

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой КиПР  
\_\_\_\_\_ Н.И. Войтович  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СОГЛАСУЮЩЕГО АНАЛОГОВОГО ДЛЯ  
ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМОГО В  
РАКЕТОНОСИТЕЛЯХ  
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-11.03.03.2020.270.00 ПЗ ВКР

Руководитель от предприятия  
Начальник сектора отдела 234  
\_\_\_\_\_ /Р. Р. Габдрахманов/  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель от кафедры КиПР  
Старший преподаватель кафедры  
КиПР  
\_\_\_\_\_ /П. В. Суворов/  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы КЭ-412  
\_\_\_\_\_ /Т. И. Яценко/  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер  
\_\_\_\_\_ /Е. М. Юнгайтис/  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Ященко Т. И. Разработка устройства согласующего аналогового для измерений характеристик кабелей, применяемого в ракетносителях. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2020, 60 с. 47 ил., библиогр. список – 16 наим., 7 прил., 2 плаката ф. А1 и ф. А2, 3 листа чертежей ф. А2.

В выпускной квалификационной работе разработан печатный узел, входящий в состав устройства согласующего аналогового для измерения характеристик кабелей, применяемого в ракетносителях. Оно предназначено для бесконтактного измерения силы тока в электрических цепях источников питания постоянного напряжения заданного диапазона и преобразования измеренного значения силы тока в пропорциональный нормированный выходной сигнал, выдаваемого на входы бортовых информационно-телеметрических средств. В изделии применены только отечественные радиоэлементы.

В ходе выполнения проекта были разработаны: плата печатная, ее чертеж, сборочный чертеж печатного узла. Для автоматизации процесса проектирования были использованы программные пакеты Altium Designer, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor Professional.

					110303.2020.270.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Ященко			Разработка устройства согласующего аналогового для измерений характеристик кабелей, применяемого в ракетносителях	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Суворов					8	60
Н. Контр.		Юнгайтис			ЮУрГУ Кафедра КиПР			
Утв.		Войтович						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	10
1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ .....	11
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	12
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ РАЗРАБОТОК .....	16
4 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ. РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОГО УЗЛА.....	18
4.1 Обоснование выбора типа ПП.....	18
4.2 Выбор материала ПП.....	20
4.3 Выбор конструктивного покрытия.....	21
4.4 Определение габаритов ПП.....	22
4.5 Выбор и расчет отверстий.....	23
4.6 Выбор контактных площадок для элементов поверхностного монтажа.	27
4.7 Выбор и расчет печатных проводников.....	35
4.8 Создание библиотеки.....	39
4.9 Трассировка печатной платы.....	47
4.10 Разработка чертежа печатной платы.....	48
4.11 Разработка сборочного чертежа печатного узла.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	52
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Печатный узел. Схема принципиальная электрическая	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Печатный узел. Перечень элементов.....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Печатный узел. Чертеж печатной платы.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Печатный узел. Сборочный чертеж.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Печатный узел. Спецификация.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Печатный узел. 3D – модель.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Устройство согласующее аналоговое – токовое. 3D – модель.....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения своевременности отклика системы управления, необходимо осуществлять контроль параметров системы, в том числе проверку силы тока в кабельной сети.

В предыдущих решениях данной задачи использовались устройства, которые изначально предусматривались на кабеле. При возникновении определенных неполадок в системе, его необходимо разбирать, кабель распаивать, что может оказаться нерентабельно, а в каких-то ситуациях вообще невозможно.

Появилась задача создать прибор разъемной конструкции, который будет крепиться на кабель не на заводе-изготовителе, а непосредственно при сборке.

Прибор УСА – Т устанавливается на кабель, по которому протекает постоянный ток. В корпусе располагается магнитопровод, разделенный на две части, внутри которого расположен сенсор. В зависимости от наличия тока в кабеле, меняется характеристика поля – электромагнитная индукция, которую считывает датчик.

Такое решение позволит сэкономить средства на замену подобной системы, упростить ее изготовление.

В данной квалификационной работе производится разработка печатного узла для прибора УСА – Т, который необходим для преобразования напряжения питания и для согласования работы сенсора – измерение и фильтрация параметров.

