

Федеральное государственное автономное образовательное 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
_____ 2019 г.

Модернизация конструкции адаптера нормирующего в изделии РСБН-4НМ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-110303.2019.259.00 ПЗ ВКР

Консультант
Ведущий инженер-конструктор
_____ Сивохо А.М.
_____ 2019 г.

Руководитель работы
Доцент кафедры КиПР
_____ Клыгач Д.С.
_____ 2019 г.

Автор работы
студент группы КЭ-460
_____ Садыков К.В.
_____ 2019 г.

Нормоконтролёр
_____ Нарышева Н.В.
_____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Садыков К.В. Модернизация конструкции адаптера нормирующего в изделии РСБН-4НМ – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2019, 47 с. 16 ил., библиогр. список – 6 наим., 7 прил., 4 листа чертежей ф. А1., 2 листа ф.А2.

В выпускной квалификационной работе произведена модернизация конструкции адаптера нормирующего.

В ходе работы над проектом была подобрана новая отечественная элементная база, разрешенная в военной промышленности. Также была разработана лицевая панель и кронштейн крепления лицевой панели к печатной плате. Представлена документация: схема электрическая принципиальная адаптера нормирующего, чертеж печатной платы, сборочный чертеж ячейки адаптера нормирующего, чертеж разработанной лицевой панели, чертеж кронштейна. Изучена нормативная документация. Были учтены все требования технического задания, в подтверждении этого были проведены расчеты резонансной частоты и надежности печатного узла. Для автоматизации процесса проектирования были использованы программные пакеты: Altium Designer, Autodesk Inventor и Autodesk AutoCAD.

					10303.2019.259.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Садыков			Модернизация конструкции адаптера нормирующего	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Клыгач					6	64
Консул.		Сивохо				ЮУрГУ Кафедра КиПР		
Н. Контр.		Нарышева						
Утв.		Войтович						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	10
2. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	11
3. КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	13
3.1 Подбор новой элементной базы.....	13
3.2 Разработка печатной платы адаптера нормирующего	21
3.3 Посадочные места. Создание библиотеки	24
3.4 Размещение и трассировка ПП	27
3.5 Разработка лицевой панели и кронштейна.....	29
3.6 Расчет надежности печатного узла.....	32
3.7 Расчет резонансной частоты печатного узла	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ В	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	58

ВВЕДЕНИЕ

Радиотехнические системы ближней навигации (РСБН) в совокупности состоят из наземных и бортовых устройств, основной принцип которых является определение положения самолета в пространстве путем измерения на борту текущих значений азимута и наклонной дальности (полярных координат) относительно опорной радионавигационной точки (радиомаяка).

Наземные радиомаяки РСБН в общем случае могут состоять из азимутального канала, ретранслятора (ответчика) дальномера и индикаторного канала, с помощью которого на индикаторе кругового обзора (ИКО, ВИКО) могут отображаться самолеты, находящиеся в зоне действия системы.

Всенаправленные наземные радиомаяки РСБН-4НМ работают с самолетами, имеющими бортовое оборудование РСБН-2С или его модификации, и предназначены:

- для непрерывного указания экипажам местоположения самолетов при полетах по любому заданному прямолинейному маршруту, или орбите;
- привода самолета в любую заданную точку в зоне действия системы с указанием момента подхода к точке и момента ее пролета независимо от условий видимости.

При использовании специального выносного индикатора кругового обзора (КИКО, ВИКО) РСБН-4НМ позволяет вести наземный контроль за движением самолетов, работающих с маяком.

Аппаратура радиомаяка РСБН-4НМ размещена в серийно выпускаемом кузове К2П2, установленном на прицепе. Размещение аппаратуры и антенно-фидерных устройств выполнено с учетом равномерной нагрузки на переднюю и заднюю оси прицепа.

Вся аппаратура радиопередатчиков маяка, за исключением высоковольтных выпрямителей, смонтирована в блоках типовой конструкции, где элементы расположены с левой и правой стороны от центральной вертикальной плоскости блока.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Такое расположение обеспечивает свободный доступ к монтажу, более эффективное использование объема блока и позволяет воздушному потоку идти по направлению снизу вверх.

В блоках предусмотрены механизмы удержания и поворота, которые позволяют выдвинуть блок из шкафа и повернуть на угол около 90°.

Вся основная радиоаппаратура кроме передатчиков (съемные модули и типовые платы с размерами 199x170 мм) расположена в шкафу системном (ШС). Там же расположен модуль адаптер нормирующий ТБИС.468353.004.

Адаптер нормирующий предназначен для сопряжения датчиков “Север” и “36” колонны привода маяка РСБН с цифровой аппаратурой, путем преобразования аналогового сигнала в цифровой. С магнитных датчиков привода вращения антенны снимаются сигналы “36” и “СЕВЕР”, которые подаются на вход адаптера нормирующего. Сформированные сигналы “36” и “СЕВЕР” TTL-уровней из адаптера поступают на вход модуля ДАТ. В модуле эти сигналы кодируются соответствующими кодами, формируются и поступают в блок модулятора БМ-005 работающего комплекта.

В печатном узле адаптера нормирующего используется часть элементов иностранного происхождения. В целях программы импортозамещения декларированной в России с 2014 г. в изделии РСБН-4НМ было принято решение модернизировать часть устройств, одним из них является модуль адаптер нормирующий.

Цель работы заключается в модернизации печатного узла адаптера нормирующего путем замены компонентов, не соответствующих требованиям технического задания, а также разработка новой лицевой панели для модуля адаптера нормирующего и кронштейна крепления печатной платы к лицевой панели.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуется модернизировать печатный узел платы адаптера нормирующего, а также разработать новую лицевую панель и кронштейн крепления лицевой панели к печатной плате.

Для этого необходимо:

– подобрать новую отечественную элементную базу с приёмкой «5», аналогичную с исходным перечнем по электрическим параметрам;

– разместить элементы на плате, габаритные и установочные размеры которой должны соответствовать габаритным и установочным размерам исходной платы ТБИС.468353.004;

– разработать новую лицевую панель и кронштейн крепления, габаритные размеры которых должны соответствовать габаритным размерам исходных деталей;

– переработать и выпустить новый комплект конструкторской документации.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

2. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Темой данной выпускной квалификационной работы является модернизация платы адаптера нормирующего, разработка новой лицевой панели и кронштейна крепления печатной платы к лицевой панели.

Адаптер нормирующий используется для сопряжения датчиков “Север” и “36”, маяка РСБН с цифровой аппаратурой, путем преобразования аналогового сигнала в цифровой.

Для анализа нам предоставлена предыдущая плата адаптера нормирующего ТБИС.468353.004. Рассмотрим ее принцип действия.

С датчиков антенны на вход устройства поступает два синусоидальных сигнала, “Север” и “36”, затем с разъема сигналы поступают на компараторы, которые предназначены для преобразования аналоговых сигналов в цифровые, далее сигналы разветвляются на цифровых интегральных микросхемах с целью получения “прямого” импульсного сигнала и “обратного”. После сигналы поступают на схему индикации и на контрольные точки. Питание платы осуществляется постоянным напряжением 27В, поступающим с щитка автономного управления, затем напряжение поступает на преобразователь питания, который осуществляет питание всей периферии платы, на выходе преобразователя питания напряжение 5В.

В ходе анализа конструкции печатного узла было выявлено, что на плате присутствуют элементы импортного происхождения, это связано с тем, что на момент разработки было разрешено использование элементов импортного происхождения. Соответственно с целью повышения надежности устройства необходимо подобрать новую отечественную элементную базу, разрешенную в военной промышленности, аналогичную с исходным перечнем по электрическим параметрам.

Также необходимо произвести размещение компонентов на одной стороне печатной платы, габаритные параметры которой соответствуют габаритным параметром исходной платы. Так как размещение компонентов будет

отличаться от исходного, необходимо будет провести трассировку печатной платы и выпустить новый комплект конструкторской документации.

В процессе анализа конструкции ячейки адаптера нормирующего было выявлено, что необходимо разработать новую лицевую панель, так как на предыдущей лицевой панели отсутствуют разъемы для снятия входных сигналов, сигналы снимались с контрольных точек на плате, что крайне неудобно для оперативной проверки сигналов. При разработке новой лицевой панели необходимо сохранить габаритные размеры, соответствующие габаритным размерам исходной лицевой панели, а также разработать новый кронштейн крепления лицевой панели к плате. Так как новая лицевая панель будет отличаться от исходной, необходимо будет выпустить новый комплект конструкторской документации.

