

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ.
Заведующий кафедрой
Н.И. Войтович

« »

2017 года

Разработка платы коммутации для двух частотной системы
посадки ПРМГ-2010

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-11.03.03.2017.560.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты:

Б.В. Жданов

«__»_____2017 года

Руководитель проекта

А.П.Ковалев

«__»_____2017 года

Автор проекта
студент группы КЭ-439

Т.Ф. Гайнуллин

«__»_____2017 года

Нормоконтролер

И.В. Абрамова

«__»_____2017 года

Челябинск 2017

Содержание

Введение	4
1 Постановка задачи.....	6
2 Анализ поставленной задачи	7
3 Схемотехнический раздел.....	8
3.1 Разработка схемы электрической принципиальной	8
3.2 Расчет токов цепей	11
3.2.1 Реле.....	11
3.2.2 Разработка защиты от превышения токов нагрузки.	14
3.2.3 Индикация на лицевой панели.....	16
3.2.4 Выбор резисторов	16
3.2.5 Выбор конденсаторов.....	21
3.2.6 Выбор диодов.....	21
3.2.7 Выбор разъемов платы	21
4 Конструкторский раздел	23
4.1 Разработка печатной платы коммутации	23
4.2 Расчет основных элементов проводящего рисунка	24
4.2.1 Основные параметры ПП	24
4.2.2 Расчет диаметра металлизированного отверстия	25
4.2.3 Расчет минимальной ширины проводника.....	25
4.2.4 Минимальный диаметр контактных площадок	26
4.3 Монтаж элементов на ПП	27
4.4 Расчет надежности печатного узла.....	28
4.4.1 Плата коммутации	29
4.4.2 Плата индикации.....	33
Заключение	36
Библиографический список	37
ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное) Структурная схема внешних связей платы коммутации 27 В	38
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Конструкторская документация на плату коммутации.....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Конструкторская документация на плату индикации для платы коммутации	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) Схема соединения платы коммутации и платы индикации	41

Введение

В настоящее время на военных аэродромах и аэродромах совместного базирования для захода на посадку на взлетно-посадочные полосы (ВПП) воздушных судов (ВС) оборудованных системой типа РСБН-2С используются посадочные радиомаячные группы типа ПРМГ-5 (ПРМГ-76У, ПРМГ-76УМ).

Диапазон частот работы радиомаяков изделия ПРМГ перекрывается с диапазонами международного распределения сотовой связи и телевидения. Поэтому по мере развития телекоммуникационных компаний все сложнее становится обеспечить удовлетворительный уровень сигналов навигации.

Одним из возможных путей решения возникающих проблем это переход в разрешенный диапазон частот, свободный от сотовой связи и телевидения.

В 2017 г. запланирована работа на АО «ЧРЗ «Полет» по разработке двухчастотного ПРМГ-2010, работающего как в старом (8 частотно-кодовых каналов), так и в новом (970-1000 МГц) частотном диапазоне.

Разработка изделия ПРМГ-2010 будет дальнейшим совершенствованием (модернизацией) серийно выпускаемого ПРМГ-76УМ. При модернизации ПРМГ-76УМ часть устройств будет невозможно использовать без существенной переработки или доработки. Одним из таких устройств является плата коммутации напряжения 27 В.

Цели работы заключаются в следующем:

а) разработать новую плату коммутации 27 В, обеспечивающую коммутацию напряжения +27 В для питания передатчиков и плат ИКР двухчастотного модернизированного ПРМГ-2010. Плата должна представлять съемное устройство размещаемое в шкафах ГДРМ и КРМ ПРМГ-76УМ;

б) обеспечить индикацию на лицевой панели платы режима работы и неисправности элементов платы коммутации для облегчения поиска неисправностей в плате коммутации и в шкафу радиомаяка;

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						4
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

в) обеспечить наработку на отказ платы коммутации 27 В не менее 10 000 ч.

Для достижения целей выпускной квалификационной работы необходимо решить следующие задачи:

- определить токи коммутации необходимые для работы передатчиков и плат ИКР разрабатываемых радиомаяков;
- выбрать оптимальный способ защиты коммутирующих цепей;
- выбрать способ отображения информации о исправности коммутирующей цепи.

Для решения первой задачи будет взят структурный блок, куда входит разрабатываемое устройство и рассчитаны мощности и токи потребляемые нагрузкой для данной ячейки.

Защита коммутирующих цепей будет построена на плавких вставках, выбор которых проведем после расчета токов нагрузок для решения первой задачи.

Информацию о работоспособности платы коммутации 27 В будет выведена на лицевую панель ячейки и реализована простой светодиодной индикацией.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 Постановка задачи

Для выполнения работы необходимо решить следующую задачу – разработать печатный узел платы коммутации для двухчастотной системы посадки ПРМГ-2010, который должен:

- обеспечить подачу напряжения на заданные комплекты аппаратуры;
- обеспечивать индикацию подачи напряжения на заданные комплекты аппаратуры ;
- разработать защиту коммутирующих реле;
- разместить плату в шкафу.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>6</i>

2 Анализ поставленной задачи

Плата коммутации один из необходимых узлов системы посадки в шкафу. На плате лежит одна из важнейших функций обеспечения напряжением питания комплектов радиомаяков.

Подача сигнала управления на плату, обеспечивает напряжением питания выбранный комплект радиомаяка. При этом на лицевой панели ячейки отображен выбор комплекта аппаратуры.

Для анализа нам предоставлена предыдущая плата коммутации от изделия ПРМГ-76УМ ТБИС.468361.013 ЭЗ. Рассмотрим ее принцип действия.

Имеется коммутирующее реле, на два контакта которого подается управляющий сигнал. Через вторую пару контактов проходит напряжение +27 В для питания комплектов. Воспользовавшись этим принципом разработаем схему.

И так напряжением необходимо обеспечить:

- 2 светоограждения;
- 2 комплекта дальномерного передатчика отечественного диапазона частот;
- 2 комплекта дальномерного передатчика международного диапазона частот;
- 2 комплекта глissадного передатчика
- индикации двух комплектов дальномерного передатчика отечественного диапазона частот;
- индикации двух комплектов дальномерного передатчика международного диапазона частот;
- индикации двух комплектов глissадных передатчиков.

