1N4007	1	0,1	0,5467	0,055	0,055
17	Диод 1N5381B	1	0,004	0,643	0,055	0,055
18	Диод BZX79C7V5	2	0,004	0,643	0,055	0,11
19	Диоды 1N5383, 1N5363	4	0,004	0,643	0,055	0,22
20	Транзисторы 2N3904,2N5551, 2N3904	4	0,006	0,6637	0,004	0,016
21	Транзистор BF423	2	0,081	0,6637	0,05	0,1
22	Транзистор IRF740	2	0,086	0,6637	0,05	0,1
23	Дроссели RLB, ЕС	8	0,02	0,47	0,009	0,072

3. Интенсивность отказа всего печатного узла Λ .

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_{zi} = [0.005 + 0.054 + 0.04 + 0.12 + 0.024 + 1.386 + 0.052 + 0.162 + 0.026 + 0.314 + 0.124 + 0.517 + 0.045 + 0.77 + 0.11 + 0.22 + 0.055 + 0.055 + 0.11 + 0.22 + 0.016 + 0.1 + 0.1 + 0.072] \cdot 10^{-6} = 16,577 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Среднее время безотказной работы $T_{\text{ср}}$:

$$T_{\text{ср}} = 1/\Lambda = 1/(16,577 \cdot 10^{-6}) = 0,06 \cdot 10^6 \text{ ч} = 60 \text{ 000 ч.}$$

												Лист
												30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								

11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ

2.5 Расчет собственной резонансной частоты печатных узлов.

- Закрепление печатной платы в соответствии с рисунком.

Рисунок 1- Закрепление печатной платы

- Габариты печатной платы $a = 150$ мм, $b = 200$ мм, $h = 1,5$ мм.

- Масса и количество элементов представлены в таблице 1.

Таблица 3 – Масса элементов

№ элемента	Наименование элемента	Количество элементов	Масса элемента, г
	Конденсаторы		
1	SMD 1206	18	0.8
2	K15-5-3000-2.2нФ	2	12
3	K15-5-1600-2.2нФ	2	2
4	K15-5-1600-10 нФ	6	2
5	K73-17-630-0.1мкФ	3	1,66
6	K73-17-250-0.1мкФ	1	0,52
7	K73-44-100-47нФ	4	1,6
8	K78-2-1000-22нФ	2	2,5
9	K-50-35-250-22мкФ	1	1
10	K-50-35-35-470мкФ	1	1.6
11	K50-35-25-3300мкФ	1	9

Продолжение Таблицы

12	K50-35-10-10мкФ	2	1.9
----	-----------------	---	-----

13	К50-35-10-1мкФ	1	1
14	К50-35-300-100мкФ	2	3.6
15	К-50-35-35- 1000мкФ	1	7.5
	Микросхемы		
16	LM358	2	0,43
	Предохранитель		
17	ВП-2Б-1В	3	2
	Дроссели		
18	ЕС-24	1	0.18
19	RLB1314	4	4,59
20	RLB0912	2	1.88
21	RLB0914	1	2.69
22	Резисторы SMD 1206	21	0,6
23	MF-25	10	1
24	MF-50	3	1.5
25	MF-100	5	2
26	MF-200	5	3.5
27	SQP-5	1	5
28	SQP-10	2	11
29	Трансформатор BVEI 541 1130	1	400
	Диоды		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ

Лист

32

Продолжение таблицы

30	1N4002	14	0.33
31	1N5381B	1	1
32	BZX79C7V5	2	0,12
33	1N5711	2	0,15
34	1N5383	2	0.7
35	1N5363	2	0.7
36	1N5408	1	1.1
37	1N4007	1	0.33
	Транзисторы		
38	BF423	2	0.22
39	2N3904	1	0.18
40	IRF740	2	0.3
41	2N5551	1	0.2
42	2N3904	2	0.2
	Разъемы		
43	WF-3	4	1.55
44	WF-5	1	2.6
45	PWL-3	2	2.2
46	WF-10	2	5.2
47	HPB-6	1	1.8
48	Реле TRIL-24VDC	2	14

Для расчета резонансной частоты воспользуемся формулой:

$$f_0 = \left(\frac{c \cdot h}{a^2}\right) 10^5 K_M \cdot K_{MAC}$$

f_0 -[Гц]

h -[мм]

a -[мм]

Значение коэффициента c определяется способом закрепления печатной платы и соотношением длин сторон a/b .

$$a/b = 150\text{мм}/200\text{мм} = 0,75$$

Следовательно

$$c = \frac{(67,3 - 55,3) \cdot \left(\frac{a}{b} - 1\right)}{1 - 0,5} + 55,3 = 61,3$$

Значение коэффициента K_M определяется по формуле

$$K_M = \sqrt{\frac{E\rho_c}{E_c\rho}},$$

где E_c —модуль Юнга стали;

E —модуль Юнга стеклотекстолита;

ρ_c — плотность стали;

ρ — плотность стеклотекстолита.

$$E_c = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$$

$$E = 3,3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$$

$$\rho_c = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho = 2,35 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Подставим значения в формулу (2):

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

$$K_M = \sqrt{\frac{3,3 \cdot 10^{10} \cdot 7,85 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,35 \cdot 10^3}} = 0,72$$

Для расчета коэффициента K_{MAC} воспользуемся формулой

$$K_{MAC} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_э}{m_n}}},$$

где $m_э$ – масса всех элементов, установленных на печатную плату, кг;

m_n – масса печатной платы без элементов, кг.