Исходные данные проанализированы, приступим к подбору новой элементной базы.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1 Подбор новой элементной базы

При подборе новых компонентов должны быть соблюдены следующие условия:

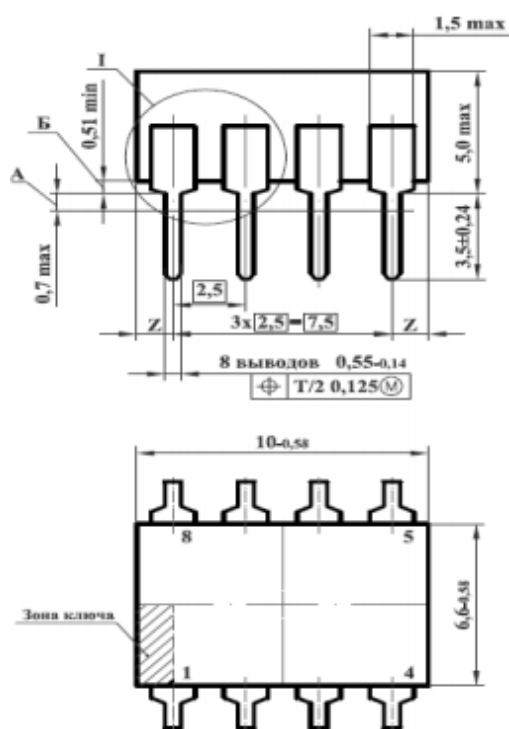
- 1) выбранные компоненты должны быть разрешены для применения военной промышленностью;
- 2) выбранные компоненты являются отечественными;
- 3) выбранные компоненты должны иметь аналогичные необходимые электрические параметры, что и исходные;
- 4) Преимущественно выбираются те компоненты, которые уже применяются в узлах изделий, выпускаемых АО «ЧРЗ «Полет».

3.1.1 Подбор микросхем

В исходном перечне элементов используются компараторы LM311N, компании «TEXAS INSTRUMENTS» которые отвечают за преобразование аналогового сигнала в цифровой. На данный момент эти компараторы не используются в военной промышленности и являются импортными, соответственно требуют замены.

Для того чтобы подобрать необходимые аналогичные компараторы, воспользуемся перечнем ЭКБ-18 ред. 2018[1], в которых перечислены все компоненты, разрешенные для применения в военной технике, а также номенклатурой отечественных предприятий АО «Протон» и ЗАО «ПротонИмпульс». Подходящим аналогом для LM311N является компаратор P554CA3A. Данные компараторы активно используются на АО «ЧРЗ «Полет». Выбранный компаратор имеет тип корпуса 2101.8-1 (см. рисунок 1), данный корпус является распространённым и предназначен для монтажа в отверстия.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Корпус 2101.8-1

Рисунок 1 – Габаритные размеры корпуса 2101.8-1

В плате адаптера нормирующего используются зарубежный мультивибратор CD4098В компании «TEXAS INSTRUMENTS», на текущий момент времени данный элемент не используется в военной промышленности, соответственно требует замены.

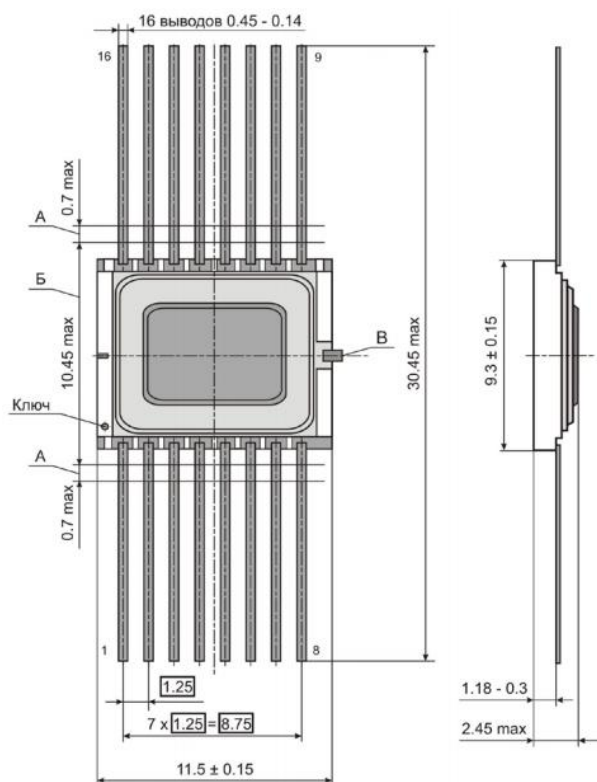
Для подбора аналогичного мультивибратора воспользуемся перечнем ЭКБ-18 ред. 2018[1], а также техническими параметрами исходного элемента. Подходящим аналогом для CD4098А является 564АГ1В 6К0.347.064 ТУ32 компании ОКБ «Экситон». Данный мультивибратор имеет приемку “5” и часто используется на предприятии АО «ЧРЗ «Полет». Этот элемент используется для поверхностного монтажа и имеет тип корпуса 402.16-33 (см. рисунок 2)

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Лист

14



- А - длина вывода, в пределах которой производится контроль смещения плоскостей симметрии выводов от номинального расположения.
 Б - ширина зоны, которая включает действительную ширину микросхемы и часть выводов, непригодную для монтажа.
 В - допускается поставка изделий без технологической перемычки В по согласованию с потребителями.

Рисунок 2 – Габаритные размеры корпуса 402.16-33

В начальном перечне элементов используется импортная микросхема SN54LS38 компании «TEXAS INSTRUMENTS», соответственно так как элемент является зарубежным и на текущий момент времени не применяется в военной промышленности, было принято решение заменить на отечественный аналог.

Для подбора аналогичной микросхемы воспользуемся перечнем ЭКБ-18 ред. 2018[1], а также техническими характеристиками исходной микросхемы. Подходящим аналогом для интегральной микросхемы SN54LS38 является 533ЛА13 БК0.347.141-35 ТУ/02 компании АО «НИИМЭ И МИКРОН». Данный элемент активно используется на предприятии АО «ЧРЗ «Полет». Микросхема используется для поверхностного монтажа и имеет тип корпуса 401.14-5 (см. рисунок 3).

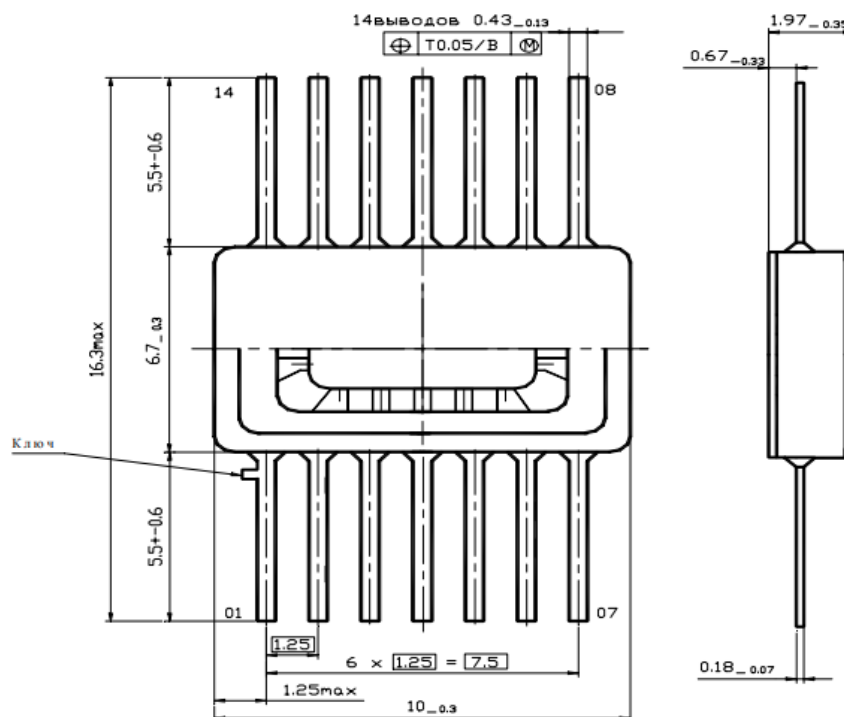


Рисунок 3 – Габаритные размеры корпуса 401.14-5

В печатном узле адаптера нормирующего используются 2 импортных формирователя сигналов SN54ALS240 и SN54ALS244 компании «TEXAS INSTRUMENTS», данные элементы отвечают за преобразование “прямых” сигналов в “инверсионные”. Так как данные формирователи сигналов являются зарубежными и не входят в список разрешённых элементов в военной промышленности их следует заменить на отечественные аналоги, соответствующие параметрам исходных элементов.

Для подбора аналогичных элементов воспользуемся перечнем ЭКБ-18 ред. 2018[1], а также техническими параметрами исходных формирователей сигналов. Подходящими аналогами для SN54ALS240 и SN54ALS244 являются микросхемы 1533АПЗ БК0.347.364-32 ТУ и 1533АП5 БК0.347.364-32 ТУ компании ОАО «ИНТЕГРАЛ». Данные элементы часто используют на предприятии АО «ЧРЗ «Полет». Микросхемы предназначены для поверхностного монтажа и имеют тип корпуса 4153.20-6 (см. рисунок 4).