Основными требованиями к печатному узлу является соответствие заданным габаритам и выполнение согласно электрической принципиальной схеме и перечню элементов.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Темой выпускной квалификационной работы является разработка печатного узла, входящий в состав устройства согласующего аналогового для измерений характеристик кабелей, применяемого в ракетоносителях.

В приборе два соединителя, один из которых отвечает за питание (от 23 В до 33В), а второй за обмен данными между устройством и бортовой аппаратурой. Конкретной задачей стоит разработка печатного узла данного прибора, служащего для преобразования напряжения из 30В в 5В и передачи измеренного значения на второй соединитель.

Согласно техническому заданию при разработке прибора УСА – Т, в частности печатного узла, должны выполняться следующие требования:

- 1) размеры и размещение печатного узла должны соответствовать требованиям к габаритам устройства;
- 2) соответствие перечню элементов 468151.2020.01ПЭЗ;
- 3) соответствие принципиальной электрической схеме;
- 4) выбор материала основания, покрытия, метода изготовления должно соответствовать техническим требованиям к устройству и активно применяться на предприятии «НПО Автоматики им. академика Н.А. Семихатова»;
- 5) расчет отверстий проводить, опираясь на паспорт каждого компонента.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проанализирован перечень государственных стандартов, нормативных документов, используемый в разработке печатного узла, помимо электронных ресурсов и паспортов на элементную базу, применяемые в конструкции печатного узла.

ГОСТ 23751-86 Платы печатные. Основные параметры конструкции. Стандарт устанавливает основные параметры конструкции печатных плат и печатных кабелей.

ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия. Настоящий стандарт распространяется на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП) и многослойные печатные платы (МПП) на гибком и жестком диэлектрическом основании и гибкие печатные кабели (ГПК).

ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции. Стандарт устанавливает основные параметры конструкции печатных плат и печатных кабелей: основные размеры и их предельные отклонения, размеры элементов конструкции и их предельные отклонения, позиционные допуски расположения элементов конструкции, а также основные электрические параметры - допустимые рабочие напряжения, допустимую токовую нагрузку и допустимые сопротивления печатных проводников.

ГОСТ 2930-62 Приборы измерительные. Шрифты и знаки. Настоящий стандарт распространяется на шрифты и знаки, наносимые различными методами на детали измерительных приборов и их отдельные вспомогательные части.

ОСТ 92-1615-74 Полупроводниковые приборы и микросхемы. Меры защиты от статического электричества. Данный стандарт распространяется на меры защиты полупроводниковых приборов и интегральных микросхем от статического электричества. Стандарт устанавливает требования к проектированию, входному контролю, процессам производства, ремонту

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

радиоэлектронной аппаратуры, монтажу приборов, содержащих полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, обеспечивающие их защиту от статического электричества.

ГОСТ 19005-81 Средства обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Стандарт устанавливает общие требования к металлизации и заземлению, которые необходимы для защиты изделий от воздействия зарядов статического электричества в процессе их изготовления, испытаний и эксплуатации.

ГОСТ 9.301-86 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования. Настоящий стандарт распространяется на металлические и неметаллические неорганические покрытия, получаемые электрохимическим, химическим и горячим (олово и его сплавы) способами, и устанавливает общие требования к поверхности основного металла и покрытиям в процессе их производства и контролю качества основного металла и покрытий.

ГОСТ 12172-74. Клеи фенолополивинилацетальные. Технические условия. Настоящий стандарт распространяется на фенолополивинилацетальные клеи, представляющие собой спиртовые растворы поливинилацеталей с резольными фенолоформальдегидными смолами. Фенолополивинилацетальные клеи применяются для склеивания металлов и неметаллов.

ОСТ 92-1042-98 Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Технические требования и требования безопасности к типовым технологическим операциям сборки и монтажа блоков и узлов на печатных платах. Настоящий стандарт распространяется на радиоэлектронную аппаратуру и приборы, электрический монтаж которых выполнен пайкой на односторонних, двусторонних и многослойных печатных платах с применением электроэлементов: микросхем, микросборок, резисторов, конденсаторов, дросселей, полупроводниковых приборов, блоков, матриц и проводов, и устанавливает технические требования и требования безопасности к типовым технологическим операциям сборки и

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

монтажа блоков и узлов аппаратуры.