Сделаем вывод: из полученного необходимо обеспечить 14 реле для коммутации всех необходимых напряжений.

Размещение платы коммутации в шкафу имеет свое стандартное место, а значит габаритные и присоединительные размеры разрабатываемой ячейки нам известны.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						7
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3 Схемотехнический раздел

В данном разделе будут рассмотрены основные схемотехнические решения для платы коммутации уже применяемые в предыдущей версии системы посадки ПРМГ-76УМ только дополненные необходимыми условиями из поставленной задачи.

3.1 Разработка схемы электрической принципиальной

На основе оптических реле будет построена схема коммутации.

Выбраны твердотельные реле поскольку они имеют ряд преимуществ над электромагнитными:

- а) Отсутствие электромагнитных помех при включении цепи;
- б) Высокий уровень быстродействия;
- в) Отсутствует «дребезг» контактов в следствии механических воздействий;
- г) Гарантированность срабатываний на протяжении большого промежутка времени;
- д) Экономность электропотребления;
- е) Входные и коммутируемые цепи надежно заизолированы друг от друга;
- ж) Стойкость к нагрузкам ударного и вибрационного характера;
- з) Компактность герметичного корпуса.

На рисунке 1 приведена типовая схема подключения реле от одного источника напряжения. Для ограничения тока управления реле включен резистор.

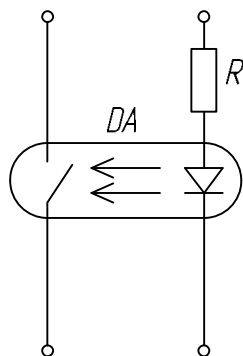


Рисунок 1 – Схема включения реле

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

«Входная цепь»

Далее необходимо понять, как поступает напряжение на данные цепи. Из анализа предыдущего схмотехнического решения в плате коммутации для ПРМГ-76УМ показано, что коммутация реле и светоограждения обеспечивается суммой основного и резервного источников питания. Возьмем схмотехническое решение, из предыдущего источника добавив несколько нововведений:

- индикацию поступающего напряжения;
- фильтрацию высокочастотных наводок на цепи питания источника, параллельным включением конденсаторов (рисунок 4).

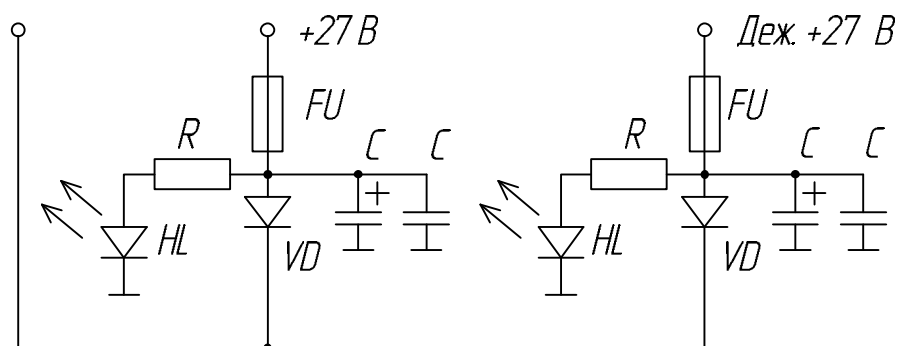


Рисунок 4 – Фильтрация высокочастотных помех на входном напряжении

На цепи питания комплектов напряжение +27 В поступает напрямую с основного источника, поэтому ему данная схема суммирования не требуется.

В связи с тем что плата коммутации должна монтироваться в шкаф, используем один низкочастотный разъем СНП260 для коммутации в шкаф.

Далее произведем расчет токов цепей и подбор необходимой элементной базы.

3.2 Расчет токов цепей

3.2.1 Реле

Для рационального подбора реле необходимо провести анализ входного напряжения и нагрузки на плату коммутации, тем самым выяснив рабочие напряжения и токи, которые плата коммутации должна обеспечивать непрерывно в работе системы посадки.

Входное напряжение обеспечивается несколькими источниками питания. Рассмотрим более подробно структурную схему представленную в приложении А. Основные источники «27 В 600 Вт», обеспечивают напряжением питания всю систему посадки. Дежурный источник обеспечивает бесперебойное питание индикации. Комплект аккумуляторных батарей предназначен для резервирования основных источников питания в случае отключения сети и рассчитан на непрерывную работу в течении не менее получаса.

На входе платы имеем напряжение питания 22–30 В. Рассмотрим структурную схему шкафа, а именно куда поступают сигналы после платы коммутации (рисунок 5).

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>11</i>

мощности. Рассчитаем мощности, которую могут потребить по цепи «27 В» преобразователи указанные выше по формуле

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{пот}}}, \quad (1)$$

где η – КПД;

$P_{\text{пол}}$ – выходная мощность, Вт;

$P_{\text{пот}}$ – потребляемая мощность, Вт.

Для МДМ 60-1В 26МУП $P_{\text{пот}} = P_{\text{пол}} / \eta = 60 / 0,8 = 75$ Вт;

МДМ 15-1В 15МУП $P_{\text{пот}} = P_{\text{пол}} / \eta = 15 / 0,8 = 18,75$ Вт;

МДМ 15-1В 50МУП $P_{\text{пот}} = P_{\text{пол}} / \eta = 15 / 0,8 = 18,75$ Вт;

МДМ 5-1В 05МУП $P_{\text{пот}} = P_{\text{пол}} / \eta = 5 / 0,8 = 6,25$ Вт;

Суммируя все мощности получим 118,75 Вт, данную мощность при не желательных обстоятельствах могут потребить преобразователи. Зная напряжения обеспечиваемые источником возьмем наименьшее из диапазона и получим максимальный ток который необходимо обеспечить через коммутирующие реле воспользовавшись преобразованной формулой

$$P = IU = U^2 / R = I^2 R, \quad (2)$$

где P – электрическая мощность, Вт.

I – сила тока, А;

U – напряжение, В;

R – сопротивление, Ом.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>13</i>

При $P=112,5$ Вт и $U=22$ В

$$I = P/U = 112,5/22 = 5,11 \text{ А.}$$

Так как этот ток возможен только в пике, плата должна обеспечить работу даже при таком превышении, а значит реле для передатчиков необходимо искать выдерживающих ток не менее 6 А, в связи с необходимостью применения элементной базы, разрешенной военной промышленностью. Обратимся к номенклатуре двух компаний занимающихся оптоэлектронными реле АО «Протон» и АО «Протон-импульс», таким образом нам необходимо найти реле с приемкой «5» и обеспечивающее достаточный коммутируемый ток.