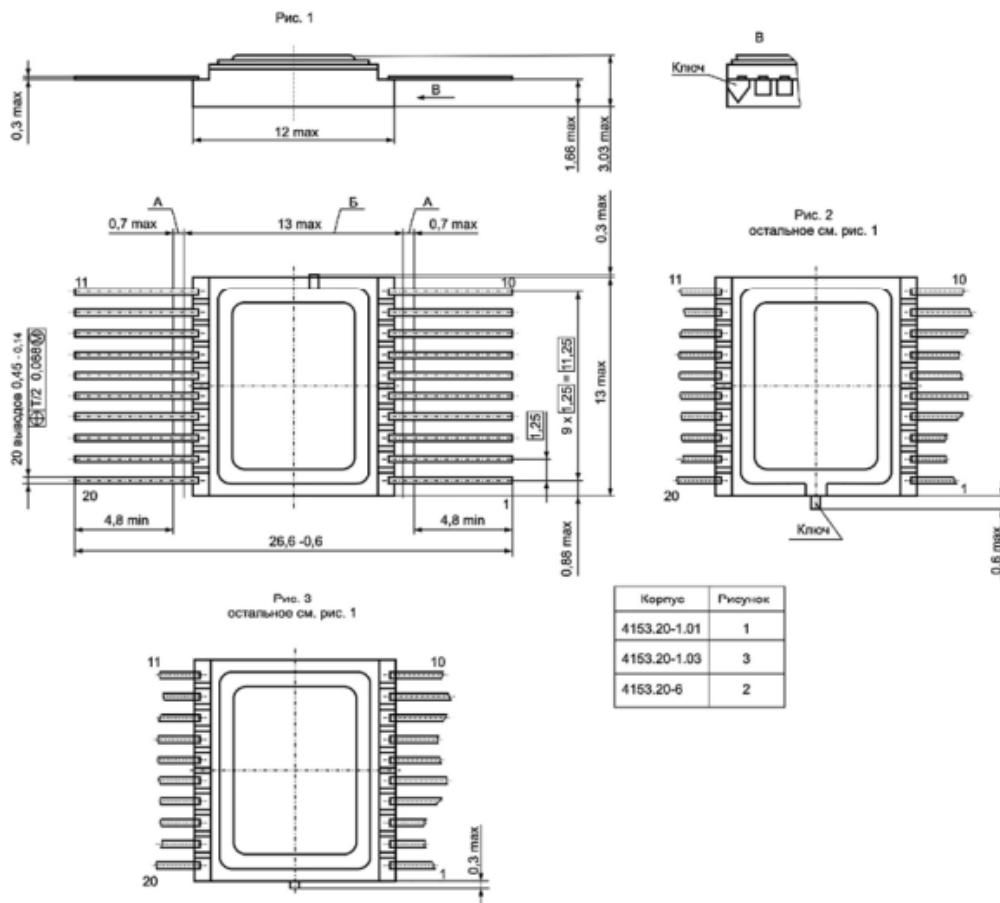


Рисунок 4 – Габаритные размеры корпуса 4153.20-6

Также в исходном перечне элементов используется микросхема DS3881 компании «TEXAS INSTRUMENTS», она является импортной и не входит в список разрешенных элементов военной промышленности соответственно нуждается в замене. Замену элемента необходимо произвести по аналогичным техническим параметрам исходной микросхемы.

Для подбора аналогичного элемента воспользуемся перечнем ЭКБ-18 ред. 2018[1]. Подходящим аналогом для микросхемы DS3881 является 559ИП1 БК0.347.192-01 ТУ компании АО "СВЕТЛАНА - ПОЛУПРОВОДНИКИ". Данный элемент разрешен в военной промышленности и часто используется на предприятии АО «ЧРЗ «Полет». Микросхема используется для поверхностного монтажа и имеет тип корпуса 402.16-18 (см. рисунок 5).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

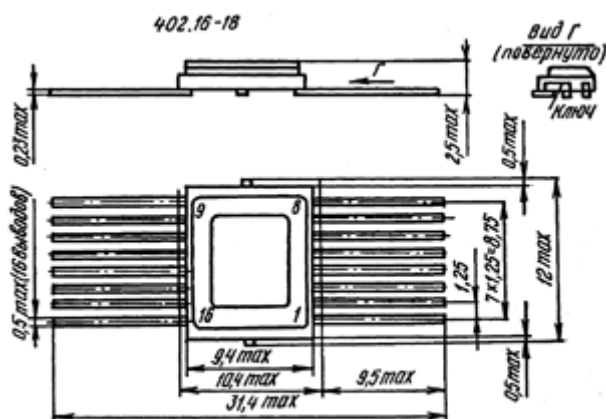


Рисунок 5 – Габаритные размеры корпуса 402.16-18

3.1.2 Подбор резисторов

В данном устройстве используются отечественные резисторы типа С2-33 ОЖ0.467.093 ТУ и СПЗ-19а ОЖ0.468.134 ТУ предприятия АО «НПО» ЭРКОН» предназначенные для сквозного монтажа. Данные типы резисторов входят в перечень элементов, разрешенных в военной промышленности и уже применяются в различных изделиях АО «ЧРЗ «Полет» соответственно замены не требуют.

3.1.3 Подбор конденсаторов

В печатном узле адаптера нормирующего применяются отечественные конденсаторы двух типов, К53-18 ОЖ0.464.136 ТУ и К10-17б ОЖ0.460.107 ТУ компании ОАО «Элеконд», применяемые для монтажа в отверстия. Используемые типы конденсаторов имеют приемку “5” и активно используются на предприятии АО «ЧРЗ «Полет», было принято решение оставить данные конденсаторы без изменений.

3.1.4 Подбор транзисторов

В исходном перечне элементов используется транзисторы 2Т3117А ПК АЕЯР.432140.247 ТУ и 2Т3108В ПК АЕЯР.432140.328 ТУ предприятия ОАО «ИНТЕГРАЛ». Данные транзисторы являются отечественными и разрешены для использования в военной промышленности, также они активно используются на предприятии АО «ЧРЗ «Полет», соответственно было принято решение оставить транзисторы без замены.

3.1.5 Подбор разъема

В печатном узле адаптера нормирующего используется розетка типа СНП260 БСАР.434410.003 ТУ на 69 контактов отечественного предприятия ОАО «КАРАЧЕВСКИЙ ЗАВОД «ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ». Данный тип розетки активно используется в узлах изделия РСБН-4НМ, также имеет военную приемку, соответственно принято решение оставить разъем без изменения. Габаритные параметры розетки представлены на рисунке 6, схема расположения контактов на изоляторе представлена на рисунке 7.

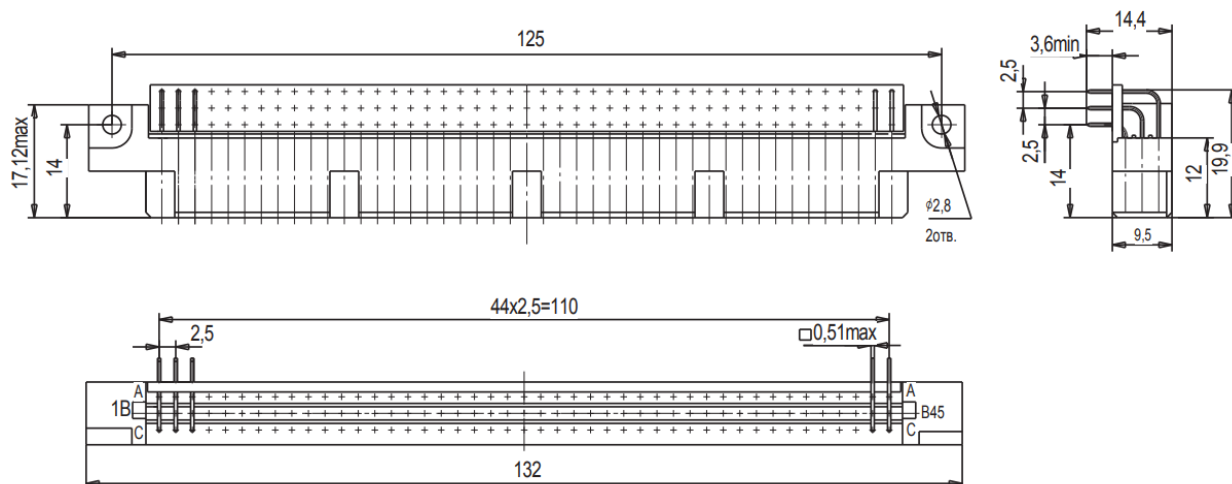


Рисунок 6 – Габаритные параметры розетки СНП260

3.2 Разработка печатной платы адаптера нормирующего

3.2.1 Расчет основных элементов проводящего рисунка

3.2.2 Основные параметры ПП

Для расчета основных элементов проводящего рисунка нам необходимо определить несколько коэффициентов связанных с технологической точностью изготовления ПП, данные погрешности приведены в таблице 1 и взяты из ГОСТ Р 53429-2009 [1].

Таблица 1 – Технологические погрешности

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

Так же определим входные данные для 3 класса точности ПП [3], которые 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	$\gamma=0,33$

Далее проведем расчет основных элементов печатного рисунка.