Масса элементов рассчитывается по формуле

$$m_э = \sum_{i=1}^{64} m_i n_i$$

где m_i – масса элемента i -го типа, г;

n_i – количество элементов i -го типа.

Подставим в формулу данные из таблицы 1.

$$\begin{aligned} m_э = & 18 * 0,8 + 2 * 12 + 2 * 2 + 6 * 2 + 3 * 1.66 + 0.52 + 4 * 1.6 + 2 * 2.5 + \\ & 1 + 1.6 + 9 + 2 * 1.9 + 1 + 2 * 3.6 + 7.5 + 0.43 * 2 + 3 * 2 + 0.18 + 4 * 4.59 + 2 * \\ & * 1.88 + 2.69 + 21 * 0.6 + 10 + 3 * 1.5 + 5 * 2 + 5 * 3.5 + 5 + 22 + 400 + 14 * \\ & * 0.33 + 1 + 2 * 0.12 + 2 * 0.15 + 1.1 + 0.33 + 0.44 + 0.18 + 0.6 + 0.2 + 0.4 + \\ & + 1.55 * 4 + 2.6 + 4.4 + 10.4 + 1.8 + 28 = 0,673 \text{ кг} \end{aligned}$$

Для определения m_n воспользуемся формулой

$$m_n = \rho \cdot V,$$

где V —объем печатной платы, m^3

$$V = a \cdot b \cdot h = 0,2m \cdot 0,15m \cdot 0,0015m = 4,5 \cdot 10^{-5}m^3$$

Тогда

$$m_n = 2,35 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3} \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}m^3 = 0,105 кг$$

Подставим полученные значения в формулу K_{MAC}

$$K_{MAC} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,673}{0,105}}} = 0,36$$

Подставим вычисленные значения в формулу для определения резонансной частоты.

$$f_0 = \left(\frac{61,3 \cdot 1,5}{150^2} \right) \cdot 10^5 \cdot 0,72 \cdot 0,36 = 105,92 \text{ Гц}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован печатный узел блока управления усилителя. При разработке функциональных узлов были определены необходимые тип (двуслойная), класс точности (3 класс точности), размеры печатной платы (150x200x1,5). Шаг сетки выбран 1,25 мм согласно ГОСТ Р 51040—97 «Платы печатные. Шаги координатной сетки».

При выборе материала печатной платы было учтено, что материал должен обладать высокой механической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами, иметь высокую нагревостойкость, а также иметь высокую степень адгезии печатных проводников. В качестве материала выбран стеклотекстолит фольгированный СФ-2-35-1,5.

Вся фольга с обеих сторон, не задействованная в соединительных дорожках, оставлена и соединена с корпусом. Это применяется для экранирования проводников, чтобы уменьшить паразитные связи.

Требования технического задания были полностью учтены.

В процессе разработки печатных плат использовались такие САПР, как Autodesk Inventor, Autodesk Mechanical, Altium Designer.

В программе Autodesk Inventor были созданы модели элементов согласно перечню к принципиальной электрической схеме, сборка печатных узлов.

Autodesk Mechanical применялся для создания чертежа печатной платы, перечней элементов, спецификаций.

Проведены расчеты надежности печатной платы.

Вариант компоновки и соответствующий ему вариант трассировки являются достаточно удачным.

Был разработан комплект конструкторской документации на разрабатываемый узел.

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование и технология РЭС: Методические указания по дипломному проектированию / Составители: Б.В. Пермяков, В.Н. Степаненко; под ред. Б.В. Пермякова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 40 с.
2. Справочник конструктора РЭА: общие принципы конструирования. Под ред. Варламова Р. Г. М.: Сов. радио, 1980 – 480 с.
3. ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры: Государственный стандарт Российской Федерации – М.:Госстандарт России 1997 г.
4. ГОСТ Р 51040-97 Платы печатные. Шаги координатной сетки: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – М.:Стандартинформ 2009 г.
5. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник/ Е.В. Пирогова. – М.:ФОРУМ:ИНФА-М, 2005 г. – 560с.
6. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. – М.: Солон-пресс, 2009 г. – 432с.
7. Галас В.П., Градусов А.Б. Проектирование печатных плат с использованием САПР: Практикум для студентов специальности 210100/ Владим. Гос. Ун-т. Владимир, 2003. 55с.
8. Прытков С.Ф. Надежность ЭРИ: Справочник./ С. Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др.//Науч.рук С.Ф. Прытков – М.:22 ЦНИИИ МО РФ, 2002. – 574 с.

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Блок формирования режимов и защиты

Перечень элементов

11.03.03.2018.894.01.01ПЭЗ

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Блок формирования режимов и защиты

Спецификация

11.03.03.2018.894.01.03

					11.03.03.2018.894.00.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		