После исследования каталогов этих фирм я выбрал оптимальное реле, которое может обеспечить до 10 А коммутируемого тока: 2609КП1П.

Далее цепь индикации на нагрузке имеет преобразователь напряжения: МДМ 7,5-1В 50МУП БКЮС.430609.001 ТУ.

По уже приведенным вычислениям получим необходимые нам данные

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{пол}} / \eta = 7,5 / 0,8 = 9,375 \text{ Вт};$$

$$I = P/U = 9,375 / 22 = 0,42 \text{ А.}$$

Для коммутации данных цепей обратимся к тем же фирмам производителям. Изучив маломощные твердотельные реле, а так же просмотрев ведомость применяемости на заводе, было принято решение в пользу уже используемых реле в предыдущей системе посадки ПРМГ-76УМ: таких как 249КР5П, имеющих ток коммутации в 1 А.

3.2.2 Разработка защиты от превышения токов нагрузки.

По техническому заданию необходимо обеспечить защитой цепи основных элементов схемы от повышенных токов нагрузки, а значит, цепи в которых учувствуют коммутирующие контакты реле.

Ранее я выбрал реле по току, который может проходить через цепи при нежелательных нагрузках, исходя из этого тока, требуется подобрать оптимальный предохранитель. Воспользуемся [1].

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Возьмем плавкую вставку ВП1-2, его преимущества при выборе:

- а) имеет выводы для монтажа в отверстия;
- б) заявлен как быстродействующий;
- в) ток срабатывания равен 2,75 от номинального тока.

Для выбора из линейки доступных предохранителей вернемся к предыдущим расчетам по реле.

Реле на 10 А:

Необходимо обеспечить защиту тока 10 А, даже при условии того что максимальный ток протекающий через реле не может превысить ток 6,0 А.

Обеспечим защиту тока 10 А; предположим что это ток срабатывания; рассчитаем номинальный ток предохранителя по формуле

$$I_{\text{ном}} = I_{\text{ср}} / 2,75, \quad (3)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток плавкого предохранителя, А;

$I_{\text{ср}}$ – ток срабатывания, А.

$I_{\text{ном}} = I_{\text{ср}} / 2,75 = 10 / 2,75 = 3,63$ А. Так получили номинальный ток предохранителя. Выберем из ряда номиналов предохранителя ВП1-2. Ближайший к данному значению является предохранитель на ток 3,15 А

Реле на 1 А:

Необходимо обеспечить защиту тока 1 А, даже при условии того что максимальный ток протекающий через реле не может превысить ток 0,42 А.

Проведем те же вычисления по формуле (3) и выберем из номиналов предохранителя ВП1-2 подходящий, результат:

$I_{\text{ном}} = I_{\text{ср}} / 2,75 = 1 / 2,75 = 0,36$ А. Ближайшее значение номинального тока 0,25 А.

Данными предохранителями воспользуемся на входной схеме с суммированием резервного и основного источника, так как после

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						15
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

суммирования питание поступает только на реле индикации и светоограждения.

3.2.3 Индикация на лицевой панели

Для индикации выберем светодиоды из перечня ЭКБ -03 2016 [2]. При выборе будем также учитывать номенклатуру комплектующих использующихся на АО «ЧРЗ «Полет» в серийно изготавливаемых изделиях.

Сравнив данные было принято решение использовать уже применяемые светодиоды в ПРМГ-76УМ: 3ЛЗ41Б.

3.2.4 Выбор резисторов

3.2.4.1 Задача ограничения токов управляющих цепей.

Изучив характеристики основных элементов платы коммутации выбранных ранее, необходимо подобрать резисторы которые позволят данным элементам работать при напряжении в 27 В.

3.2.4.2 Рассмотрим реле на 10 А.

Основные характеристики:

- входное напряжение 2,2–3,2 В;
- входной ток 10–25 мА;
- выходной ток 10 А, не более;
- выходное напряжение 100 В, не более.

Необходимо подобрать резистор падение напряжения на котором позволит реле работать в требуемых режимах.

Чтобы подобрать номинал резистора необходимо выбрать ток, который нужно будет обеспечить; возьмем ток в 10 мА. И для минимальной разницы напряжений посчитаем сопротивление по формуле

$$R = \Delta U / I, \quad (4)$$

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

где R – сопротивление, Ом;

ΔU – падение напряжения, В;

I – сила тока, А.

Для того чтобы получить минимальную разницу напряжение падения на резисторе необходимо взять минимальное напряжение сети, которое составляет 22 В и максимальное падение напряжение на управляющей цепи реле которое составляет 3,2 В. Найдем сопротивление:

$R = \Delta U / I = (22 - 3,2) / 10^{-2} = 1,88 \text{ кОм}$. Возьмем из доступных рядов номинальное сопротивление 1,8 кОм, так как в случае уменьшения сопротивления мы увеличиваем ток протекания через реле, данный вариант имеет место быть, ведь мы заранее приняли ток включения минимальным из допустимого диапазона. После подбора самого резистора проведем проверку на работоспособность.

Необходимо рассчитать мощность резистора, которую он должен суметь рассеять. Для этого необходимо учесть самые неблагоприятные условия, воспользуемся формулой (2) для $U = 30 - 2,2 = 27,8 \text{ В}$.

$$P = U^2 / R = 27,8^2 / (1,8 \cdot 10^3) = 0,429 \text{ Вт.}$$

Для стабильной работы резистора необходимо чтобы рассеиваемая им мощность была не пиковой, а значит, из ряда мощностей выберем 1 Вт.

Из перечня ЭКБ 04-2016 выберем резистор, рассчитанный на поверхностный монтаж и с необходимыми характеристиками, таким резистором является P1-12.

Проведем проверку резистора на неблагоприятные условия:

- 1) Сопротивление резистора составит 99 % от номинального значения
 $1,8 \cdot 10^3 \cdot 0,99 = 1,782 \cdot 10^3 \text{ Ом}$.