3.2.3 Расчет диаметра металлизированного отверстия

Диаметр металлизированного отверстия ПП ограничен технологией металлизации отверстия. Расчет производится по формуле (1):

$$d_{\min} \geq H \cdot \gamma, \quad (1)$$

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

H – толщина ПП, мм;

γ – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы.

Подставив значения в формулу (1) получим:

$$d_{\min} = 1,5 \cdot 0,33 = 0,495 \text{ мм}$$

3.2.4 Расчет минимально допустимой ширины проводников

Минимально допустимую ширину проводников по постоянному току цепей питания и заземления с учетом допустимой токовой нагрузки определяем по формуле (2):

$$t_{\min \Pi} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot h}, \quad (2)$$

где $t_{\min \Pi}$ – 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.

Возьмем минимальное значение из диапазона и проведем расчет максимального тока нагрузки 3,5 А, подставив значения в формулу (2):

$$t_{\min \Pi} = \frac{3,5}{100 \cdot 0,05} = 0,7 \text{ мм}$$

3.2.5 Минимальный диаметр контактных площадок

Минимальный эффективный диаметр площадки получим из формулы (3):

$$D_{\min} = 2 \left(b_m + \frac{d_{\min} + \Delta d}{2} + \delta_o + \delta_6 + \delta_{\text{ш}} + \delta_3 + \frac{\delta_{\text{п}} + \delta_3}{2} \right), \quad (3)$$

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;

δ_0 – 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.

Для получения минимальной контактной площадки для переходного отверстия, подставим нужные значения из таблиц 1 и 2 в формулу (3).

Получим:

$$D_{\min} = 2\left(0,1 + \frac{0,495+0,02}{2} + 0,06+0,02+0,05+0,02 + \frac{0,03+0,02}{2}\right) = 1,065 \text{ мм}$$

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

3.3 Посадочные места. Создание библиотеки

Для создания библиотеки элементов использовалась САПР Altium Designer14.3. Создавалась электронная компонентная база используемых элементов, состоящая из условных графических обозначений (УГО), посадочных мест и 3D моделей элементов. 3D модели создавались в САПР Autodesk Inventor Professional 2014. Использовались данные САПР, так как они широко применяются на предприятии АО «ЧРЗ «Полет» и соответствуют всем современным требованиям.

Этапы создания библиотечных элементов:

– создается библиотека элементов;

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

- создается упрощенный вид элемента (см. рисунок 9);
- создается посадочное место для элемента на печатной плате (см. рисунок 10), а также его 3D модель в формате STEP-файла(см.рисунок 12);
- создается взаимосвязь между посадочным местом и 3D моделью;
- создается взаимосвязь между технологическим и схемным библиотечным элементом.

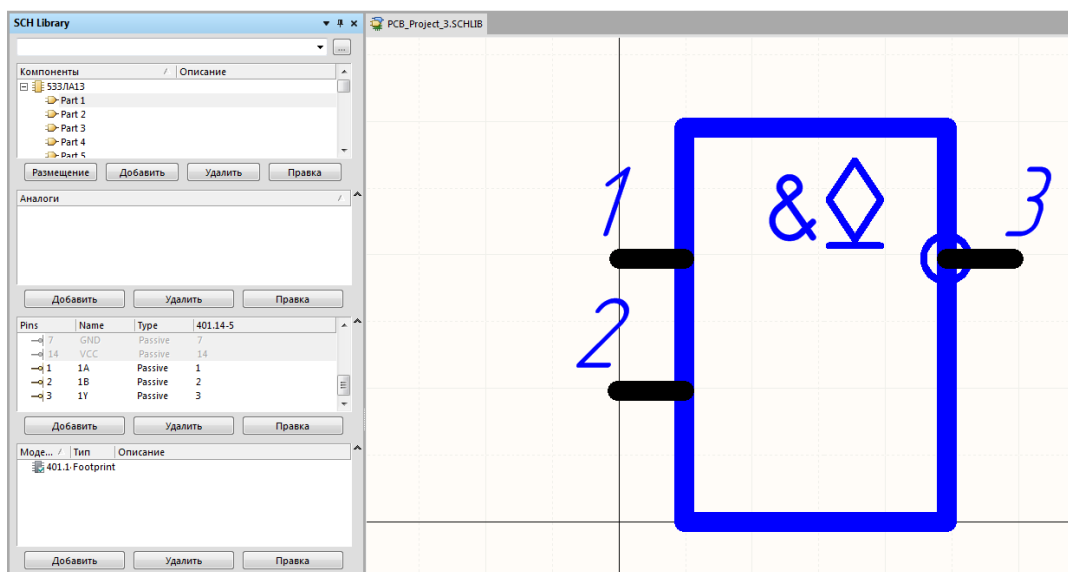


Рисунок 9 – процесс создания УГО в Altium Designer

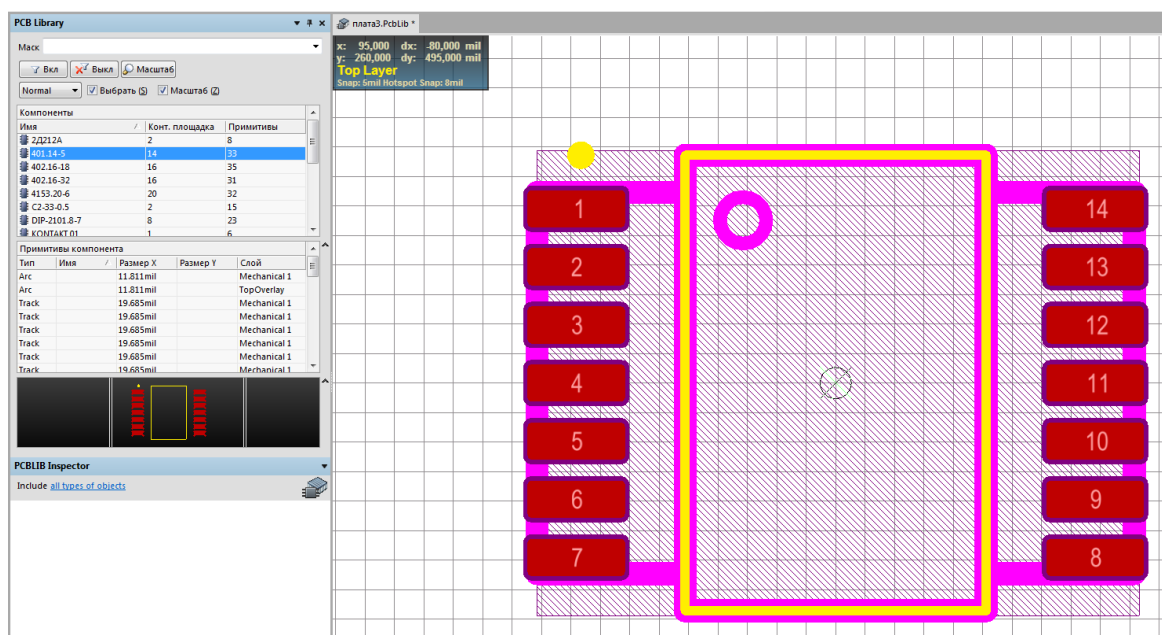


Рисунок 10 – Процесс создания посадочного места в Altium Designer

Библиотека элементов создавалась для последующего оформления схемы электрической принципиальной (рисунок 11). УГО создавалось по ЕСКД.

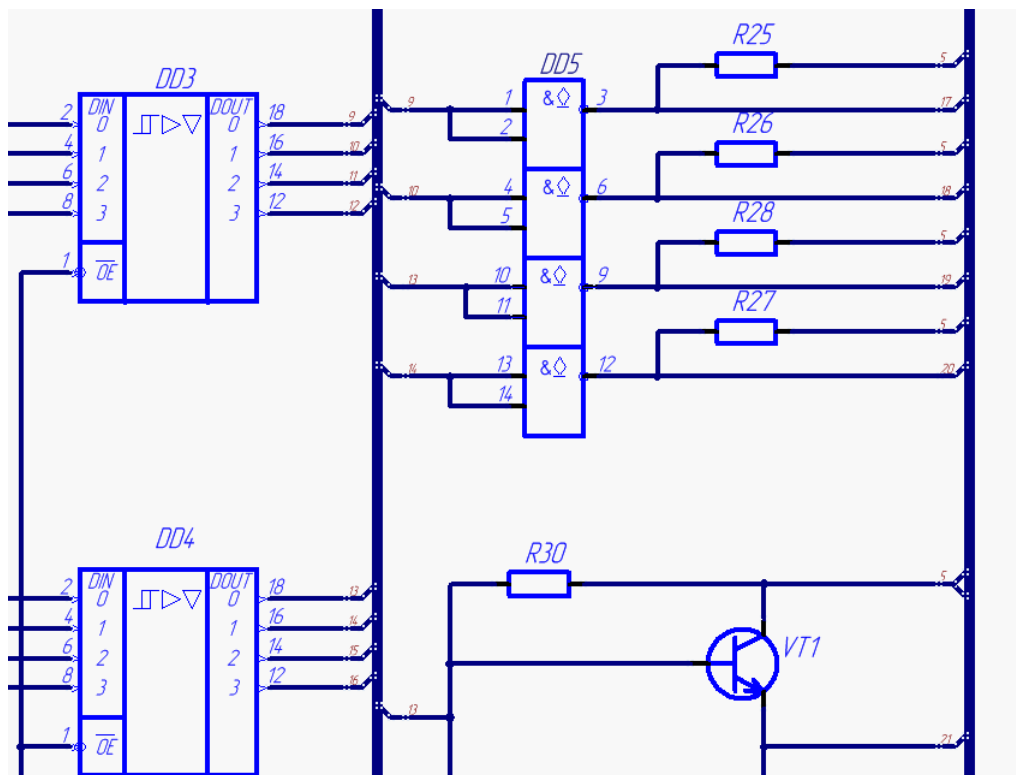


Рисунок 11 – Процесс оформления схемы электрической принципиальной в Altium Designer

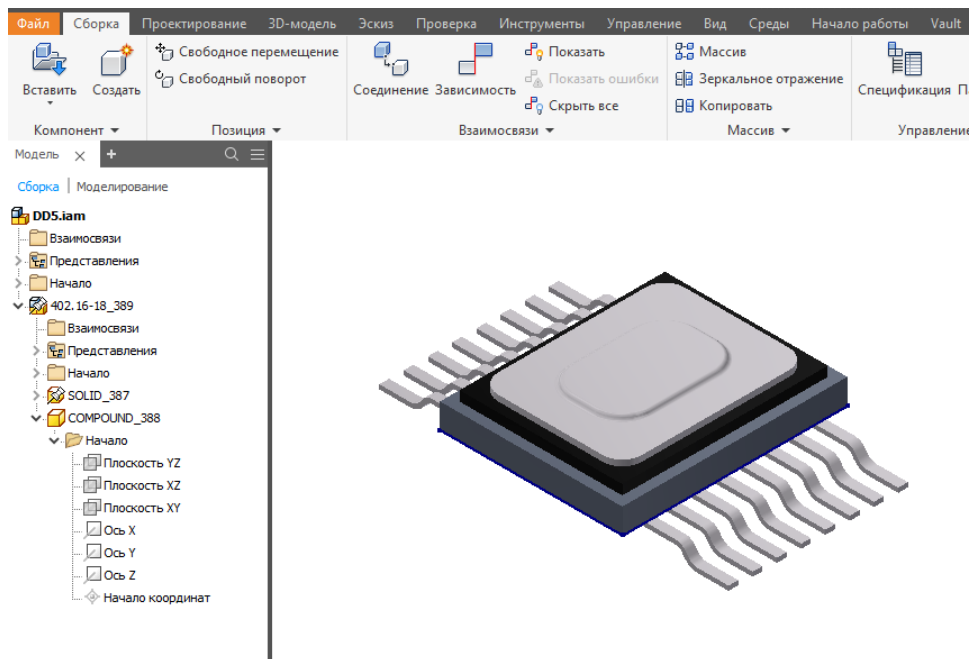


Рисунок 12 – Процесс создания 3D модели в формате STEP-файла в Autodesk Inventor

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

3.4 Размещение и трассировка ПП

Главным конструктивным требованием для платы адаптера нормирующего является то, что габаритные и установочные размеры модернизируемой платы должны соответствовать габаритным и установочным размерам исходной платы ТБИС.468353.004, габариты которой - 199x170x1,5 мм.

Для размещения и трассировки применялась САПР Altium Designer 14.3. Переходные отверстия и монтажные отверстия расположены в узлах координатной сетки. Используется минимальное число переходных отверстий, проводники выполнены преимущественно на нижней стороне платы. Главной целью размещения является создание наилучших условий для трассировки для получения минимума суммарной длины печатных проводников.

Размещение элементов началось с размещения разъема. Следом размещались микросхемы, имеющие максимальное количество выводов. Микросхемы на позициях DA2 и DA3 принято решение расположить ближе к разъему для сокращения длины проводников питания. Остальные элементы расположены в соответствии с требованием получения минимума суммарной длины печатных проводников. Трассировка печатной платы является разработкой топологии электрических соединений между посадочными местами электронных компонентов, размещенных на печатной плате, пример процесса трассировки платы адаптера нормирующего представлен на рисунке 13. Критерии выполнения трассировки для данной платы соблюдены, а именно:

- минимальное число пересечений проводников;
- равномерность расположения проводников;
- минимальное количество переходных отверстий;
- минимальное количество изгибов проводников;
- минимальная протяженность параллельных участков соседних проводников;
- минимальное количество слоев платы.

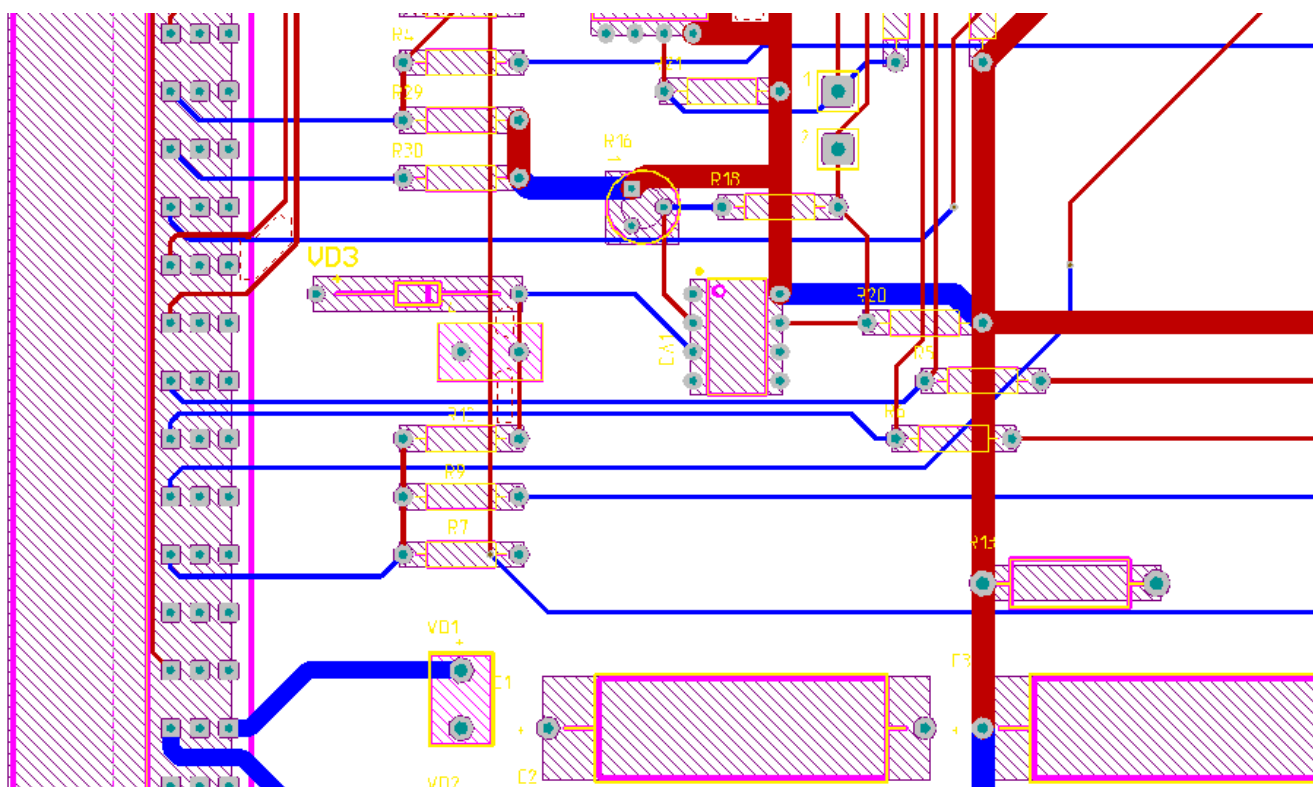


Рисунок 13 – Процесс трассировки печатной платы в Altium Designer

Также обеспечена электромагнитная совместимость печатного узла, так как все элементы, а также печатные проводники максимально удалены друг от друга при данных габаритах платы. Обеспечено требование по ремонтпригодности печатного узла, так как в устройстве частично используются элементы для поверхностного монтажа, которые в свою очередь достаточно легко заменить.

Для оформления чертежа печатной платы использовалась программа Autocad Mechanical 2014, так как она широко применяется на предприятии АО «ЧРЗ «Полет» и соответствует всем современным требованиям. Результат трассировки представлен в приложении В дипломной работы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

3.5 Разработка лицевой панели и кронштейна

Разработка новой лицевой панели началась с анализа предыдущей (рисунок 14). На предыдущей панели имелось три отверстия для индикаторов, расположенных на вертикальной оси панели. Данные индикаторы отвечают за показания таких сигналов как: “Питание”, “36”, “Север”. Также лицевая панель разбита на 3 сектора:

1. Сектор, в котором присутствуют 2 отверстия под индикаторы “Питание”, “36” и 4 отверстия, расположенных симметрично относительно вертикальной оси панели, под гнезда для снятия выходных характеристик.