По формуле (5) найдем ток через реле, при минимальной и максимальной разнице напряжений.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

$$I = \Delta U / R, \quad (5)$$

а) при минимальной – $I = \Delta U / R = (22 - 3,2) / (1,782 \cdot 10^3) = 10,55 \text{ мА}$;

б) при максимальной – $I = \Delta U / R = (30 - 2,2) / (1,782 \cdot 10^3) = 15,6 \text{ мА}$.

Вывод: данное сопротивление удовлетворяет токам работы реле

2) Сопротивление резистора составит 101 % от номинального значения

$$1,8 \cdot 10^3 \cdot 1,01 = 1,818 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

По формуле (5) найдем ток через реле при минимальной и максимальной разнице напряжения.

а) при минимальной – $I = \Delta U / R = (22 - 3,2) / (1,818 \cdot 10^3) = 10,34 \text{ мА}$;

б) при максимальной – $I = \Delta U / R = (30 - 2,2) / (1,818 \cdot 10^3) = 15,29 \text{ мА}$.

Вывод: данное сопротивление удовлетворяет величинам рабочих токов реле.

Из технических условий на данное реле необходимо установить параллельно контактам управления резистор 6,8 кОм. Так как номинал резистора нам известен необходимо посчитать мощность, на которую должен быть рассчитан данный резистор. Воспользуемся формулой (2) при том, что в параллельных цепях напряжения равны, а значит возьмем максимальное падение напряжения на контактах управления реле и получим:

$$P = U^2 / R = 3,2^2 / (6,8 \cdot 10^3) = 1,5 \text{ мВт}, \text{ из этого следует, что для}$$

рассеивания такой мощности можно взять любой из ряда резистор, так как монтаж резисторов осуществляется в ручную, возьмем резистор на 0,125 Вт он имеет размеры приемлемые для взятия его пинцетом.

3.2.4.3 Рассмотрим реле на 1 А.

Основные характеристики:

- входное напряжение 1,4 – 1,6 В;
- входной ток 5 – 25 мА;
- выходной ток 1 А, не более;

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– выходное напряжение 60 В, не более.

Необходимо подобрать резистор падения напряжения на котором позволят реле работать в требуемых режимах.

Чтобы подобрать номинал резистора необходимо выбрать ток который нужно будет обеспечить. Возьмем ток 5 мА и для минимальной разницы напряжений посчитаем сопротивление по формуле (4).

Для того чтобы получить минимальную разницу падения напряжения на резисторе необходимо взять минимальное напряжение сети, которое составляет 22 В и максимальное падение напряжение на контактах управления реле, которое составляет 1,6 В. Найдем сопротивление:

$$R = \Delta U / I = (22 - 1,6) / (5 \cdot 10^{-3}) = 4,08 \text{ кОм.}$$
 Возьмем из доступных рядов номинальное сопротивление 4 кОм, так как в случае уменьшения сопротивления мы увеличиваем ток протекания через реле, данный вариант имеет место быть, ведь мы заранее приняли ток включения минимальным из допустимого диапазона. После подбора самого резистора проведем проверку на работоспособность.

Необходимо рассчитать мощность резистора, которую он должен суметь рассеять. Для этого необходимо учесть самые неблагоприятные условия, воспользуемся формулой (2) для $U = 30 - 1,4 = 28,6 \text{ В}$

$$P = U^2 / R = 28,6^2 / (4 \cdot 10^3) = 0,204 \text{ Вт.}$$

Для стабильной работы резистора необходимо чтобы рассеиваемая им мощность была не пиковой: из ряда мощностей выберем 0,5 Вт.

Проведем проверку резистора на неблагоприятные условия:

– Сопротивление резистора составит 99 % от номинального значения
 $4 \cdot 10^3 \cdot 0,99 = 3,96 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$

По формуле (5) найдем ток через реле при минимальной и максимальной разнице напряжений:

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

а) при минимальной – $I = \Delta U/R = (22 - 1,6)/(3,96 \cdot 10^3) = 5,15 \text{ мА}$;

б) при максимальной – $I = \Delta U/R = (30 - 1,4)/(3,96 \cdot 10^3) = 7,22 \text{ мА}$.

Вывод: данное сопротивление удовлетворяет величинам рабочих токов реле;

– сопротивление резистора составит 101 % от номинального значения
 $4 \cdot 10^3 \cdot 1,01 = 4,04 \cdot 10^3 \text{ Ом}$

По формуле (5) найдем ток через реле, при минимальной и максимальной разнице напряжения:

а) при минимальной – $I = \Delta U/R = (22 - 1,6)/(4,04 \cdot 10^3) = 5,05 \text{ мА}$;

б) при максимальной – $I = \Delta U/R = (30 - 1,4)/(4,04 \cdot 10^3) = 7,08 \text{ мА}$.

Вывод: данное сопротивление удовлетворяет токам работы реле.

3.2.4.1 Индикатор 3ЛЗ41Б:

– входное напряжение 2,8 В;

– входной ток 10 мА.

По формуле (4) рассчитаем необходимое сопротивление так же при минимальной разнице напряжений

$$R = \Delta U/I = (22 - 2,8)/(10 \cdot 10^{-3}) = 1,92 \text{ кОм}.$$

В связи с унификацией и уменьшением количества номиналов резисторов воспользуемся резистором 1,8 кОм на 1 Вт. Проведем проверку;

– сопротивление резистора составит 99 % от номинального значения
 $1,8 \cdot 10^3 \cdot 0,99 = 1,782 \cdot 10^3 \text{ Ом}$.

По формуле (5) найдем ток через светодиод, при минимальной и максимальной разнице напряжений.

а) при минимальной – $I = \Delta U/R = (22 - 2,8)/(1,782 \cdot 10^3) = 10,77 \text{ мА}$;

б) при максимальной – $I = \Delta U/R = (30 - 2,8)/(1,782 \cdot 10^3) = 15,26 \text{ мА}$.

Вывод: данное сопротивление удовлетворяет токам работы светодиода

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

– сопротивление резистора составит 101 % от номинального значения

$$1,8 \cdot 10^3 \cdot 1,01 = 1,818 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

По формуле (5) найдем ток через светодиод, при минимальной и максимальной разнице напряжений.

а) при минимальной: $I = \Delta U / R = (22 - 2,8) / (1,818 \cdot 10^3) = 10,56 \text{ мА};$

б) при максимальной: $I = \Delta U / R = (30 - 2,8) / (1,818 \cdot 10^3) = 14,96 \text{ мА}.$

Вывод: данное сопротивление удовлетворяет токам работы светодиода

3.2.5 Выбор конденсаторов

Конденсаторы предназначены для фильтрации высокочастотных наводок.

Для устранения нежелательных наводок на цепи питания воспользуемся стандартной схемой подключения параллельных конденсаторов. Для фильтрации высокочастотных наводок ставим полярный электролитический конденсатор 220 мкФ для фильтрации низкочастотных наводок на цепи постоянного питания ставим керамический неполярный конденсатор 0,1 мкФ.

3.2.6 Выбор диодов

Воспользуемся ведомостью применяемости и используем диод 2Д2997А. Так как он может обеспечить необходимые токи и напряжения, а так же он применяется в других узлах ПРМГ.

3.2.7 Выбор разъемов платы

Для питания комплектов радиомаяков необходимо основной источник питания разделить на 3 источника напряжения в разъеме, при этом дежурный должен быть отдельным источником в разъеме. Исходя из ограничений на токи проводимые одним выводом разъема до 2 А представленные в технических условиях БСАР.434410.003 ТУ, для питания основных комплектов передатчиков необходимо 4 контакта разъема, и столько же для питания резервных комплектов передатчиков, для питания индикации возьмем

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

три контакта для основного источника и по одному контакту на вход и выход для дежурного источника. Всего для входного напряжения необходимо 13 контактов разъема. Для обеспечения заземления всей платы с такими токами возьмем по три контакта с края разъема с двух сторон и того 6 контактов. Коммутируемое напряжение питание на комплекты передатчиков выделим по три контакта на каждый и того 18 контактов на все комплекты. Суммируем с ранее полученным количеством. Всего требуется 37 контактов. Индикация вход коммутации и выход коммутации по одному контакту на разъеме, на 8 реле необходимо 16 контактов. Подведем общий расчет всех необходимых выводов разъема, получим суммарно 53 контакта, так как розетка имеет стандарт 135 контактов на 3 ряда, то выберем из возможных вариаций данного разъема. Есть два ближайших варианта разъема для данного количества контактов: это - 46 контактов и 69 контактов. Необходимо брать с запасом и по этому используем СНП260 на 69 контактов; получим три ряда по 23 контакта в каждом.

Для того чтобы вынести индикацию на отдельную плату воспользуемся разъемами типа СНП348 на 20 контактов. У нас есть 14 реле и 2 от сети всего 16 светодиодов на передней панели. Необходимо минимум 17 контактов. Воспользуемся вилкой на 20 контактов на плате индикации и на плате коммутации. Соединение платы индикации и платы коммутации произведем с помощью шлейфа на 20 контактов.

Тем самым мы закончили расчет цепей схемы и закончили подбор элементной базы платы коммутации.

Разработанные схемы и перечни элементов приведены в приложении Б и В к данной дипломной работе.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

4 Конструкторский раздел

4.1 Разработка печатной платы коммутации

Пред тем как приступить к разработке печатной платы (ПП) необходимо провести анализ мест установки и условий эксплуатации

Так как ПП является ячейкой 1 структурного уровня предназначенной для установки в шкаф наземной стационарной аппаратуры в отапливаемом помещении, условия эксплуатации можно принять как нормальные, которым характерна температура окружающей среды 293 К (20 °С) с относительной влажностью воздуха 65%. Так же воздух в помещении без химических примесей и пыли, отсутствие чрезмерных механических нагрузок во время работы, имеет воздействие механических нагрузок в нерабочем состоянии при транспортировке.

Для дальнейшего проектирования обратимся к известным данным, таким как; ПП изготавливается комбинированным позитивным методом, с нанесением дополнительного проводящего слоя на основную металлическую поверхность, тем самым увеличивая толщину проводящего слоя.

Приведу основные параметры для данного метода которые будут необходимы для дальнейших расчетов.

Двухсторонняя ПП

Толщина ПП составляет 1,5 мм.

Толщина основного металлического покрытия составляет 50 мкм.

Класс точности печатного рисунка выберу исходя из элементов монтажа данной платы: так как мы имеем элементы для поверхностного монтажа и плотность компоновки платы не высокая, то оптимальным будет 3 класс точности.

Шаг координатной сетки определим по основному разъёму обеспечивающему соединение с блоком, шаг между контактами СНП260 составляет 2,5 мм, значит сетку примем 2,5 мм.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Максимальный ток в цепях питания $I = 5,39 \text{ А}$, токи в цепях питания маломощных реле $I = 0,42 \text{ А}$.

4.2 Расчет основных элементов проводящего рисунка

4.2.1 Основные параметры ПП

Для данных расчетов нам необходимо определить несколько коэффициентов связанных с технологической точностью изготовления ПП, данные погрешности приведены в таблице 1 и взяты из ГОСТ Р 53429-2009 [3].

Таблица 1 – Технологические погрешности

Наименование	Обозначение, величина, размерность
Погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка	$\delta_0=0,06 \text{ мм}$
Погрешность базирования плат на сверлильном станке	$\delta_6=0,02 \text{ мм}$
Погрешность расположения контактных площадок на фотошаблоне	$\delta_{ш}=0,05 \text{ мм}$
Погрешность расположения печатных элементов при экспонировании	$\delta_3=0,02 \text{ мм}$
Погрешность расположения базовых отверстий на заготовке	$\delta_3=0,02 \text{ мм}$
Погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне	$\delta_{ш}=0,03 \text{ мм}$
Погрешность диаметра отверстия (биение и точность изготовления сверла)	$\Delta_d=0,02 \text{ мм}$

Так же определим входные данные для 3 класса точности ПП [3], приведены в таблице 2

Таблица 2 – Входные данные для класса точности 3

Наименование	Обозначение, величина, размерность
Ширина проводника	$t=0,25$ мм
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой	$s_{\min}=0,25$ мм
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	$b_M=0,1$ мм
Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы	$\gamma=0,4$

Далее проведем расчет основных элементов печатного рисунка.