2. Сектор, в котором присутствует одно отверстие под индикатор “Север” и два отверстия также расположенных симметрично относительно вертикальной оси панели, под гнезда для снятия выходных сигналов.

3. Сектор имеющий одно отверстие, расположенное на вертикальной оси лицевой панели, под гнездо, отвечающее за заземление.

В ходе анализа лицевой панели, было выявлено, что на ней отсутствуют гнезда для снятия входных сигналов приходящих на данное устройство. Входные сигналы снимались непосредственно с самой платы, на которой расположены контрольные точки.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

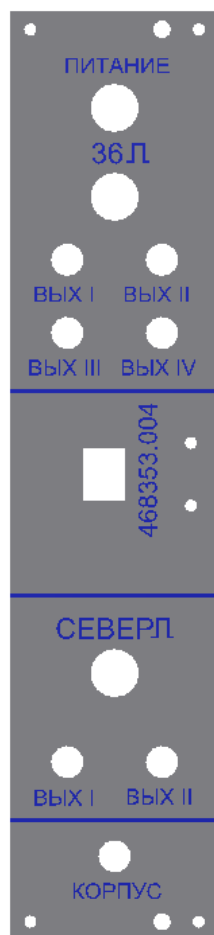


Рисунок 14 – Исходная лицевая панель.

Для повышения оперативности проверки входных сигналов, поступающих на адаптер нормирующий, было принято решение добавить два отверстия, которые будут располагаться симметрично относительно вертикальной оси панели на одном уровне с отверстиями для индикаторов “36” и “Север”, под гнезда. Также было решено к ним добавить надписи: “ВХ” (см. рисунок 15).

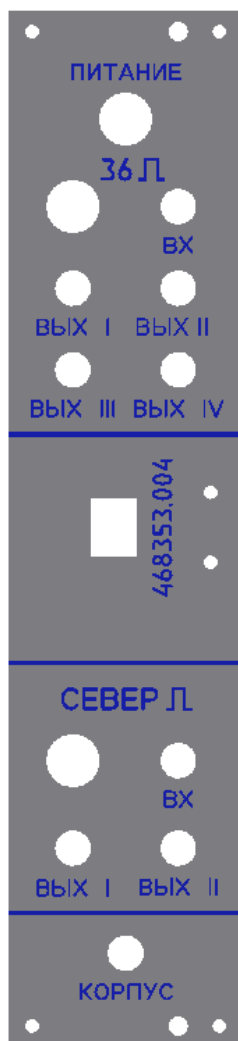


Рисунок 15 – Разработанная лицевая панель.

Так как расположение некоторых отверстий видоизменилось, был разработан новый кронштейн крепления печатной платы к лицевой панели, габаритные размеры которого остались без изменения.

Для разработки, а также оформления конструкторской документации на лицевую панель и кронштейн использовалась САПР Autodesk Inventor Professional 2014. Результат разработки новой лицевой панели и кронштейна представлен в приложении Г и Д дипломной работы.

3.6 Расчет надежности печатного узла

Для определения времени безотказной работы переработанного печатного узла необходимо провести расчет интенсивности отказа. Будем использовать справочник «Надежность ЭРИ» автора Прытков С.Ф., в котором перечислена вся необходимая информация для расчета надежности электрорадиоизделий. Зададим условия эксплуатации: температура 323 К (плюс 50 °С), исходя из этого будет определяться коэффициент режима K_p , также зависящий и от коэффициента нагрузки K_n . Для всех групп элементов ППК_н примем 0,5. После этого для каждой группы элементов подберем необходимую формулу для расчета.

3.6.1 Конденсаторы

В данном печатном узле используются конденсаторы двух типов К53-18 и К10-17б.

Конденсатор К53-18 является оксидно-полупроводниковым танталовым. В справочнике «Надежность ЭРИ» имеются необходимые базовые данные, соответственно расчет производится по формуле (4):

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_p \cdot K_{п.с} \cdot K_3 \cdot K_{пр} , \quad (4)$$

где λ_3 – эксплуатационная интенсивность отказа, 1/ч;

λ'_6 – интенсивность отказа отдельных элементов, 1/ч;

K_p – коэффициент режима;

K_3 – коэффициент эксплуатации;

$K_{пр}$ – коэффициент приемки.

Исходные коэффициенты:

$\lambda'_6=0,155 \cdot 10^{-6}$; $K_p=0,481$; $K_{п.с}=1$; $K_3=1$; $K_{пр}=1$.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Рассчитаем интенсивность отказа, подставив в формулу (4) подобранные данные. В печатном узле используется 2 конденсатора типа К53-18. Получим:

$$\lambda_3 = (0,155 \cdot 10^{-6} \cdot 0,481 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,171 \cdot 10^{-6}$$

Конденсаторы К10-17б являются керамическими. Так как имеем базовое значение для данного конденсатора, то возьмем соответствующую формулу (5) для расчета:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_p \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{пр}, \quad (5)$$

где K_C – коэффициент номинальной емкости.

В справочнике [] находим необходимые параметры:

$$\lambda'_6 = 0,033 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,365; K_C = 2; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

Количество данных конденсаторов 5 штук. Подставим найденные коэффициенты в формулу (5) и посчитаем величину интенсивности отказа для всех конденсаторов К10-17б на плате:

$$\lambda_3 = (0,033 \cdot 10^{-6} \cdot 0,365 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 5 = 0,1346 \cdot 10^{-6}$$

3.6.2 Модуль электропитания

МДМЗ-1В05 МУП, данный элемент относится к преобразователям напряжения. Для этого элемента отсутствуют базовые значения, воспользуемся групповой формулой (6):

$$\lambda_3 = \lambda'_{6.с.г} \cdot K_t \cdot K_3 \cdot K_{пр}, \quad (6)$$

где K_t – температура нагрева корпуса.

Исходные данные:

$$\lambda'_{6.с.г} = 0,0072 \cdot 10^{-6}; K_t = 1,2; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

В печатном узле используется один преобразователь напряжения. Подставим найденные коэффициенты в формулу (6) и посчитаем величину интенсивности отказа для данного элемента на плате:

$$\lambda_3 = 0,0072 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0103 \cdot 10^{-6}$$

3.6.3 Микросхемы

В модернизированном печатном узле используются микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые типа P554CA3A. Так как базовые значения для данных микросхем отсутствуют, то воспользуемся групповой формулой (7):

$$\lambda_3 = \lambda'_{б.с.г} \cdot K_{с.т} \cdot K_{корп} \cdot K_v \cdot K_3 \cdot K_{пр}, \quad (7)$$

где $\lambda'_{б.с.г}$ – групповая интенсивность отказа, 1/ч;

$K_{с.т}$ – сложность ИС и температура окружающей среды;

$K_{корп}$ – тип корпуса.

Найдем каждый параметр в сводных таблицах для групп интегральных полупроводниковых аналоговых микросхем []:

$$\lambda'_{б.с.г} = 0,028 \cdot 10^{-6}; K_{с.т} = 1,79; K_{корп} = 3; K_v = 1; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

Количество данных микросхем 2. Подставим найденные коэффициенты в формулу (7) и посчитаем величину интенсивности отказа для данных микросхем на плате:

$$\lambda_3 = (0,028 \cdot 10^{-6} \cdot 1,79 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,32072 \cdot 10^{-6}$$

Так же в печатном узле используются микросхемы 564АГ1В, 533ЛА13, 1533АП5, 1533АП3, 559ИП1. Данные микросхемы являются интегрально цифровыми. Так как для этих микросхем отсутствуют базовые значения, то воспользуемся групповой формулой (7).

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

Так как микросхемы имеют разное количество элементов, бит, то для 564АГ1В, 533ЛА13 – $K_{с.т}=1,35$, для 1533АП5, 1533АП3, 559ИП1 – $K_{с.т}=1,68$, приведем остальные параметры взятые из сводных таблиц []:

$$\lambda'_{б.с.г}=0,023 \cdot 10^{-6} ; K_{корп}=1 ; K_v=1 ; K_э=1 ; K_{пр}=1.$$

В печатном узле используется две микросхемы при $K_{с.т}=1,35$. Рассчитаем интенсивность отказа для данных элементов, подставив в формулу (7) подобранные данные:

$$\lambda_э=(0,023 \cdot 10^{-6} \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2= 0,0821 \cdot 10^{-6}$$

Для микросхем при $K_{с.т}=1,68$ интенсивность отказа составит:

$$\lambda_э=(0,023 \cdot 10^{-6} \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 3= 0,12592 \cdot 10^{-6}$$

3.6.4 Резисторы

Резистор С2-33 является постоянным непроволочным металлодиэлектрическим. Для данного резистора в справочнике имеются базовые значения, возьмем соответствующую формулу (8) для расчетов:

$$\lambda_э = \lambda'_б \cdot K_p \cdot K_R \cdot K_M \cdot K_{стаб} \cdot K_э \cdot K_{пр} , \quad (8)$$

где K_R – величина омического сопротивления;

K_M – коэффициент номинальной мощности;

$K_{стаб}$ – коэффициент допуска.