4.2.2 Расчет диаметра металлизированного отверстия

Диаметр металлизированного отверстия ПП ограничен технологией металлизации отверстия. Расчет производится по формуле

$$d_{\min} \geq H \cdot \gamma \quad (6)$$

где d_{\min} – диаметр металлизированного переходного отверстия, мм;

H – толщина ПП, мм;

γ – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы.

Получим $d_{\min} = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6$ мм. Меньше данного диаметра металлизированные отверстия на данной ПП не допускаются.

4.2.3 Расчет минимальной ширины проводника

Минимальная допустимая ширина проводников по постоянному току рассчитывается по формуле

$$t_{\min D} = I_{\max} / (j_{\text{доп}} h), \quad (7)$$

где $t_{\min D}$ – минимально допустимая ширина проводника по постоянному току, мм;

I_{\max} – максимальный постоянный ток, А;

$j_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, А/мм²;

h – толщина печатного проводника, мм.

Допустимая плотность тока зависит от чистоты проводящего слоя. Для медной фольги в комбинированном позитивном методе, этот параметр варьируется в диапазоне от 100 до 250 А/мм²[4].

Для того чтобы не идеализировать медную фольгу на производстве возьмем минимальное значение из диапазона и проведем расчет для двух токов нагрузки:

$$5,39 \text{ А: } t_{\min D} = I_{\max} / (j_{\text{доп}} h) = 5,39 / (100 \cdot 50 \cdot 10^{-3}) = 1,078 \text{ мм};$$

$$0,42 \text{ А: } t_{\min D} = I_{\max} / (j_{\text{доп}} h) = 0,42 / (100 \cdot 50 \cdot 10^{-3}) = 0,08 \text{ мм}.$$

В связи с ограничением класса точности ПП проводник в 0,08 мм нельзя использовать. В данном случае мы будем использовать минимально допустимую ширину, а именно 0,25 мм.

4.2.4 Минимальный диаметр контактных площадок

Минимальный эффективный диаметр площадки получим из формулы

$$D_{\min} = 2 \cdot \left(b_m + \frac{d_{\min} + \Delta d}{2} + \delta_o + \delta_6 + \delta_{\text{ш}} + \delta_9 + \frac{\delta_{\text{п}} + \delta_3}{2} \right), \quad (8)$$

где D_{\min} – минимальный диаметр контактной площадки, мм;

b_m – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки, мм

Δd – допуск на отверстие, мм;

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.03.2017.560.00 ПЗ					

δ_o – погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, мм;

δ_6 – погрешность базирования плат на сверлильном станке, мм;

$\delta_{ш}$ – погрешность расположения контактной площадки относительно координатной сетки, мм;

δ_9 – погрешность расположения контактной площадки при ее экспонировании, мм;

$\delta_{п}$ – погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне, мм;

δ_3 – погрешность расположения базовых отверстий на заготовке, мм.

Подставим все значения из таблиц 1 и 2.

И получим минимальную контактную площадку для переходного отверстия

$$D_{\min} = 2 \cdot \left(b_m + \frac{d_{\min} + \Delta d}{2} + \delta_o + \delta_6 + \delta_{ш} + \delta_9 + \frac{\delta_{п} + \delta_3}{2} \right) = \\ = 0,2 + 0,6 + 0,02 + 0,12 + 0,04 + 0,1 + 0,04 + 0,03 + 0,02 = 1,17 \text{ мм.}$$

Для работы с проводящим рисунком округлим размер данной контактной площадки до 1,2 мм.

4.3 Монтаж элементов на ПП

4.3.1 Для определения типа монтажа выбранных элементов воспользуемся ГОСТ 29137-91 [5], требования по монтажу элементов будет приведено в приложении Б к данной дипломной работе.

4.3.2 Реле

Для реле 2609КП1П в [5] есть тип установки с прокладкой под корпус позиция 40.

Для реле 249КП5Р в [5] есть тип установки позиция 35.

4.3.3 Плавкие вставки

Для плавкой вставки ВП1-2 в [5] есть тип установки позиция 17.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

4.3.4 Резисторы имеют поверхностный монтаж, поэтому кладутся непосредственно на контактные площадки.

4.3.5 Диоды 2Д2997А

Для данного диода в [5] есть тип установки позиция 1.

4.3.6 Разъемы

Вилка СНП347 не имеет стандартного посадочного места, способ установки разъема будет приведен в требованиях приложение Б.

Розетка СНП260 не имеет стандартного посадочного места, способ установки разъема будет приведен в требованиях приложение Б.

4.3.7 Индикаторы 3Л341Б

Для данного индикатора в [5] есть тип установки с прокладкой под корпус позиция 21.

4.3.8 Конденсаторы

Для конденсатора К10-69В в [5] есть тип установки позиция 2.

К50-68 имеют поверхностный монтаж, поэтому кладутся непосредственно на контактные площадки.

4.3.9 Все остальные технические требования к производству печатной платы приведены в конструкторской документации на печатную плату.

4.4 Расчет надежности печатного узла

В данном пункте моей выпускной квалификационной работы я приведу расчет интенсивности отказа разработанных печатных узлов.

Для расчета воспользуемся справочником «Надежность ЭРИ» Прыткова С.Ф. [6]. Для каждого элемента определим формулу для расчета интенсивности отказа. Но в начале необходимо ввести условия такие как, эксплуатация при температуре 298 К (25 °С), так же для элементов необходимо будет определять коэффициент режима K_p , который зависит от температуры среды и коэффициента нагрузки, K_n . Примем для всех элементов $ППК_n=0,6$.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

4.4.1 Плата коммутации

4.4.1.1 Конденсаторы К10-69в являются керамическими.

Так как не имеем базовых значений для данного типа конденсатора, то возьмем формулу для группового расчета

$$\lambda_3 = \lambda'_{\text{бсг}} \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_3, \quad (9)$$

где λ_3 – эксплуатационная интенсивность отказа, 1/ч;

$\lambda'_{\text{бсг}}$ – групповая интенсивность отказа, 1/ч;

K_c – коэффициент номинальной емкости;

$K_{\text{пр}}$ – коэффициент приемки;

K_3 – коэффициент жесткости условий эксплуатации.

Найдем каждый параметр в сводных таблицах для групп керамических конденсаторов [6]:

$$\lambda'_{\text{бсг}} = 0,019 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,238; K_c = 0,7; K_{\text{пр}} = 1; K_3 = 1.$$

Количество данных конденсаторов 2 штуки. Подставим найденные коэффициенты в формулу (9) и посчитаем величину интенсивности отказа для всех конденсаторов К10-69в на плате

$$\lambda_3 = n(\lambda'_{\text{бсг}} \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_3) = 2 \cdot (0,019 \cdot 10^{-6} \cdot 0,238 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1) = 6,3 \cdot 10^{-9}$$

4.4.1.2 Конденсатор К50-68 являются оксидно-электролитическими алюминиевыми.

Так как имеем базовое значение для данного конденсатора, то возьмем соответствующую формулу для расчета

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_3, \quad (10)$$

где λ'_6 – интенсивность отказа отдельного типа элемента, 1/ч.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Выберем параметры для данного типа конденсатора [6]:

$$\lambda'_6 = 0,3 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,33; K_c = 1; K_{np} = 1; K_3 = 1.$$

Количество данных конденсаторов 2 штуки. Подставим найденные коэффициенты в формулу (10) и посчитаем величину интенсивности отказа для всех конденсаторов К50-68 на плате

$$\lambda_3 = n(\lambda'_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_{np} \cdot K_3) = 2 \cdot (0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,33 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) = 198 \cdot 10^{-9}.$$

4.4.1.3 Микросхемы оптоэлектронные

В справочнике нет конкретных значений для 249КП5Р и 2609КП1П, по этому для данных оптоэлектронных микросхем воспользуемся групповым расчетом по формуле

$$\lambda_3 = \lambda'_{бсг} \cdot K_{np} \cdot K_3, \quad (11)$$

Найдем каждый параметр в сводных таблицах для групп оптоэлектронных микросхем [6]:

$$\lambda'_{бсг} = 0,21 \cdot 10^{-6}; K_{np} = 1; K_3 = 1.$$

Количество данных микросхем 14 штук. Подставим найденные коэффициенты в формулу (11) и посчитаем величину интенсивности отказа для всех микросхем на плате

$$\lambda_3 = n(\lambda'_{бсг} \cdot K_{np} \cdot K_3) = 14 \cdot (0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1) = 2940 \cdot 10^{-9}.$$

4.4.1.4 Плавкие вставки ВП1-2

Так как имеем базовое значение для данного предохранителя, то возьмем соответствующую формулу для расчета (12)

$$\lambda_3 = \lambda'_{бсг} \cdot K_T \cdot K_{np} \cdot K_3, \quad (12)$$

где K_T – коэффициент максимальной электрической нагрузки.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>30</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Найдем каждый параметр в сводных таблицах для группы предохранителей [6]:

$$\lambda'_{\text{бсг}} = 0,02 \cdot 10^{-6}; K_T = 1; K_{\text{пр}} = 1; K_3 = 1.$$

Количество данных предохранителей 16 штук. Подставим найденные коэффициенты в формулу (12) и посчитаем величину интенсивности отказа для всех ВП1-2 на плате

$$\lambda_3 = \lambda'_{\text{бсг}} \cdot K_T \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_3 = 16 \cdot (0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) = 320 \cdot 10^{-9}.$$

4.4.1.5 Резисторы R1-12 являются металлодиэлектрическими.

Для данных резисторов есть базовое значение в таблице с типами элементов. Воспользуемся формулой

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_{\text{пр}} K_p K_3 K_R K_M K_{\text{стаб}}, \quad (13)$$

где K_R – коэффициент номинального сопротивления;

K_M – коэффициент номинальной мощности;

$K_{\text{стаб}}$ – коэффициент допуска.

$$\lambda'_6 = 0,065 \cdot 10^{-6}; K_{\text{пр}} = 1; K_p = 0,65; K_3 = 1; K_R = 0,7; K_{\text{стаб}} = 1.$$

Так как мощности резисторов я выбрал разные в связи с особенностями электрической схемы; так же и коэффициенты K_M имеют разные значения; так для $P=0,125$ Вт и $P=0,5$ Вт $K_M=0,7$, а для $P=1$ Вт $K_M=1,5$.

Подставим найденные коэффициенты в формулу (13) для разных коэффициентов мощностей получим $K_M=0,7$; $n=14$:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_{\text{пр}} K_p K_3 K_R K_M K_{\text{стаб}} = 14 \cdot (0,065 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1) = 290 \cdot 10^{-9}$$

Для $K_M=1,5$; $n=6$:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_{\text{пр}} K_p K_3 K_R K_M K_{\text{стаб}} = 6 \cdot (0,065 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1) = 266 \cdot 10^{-9}$$

4.4.1.6 Диоды 2Д2997А являются кремниевыми выпрямительными диодами

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						31
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Имеют базовое значение, по этому воспользуемся формулой

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{б}} K_p K_{\text{ф}} K_{\text{с1}} K_{\text{пр}} K_{\text{э}}, \quad (14)$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент функционального назначения;

$K_{\text{с1}}$ – коэффициент рабочего напряжения.

$$\lambda'_{\text{б}} = 0,085 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,193; K_{\text{ф}} = 1; K_{\text{с1}} = 0,7; K_{\text{пр}} = 1; K_{\text{э}} = 1;$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа для двух диодов 2Д2997А

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{б}} K_p K_{\text{ф}} K_{\text{с1}} K_{\text{пр}} K_{\text{э}} = 2 \cdot (0,085 \cdot 10^{-6} \cdot 0,193 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1) = 23 \cdot 10^{-9}.$$

4.4.1.7 Разъем СНП260 является низкочастотным прямоугольным для печатного монтажа, имеет базовое значение в справочнике [6], интенсивность отказа вычислим по формуле

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{б}} K_p K_{\text{к.к}} K_{\text{к.с}} K_{\text{пр}} K_{\text{э}}, \quad (15)$$

где $K_{\text{к.к}}$ – коэффициент количества задействованных контактов;

$K_{\text{к.с}}$ – коэффициент количества коммутаций.

$$\lambda'_{\text{б}} = 0,00103 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,78; K_{\text{к.к}} = 14,6; K_{\text{к.с}} = 0,32; K_{\text{пр}} = 1; K_{\text{э}} = 1.$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа для разъема СНП260

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{б}} K_p K_{\text{к.к}} K_{\text{к.с}} K_{\text{пр}} K_{\text{э}} = 0,00103 \cdot 10^{-6} \cdot 0,78 \cdot 14,6 \cdot 0,32 \cdot 1 \cdot 1 = 3,8 \cdot 10^{-9}$$