Исходные данные:

$$\lambda'_б= 0,063 \cdot 10^{-6} ; K_p=0,7 ; K_R=0,7 ; K_{стаб}=1 ; K_э=1 ; K_{пр}=1.$$

Так как у резисторов имеются разные мощности в связи с особенностями электрической схемы; то 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 значения в формулу (8), так для $K_M =0,7$, $n=28$ получится:

$$\lambda_3 = (0,063 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 28 = 0,75052 \cdot 10^{-6}$$

Для $K_M=1,5$ $n=1$ получится:

$$\lambda_3 = 0,063 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,056305 \cdot 10^{-6}$$

Резистор СПЗ-19а2 является переменным непроволочным керметным. Для данного резистора есть базовые значения, воспользуюсь соответствующей формулой (9):

$$\lambda_3 = \lambda'_G \cdot K_p \cdot K_R \cdot K_s \cdot K_3 \cdot K_{np}, \quad (9)$$

где K_s – отношение рабочего напряжения к максимально допустимому напряжению по ТУ.

Исходные данные для резистора СПЗ-19а2 взяты из сводных таблиц []:

$$\lambda'_G = 0,024 \cdot 10^{-6}; K_p = 1,36; K_R = 1; K_s = 1; K_3 = 1; K_{np} = 1.$$

В печатном узле используется два резистора данного типа. Рассчитаем интенсивность отказа для всех резисторов данного типа, подставив в формулу (9) подобранные данные:

$$\lambda_3 = (0,024 \cdot 10^{-6} \cdot 1,36 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,07528 \cdot 10^{-6}$$

3.6.5 Диоды и стабилитроны

Диод 2Д212А является выпрямительным кремниевым. В справочнике имеются исходные данные на этот тип диодов, поэтому расчет будет производиться по формуле (10):

$$\lambda_3 = \lambda'_G \cdot K_p \cdot K_\phi \cdot K_s \cdot K_3 \cdot K_{np}, \quad (10)$$

Исходные данные для диода 2Д212А, взятые из сводных таблиц []:

$$\lambda'_G = 0,17 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,2317; K_\phi = 1; K_s = 0,8; K_3 = 1; K_{np} = 1.$$

Данные диоды используются в количестве двух штук. Рассчитаем интенсивность отказа данных диодов, подставив в формулу (10) подобранные данные:

$$\lambda_3 = (0,17 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2317 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,0730224 \cdot 10^{-6}$$

Стабилитрон 2С133Г. В справочнике для данного элемента имеются базовые значения, воспользуюсь соответствующей формулой (11):

$$\lambda_3 = \lambda'_G \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{пр}, \quad (11)$$

Исходные данные:

$$\lambda'_G = 0,003 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,3557; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

В данном печатном узле используются два стабилитрона. Рассчитаем интенсивность отказа для всех стабилитронов данного типа, подставив в формулу (11) подобранные данные:

$$\lambda_3 = (0,003 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3557 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,0021342 \cdot 10^{-6}$$

3.6.6 Транзисторы

Транзистор 2Т3117А/ПК является кремниевым биполярным. Для данного элемента имеются базовые значения, воспользуюсь соответствующей формулой (12):

$$\lambda_3 = \lambda'_G \cdot K_p \cdot K_\phi \cdot K_s \cdot K_3 \cdot K_{пр}, \quad (12)$$

Исходные данные:

$$\lambda'_G = 0,064 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,3411; K_\phi = 1,5; K_s = 1,5; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

В адаптере нормирующем используется два транзистора данного типа. Рассчитаем интенсивность отказа для всех транзисторов данного типа, подставив в формулу (12) подобранные данные:

$$\lambda_3 = (0,064 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3411 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,1082368 \cdot 10^{-6}$$

Транзистор 2Т3108В/ПК является кремниевым биполярным. Для данного элемента имеются базовые значения, воспользуюсь соответствующей формулой (12).

Исходные данные:

$$\lambda'_6 = 0,014 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,3411; K_\phi = 1,5; K_s = 1,5; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

Данные транзисторы используются в количестве двух штук. Рассчитаем интенсивность отказа для всех транзисторов данного типа, подставив в формулу (12) подобранные данные:

$$\lambda_3 = (0,014 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3411 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1) \cdot 2 = 0,0314893 \cdot 10^{-6}$$

3.6.7 Разъем

Разъем СНП260 является низкочастотным прямоугольным для печатного монтажа, имеет базовое значение в справочнике [1], интенсивность отказа вычислим по формуле (13):

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_p \cdot K_{к.к} \cdot K_{к.с} \cdot K_3 \cdot K_{пр}, \quad (13)$$

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

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

Исходные данные:

$$\lambda'_6 = 0,00103 \cdot 10^{-6}; K_p = 3,11; K_{к.к} = 14,6; K_{к.с} = 0,32; K_3 = 1; K_{пр} = 1.$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа для разъема СНП260 по формуле (13):

$$\lambda_3 = 0,00103 \cdot 10^{-6} \cdot 3,11 \cdot 14,6 \cdot 0,32 \cdot 1 \cdot 1 = 0,016658176 \cdot 10^{-6}$$

3.7.8 Плата адаптера нормирующего

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Значения интенсивности отказов многослойных плат при эксплуатации рассчитывают по формуле (14):

$$\lambda_3 = \lambda'_6 \cdot K_3 \cdot [N_1 \cdot K_C + N_2 \cdot (K_C \cdot 13)], \quad (14)$$

где K_C – коэффициент количества слоев;

N_1 – количество сквозных отверстий, пропаянных волной;

N_2 – количество сквозных отверстий, пропаянных ручной пайкой.

$$\lambda'_6 = 0,0017 \cdot 10^{-8}; K_3=1; K_C=1; N_1=231; N_2=0.$$

Рассчитаем эксплуатационную интенсивность отказа для печатной платы:

$$\lambda_3 = 0,0017 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot [231 \cdot 1 + 0 \cdot (1 \cdot 13)] = 0,004927 \cdot 10^{-6}$$

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

$$\begin{aligned} \sum \lambda_3 = 10^{-6} \cdot (0,171 + 0,1346 + 0,103 + 0,32072 + 0,0821 + 0,12592 + 0,75052 + \\ + 0,056305 + 0,07528 + 0,0730224 + 0,0021342 + 0,1082368 + 0,0314893 + 0,016658176 + \\ + 0,004927) = 2,055912876 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Среднее время безотказной работы вычисляется по формуле (15):

$$T = 1 / \lambda_3, \quad (15)$$

Где T – среднее время безотказной работы, ч.

Подставив значение интенсивности отказа в формулу (15), получим:

$$T = 1 / (2,055912876 \cdot 10^{-6}) = 486402 \text{ ч.}$$

Сравним с необходимой наработкой. По условиям задания мне необходимо было обеспечить безотказной работой функциональный узел в течении 100000 ч, значит условие выполняется.

3.7 Расчет резонансной частоты печатного узла

Для определения воздействия внешних механических перегрузок на элементы платы адаптера нормирующего, а также возникающих максимальных перемещений при действии вибрации и ударов, необходимо рассчитать собственную резонансную частоту печатного узла.

Исходными данными для расчета собственной частоты колебаний печатной платы являются:

- перечень элементов, установленных на плате;
- a, b, h – геометрические размеры платы; a – большая сторона, м;
- E – модуль упругости материала платы, Н/м²;
- ρ – плотность материала платы, кг/м³;

Так как плата изготавливается из стеклотекстолита, то расчет произведем по следующим коэффициентам: $E=3,3 \cdot 10^{10}$ Н/м², $\rho=2,55 \cdot 10^3$ кг/м³.

Геометрические размеры платы: $a=199$ мм, $b=170$ мм, $h=1,5$ мм

Плата крепится по типу, представленному на рисунке 16:

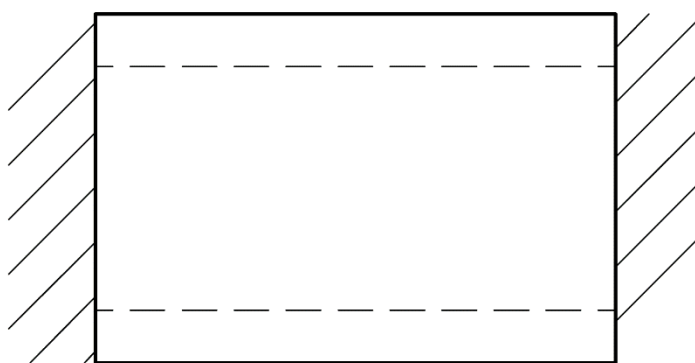


Рисунок 16 – Тип крепления печатной платы

Таблица 3 – Данные о количестве элементов и их массе

Элемент	Количество, шт	Масса, г
К53-18	2	6
К10-176-Н90-1 мкФ	1	2
К10-176-М47-270 пФ	2	0,5
К10-176-Н90-0,1 мкФ	2	0,5
МДМЗ-1В05 МУП	1	22
Р554СА3А	2	1
564АГ1В	1	1,7
533ЛА13	1	0,65
1533АП5	1	1
1533АП3	1	1
559ИП1	1	1
С2-33-0,125	26	0,15
С2-33-0,5	2	1
С2-33-1	1	2
СПЗ-19а2	2	0,8
2Д212А	2	1,5
2С133Г	2	0,5
2Т3117А	2	0,4
2Т3108В	2	0,5
СНП260-69РПЗ1	1	25

Для расчета резонансной частоты используется формула (16):

$$f_0 = \left(\frac{C \cdot h}{a^2} \right) \cdot 10^5 \cdot K_M \cdot K_{MAC}, \quad (16)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Лист

41

где h – толщина платы;

a – длина платы;

C – коэффициент, определяемый по соотношению сторон печатной платы a/b и ее типу крепления.