Разъем СНП347 является низкочастотным прямоугольным для печатного монтажа, но не имеет базового значения интенсивности отказа, по этому воспользуемся формулой (16) для групповой интенсивности отказа

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{бсг}} K_p K_{\text{к.к}} K_{\text{к.с}} K_{\text{пр}} K_{\text{э}}, \quad (16)$$

$$\lambda'_{\text{бсг}} = 0,005 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,78; K_{\text{к.к}} = 4; K_{\text{к.с}} = 0,32; K_{\text{пр}} = 1; K_{\text{э}} = 1.$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа для СНП347

$$\lambda_3 = \lambda'_{\text{бсг}} \cdot K_p \cdot K_{\text{к.к}} \cdot K_{\text{к.с}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_3 = 0,005 \cdot 10^{-6} \cdot 0,78 \cdot 4 \cdot 0,32 \cdot 1 \cdot 1 = 5 \cdot 10^{-9}.$$

4.4.1.8 Основная плата коммутации

Значения интенсивности отказов многослойных плат при эксплуатации рассчитывают по формуле

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_3 \cdot [N_1 \cdot K_c + N_2 \cdot (K_c \cdot 13)], \quad (17)$$

где K_c – коэффициент количества слоев;

N_1 – коэффициент количества коммутаций;

N_2 – коэффициент количества коммутаций.

$$\lambda'_6 = 0,0017 \cdot 10^{-8}; K_3 = 1; N_1 = 234; K_c = 1; N_2 = 0.$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа для основной печатной платы

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_3 \cdot [N_1 \cdot K_c + N_2 \cdot (K_c \cdot 13)] = 0,0017 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 234 \cdot 1 = 4 \cdot 10^{-9}.$$

Для нахождения полной интенсивности отказа платы коммутации необходимо все интенсивности сложить, в итоге получим:

$$\sum \lambda_3 = 10^{-9} \cdot (6,3 + 198 + 2940 + 320 + 290 + 266 + 23 + 3,8 + 5 + 4) = 4,056 \cdot 10^{-6}.$$

4.4.2 Плата индикации

Теперь необходимо посчитать интенсивность отказа платы индикации для платы коммутации

4.4.2.1 Так как на плате индикации используется такой же разъем СНП347 примем его интенсивность равной $\lambda_3 = 5 \cdot 10^{-9}$.

4.4.2.2 Для резисторов P1-12 на 1 Вт воспользуемся уже известными данными и посчитаем интенсивность отказа, для 16 штук

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						33
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_{пр} K_p K_3 K_R K_M K_{стаб} = 16 \cdot (0,065 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1) = 709 \cdot 10^{-9}.$$

4.4.2.3 Для светодиодов 3Л341Б необходимо посчитать интенсивность отказа по формуле

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p K_{пр} K_3, \quad (18)$$

$$\lambda'_6 = 0,05 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,278; K_{пр} = 1; K_3 = 1.$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p K_{пр} K_3 = 16 \cdot (0,05 \cdot 10^{-6} \cdot 0,278 \cdot 1 \cdot 1) = 222 \cdot 10^{-9}.$$

Так же рассчитаем интенсивность отказа платы индикации по формуле (17)

$$\text{Для которой } \lambda'_6 = 0,0017 \cdot 10^{-8}; K_3 = 1; N_1 = 57; K_c = 1; N_2 = 0.$$

$$\text{Получим } \lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_3 \cdot [N_1 \cdot K_c + N_2 \cdot (K_c \cdot 13)] = 0,0017 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 57 \cdot 1 = 0,9 \cdot 10^{-9}.$$

Для нахождения полной интенсивности отказа платы индикации необходимо все интенсивности сложить, в итоге получим:

$$\sum \lambda_3 = 10^{-9} \cdot (5 + 709 + 222 + 0,9) = 0,936 \cdot 10^{-6}.$$

Найдем общую интенсивность отказа для этих плат суммируя получившиеся значения $\sum \lambda_3 = (0,936 + 4,056) \cdot 10^{-6} = 4,992 \cdot 10^{-6}$.

Мы получили общую интенсивность отказа. Среднее время безотказной работы вычисляется по формуле

$$T = 1 / \lambda_3, \quad (19)$$

где T – среднее время безотказной работы, ч.

Подставим значение интенсивности отказа получим:

$$T = 1 / \lambda_3 = 10^6 / 4,992 = 200321 \text{ ч.}$$

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Сравним с необходимой наработкой. По условиям задания мне необходимо было обеспечить безотказной работой функциональный узел в течении 10 000 ч, значит условие выполняется.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>35</i>

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработана электрическая схема платы коммутации, которая предназначена для коммутации цепей питания от источников постоянного напряжения до передатчиков, а также электрическая схема платы индикации исправности реле в плате коммутации, проведены расчеты каждого элемента схемы для аргументированного использования элементной базы.

В конструкторской части произведен расчет топологий печатной платы, так же произведен выбор формовки выводов каждого элемента и способа его установки.

Так же произведен расчет надежности печатного узла, для подтверждения выполнения задания по требованию о безотказной работы в течении 10 000 ч, разработана конструкторская документация на печатные платы и сборочные единицы.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>36</i>

Библиографический список

1. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Соединители электрические, изделия электростановочные и присоединительные: Перечень ЭКБ 14 / А.А. Шмакова, К.В. Авраменко, Н.А. Перевалова, А.М. Гоголев, В.М. Исаев и др. – изд. Министерство промышленности и торговли РФ, 2017. – 75 с.
2. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Приборы полупроводниковые: Перечень ЭКБ 03/ Н.Н. Гливинская, К.В. Авраменко, Н.А. Перевалова, А.М. Гоголев, В.М. Исаев и др. – изд. Министерство промышленности и торговли РФ, 2017. – 149 с.
3. ГОСТ Р 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – Москва Стандартиформ, 2010. – 12 с.
4. ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 14 с.
5. ГОСТ 29137–91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования. – М.: ИПК издательство стандартов, 1991. 31 с.
6. Прытков, С.Ф. Надежность электрорадиоизделий: справочник/ С.Ф. Прытков.

					<i>11.03.03.2017.560.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37