Для нахождения коэффициента C нужно представить данные промежутки в виде линейной интерполяции. $F(x) = [1; 1,5]$ и $f(y) = [67,3; 90,9]$.

$$C = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \cdot (y - y_1) + x_1, \quad (17)$$

где $y = a/b$;

$[x_1; x_2] = [67,3; 90,9]$;

$[y_1; y_2] = [1; 1,5]$.

$C = 75,32$.

Значение коэффициента K_M вычислим по формуле (18):

$$K_M = \sqrt{\frac{E \cdot \rho_c}{E_c \cdot \rho}}, \quad (18)$$

где E_c – модуль Юнга стали;

E – модуль Юнга стеклотекстолита;

ρ_c – плотность стали;

ρ – плотность стеклотекстолита.

Подставив в формулу (18) получим:

$$K_M = \sqrt{\frac{3,3 \cdot 10^{10} \cdot 7,85 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,35 \cdot 10^3}} = 0,725$$

Найдем значение коэффициента K_{MAC} по следующей формуле (19):

$$K_{\text{MAC}} = \sqrt{1 + \frac{m_{\text{э}}}{m_{\text{п}}}}, \quad (19)$$

где $m_{\text{э}}$ – масса всех элементов, установленных на печатную плату;

$m_{\text{п}}$ – масса печатной платы без элементов.

Воспользуемся исходными данными о количестве и массе элементов, подставив в формулу (20):

$$m_{\text{э}} = \sum m_i \cdot n_i, \quad (20)$$

где m_i – масса элемента;

n_i – количество элементов, установленных на печатную плату.

Воспользуемся исходными данными о количестве и массе элементов, подставив в формулу:

$$\begin{aligned} m_{\text{э}} = & 2 \cdot 6 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,5 + 1 \cdot 22 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1,7 + 1 \cdot 0,65 + 1 \cdot 1 + \\ & + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 26 \cdot 0,15 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,4 + \\ & + 2 \cdot 0,5 + 1 \cdot 25 = 0,08565 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Рассчитаем массу печатной платы без элементов по следующей формуле (21):

$$m_{\text{п}} = \rho \cdot a \cdot b \cdot h, \quad (21)$$

Подставим исходные значения в формулу (21):

$$m_{\text{п}} = 2,35 \cdot 10^3 \cdot 0,199 \cdot 0,170 \cdot 0,0015 = 0,120 \text{ кг.}$$

Подставим полученные значения в формулу (19) получим:

$$K_{\text{MAC}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,08565}{0,120}}} = 0,77$$

Выполним расчет резонансной частоты, подставим все найденные значения в формулу (16):

$$f_0 = \left(\frac{75,32 \cdot 1,5}{199^2} \right) \cdot 10^5 \cdot 0,725 \cdot 0,77 = 159,3 \text{ Гц}$$

Результат расчета показал, что резонансная частота печатной платы составляет 159,3 Гц.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе выполнена модернизация платы адаптера нормирующего, предназначенного для сопряжения датчиков “Север” и “36” колонны привода маяка РСБН с цифровой аппаратурой. Разработана лицевая панель, кронштейн крепления печатной платы к лицевой панели, а также разработана конструкторская документация. Подобрана и обоснована новая элементная база, соответствующая требованиям технического задания. Произведен расчет топологии печатной платы, произведена компоновка устройства, выбор формовки выводов каждого элемента и способа его установки, разработана конструкторская документация на печатную плату. Создана 3D модель устройства.

Произведен расчет надежности печатного узла, который подтверждает выполнение требования о безотказной работе в течении 100 000 ч. Так же проведен расчет резонансной частоты печатной платы, по условиям эксплуатации на адаптер нормирующий может быть воздействие синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 20-50 Гц, полученный итог расчетов показал, что при частоте 159,3 Гц начнется разрушение печатного узла, следовательно, печатный узел имеет большой запас прочности на вибрацию.

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

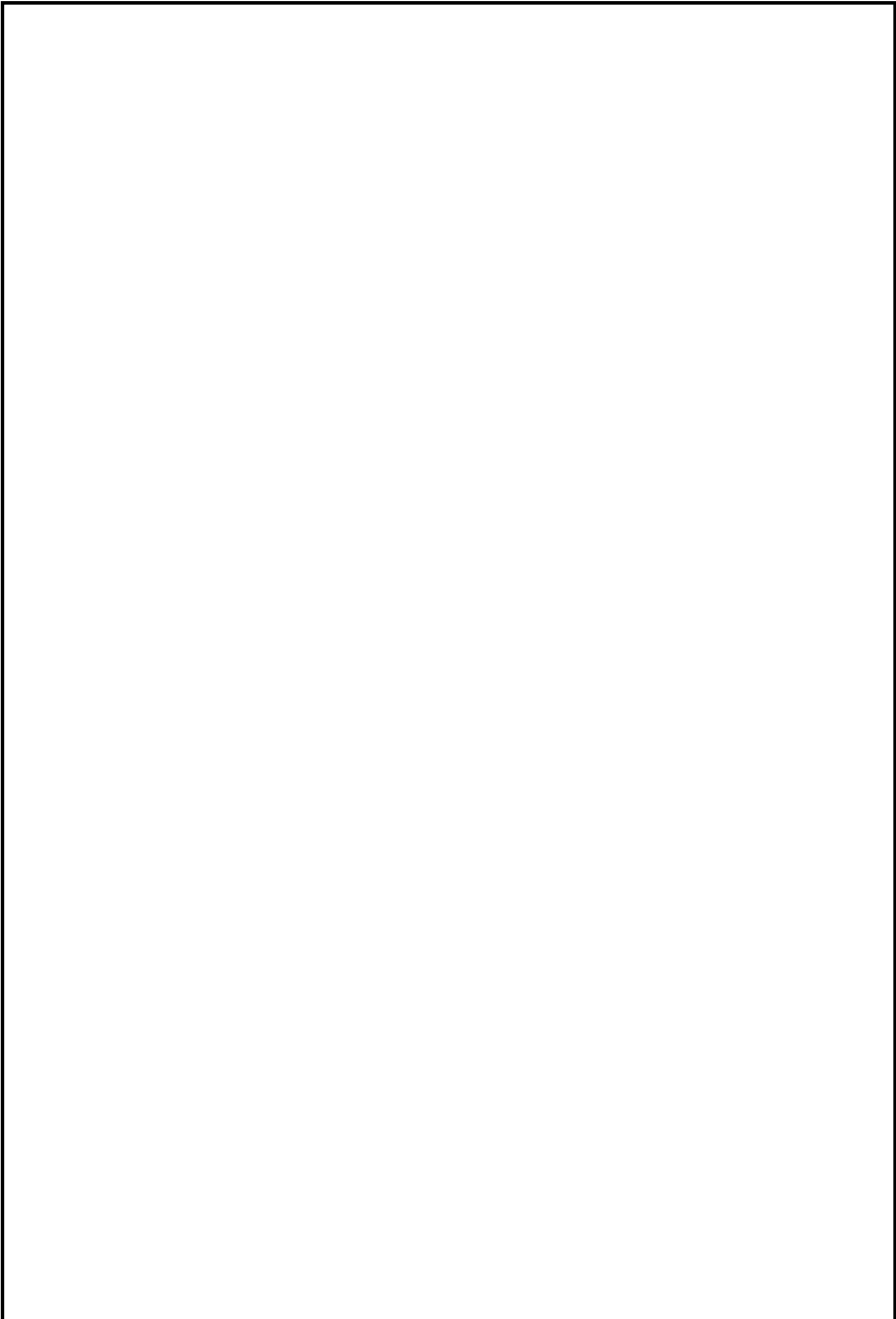
Схема электрическая принципиальная

ТБИС.468353.004 ЭЗ

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Перечень элементов
ТБИС.468353.004 ПЭЗ

					110303.2019.259.00 ПЭЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Чертеж печатной платы
ТБИС.758726.368

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Чертеж панели с надписью
ТБИС.754322.098

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Чертеж угольника

ТБИС.746154.064

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Сборочный чертеж адаптера нормирующего

ТБИС.468353.004 СБ

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Спецификация

ТБИС.468353.004

					110303.2019.259.00 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2019.259.00 ПЗ