ОСТ 92-9388-98 Формовка выводов электрорадиоэлементов для установки на печатные платы радиоэлектронной аппаратуры. Настоящий стандарт определяет порядок конструирования формовки выводов электрорадиоэлементов для установки на печатные платы радиоэлектронной аппаратуры.

ОСТ 92-9389-98 Установка электрорадиоэлементов на печатные платы радиоэлектронной аппаратуры. Технические требования. Настоящий стандарт распространяется на установку электрорадиоэлементов: резисторов, конденсаторов, дросселей, полупроводниковых приборов, микросхем, микросборок, матриц, блоков и реле на односторонние, двухсторонние и многослойные печатные платы радиоэлектронной аппаратуры 1 - 6 классов и устанавливает технические требования к установке элементов.

ОСТ 92-1542-83 Соединения резьбовые. Методы предохранения от самоотвинчивания. Стандарт устанавливает для резьбовых соединений методы и виды предохранения от самоотвинчивания стандартизованных резьбовых крепежных деталей полимерными материалами (для соединений из различных материалов) и механическими средствами (для соединений не металлов), разрешенными для применения в отрасли.

ОСТ 92-1586-89 Краски маркировочные. Общие требования к выбору, приготовлению и нанесению. Настоящий стандарт распространяется на маркировочные краски для нанесения надписей и обозначений на изделия и устанавливает требования к выбору, приготовлению красок, нанесению маркировочных знаков красками и методы контроля.

ГОСТ 2.201-80 Обозначение изделий и конструкторских документов. Настоящий стандарт устанавливает единую обезличенную классификационную систему обозначения изделий основного и вспомогательного производства и их конструкторских документов всех отраслей промышленности при разработке, изготовлении, эксплуатации и ремонте.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14



ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации (ЕСКД).  
Основные требования к чертежам. Настоящий стандарт устанавливает основные требования к выполнению чертежей деталей, сборочных, габаритных и монтажных на стадии разработки рабочей документации для всех отраслей промышленности.

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации (ЕСКД).  
Текстовые документы. Настоящий стандарт устанавливает формы и правила выполнения конструкторских документов изделий машиностроения и приборостроения.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

### 3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ РАЗРАБОТОК

На рынке представлено множество различных по характеристикам датчиков холла для измерения тока.

Наиболее подходящие аналоги:

1. Датчик тока RCS07A-300

Рисунок 1 - Датчик RCS07A-300

2. Датчик тока RCB69A-100A

Рисунок 2 – Датчик RCB69A-100A

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

### 3. Датчик тока SCY6 Ipn100A

Рисунок 3 – Датчик SCY6 Ipn100A

Таблица 1 – Основные технические характеристики [1]

Характеристика	RCS07A-300	RCB69A-100A	SCY6 Ipn100A
Номинальный ток, А	300	100	100
Диапазон измерения, А	600	1500	300
Напряжение питания, В	12...15	15...24	4...5
Рабочая температура, °С	-40...+58	-25...+85	-20...+80
Диаметр отверстия, мм	21	39,5x39,5	21
Точность измерения, %	1	0,5	1

Проанализировав аналоги УСА – Т, найдены схожие по параметрам приборы, но все же различные и не подходящие по основным критериям.

Можно выделить основные причины несоответствия главным требованиям:

1) конструкция неразъемного типа, что противоречит главному требованию к УСА – Т;

2) прибор не рассчитан на необходимый диапазон измеряемого тока,

равный от 0 до 90 А;

3) прибор не рассчитан на необходимый диапазон постоянного напряжения питания, равный от 23 до 33 В;

4) диаметр отверстия не соответствует сечению силового кабеля, по которому протекает постоянный ток;

5) конструкция холла не предусматривает возможность крепления к блоку РН;

6) зарубежная элементная база.

#### 4 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ. РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОГО УЗЛА.

##### 4.1 Обоснование выбора типа ПП.

Согласно ГОСТ 23751-86, по конструкции печатные платы делятся на типы:

- Односторонняя печатная плата (ОПП);
- Двусторонняя печатная плата (ДПП);
- Многослойная печатная плата (МПП).

Так как в разработке используется массивный элемент – одноканальный модуль питания, и достаточно большое количество радиоэлементов и соединений, а размер ПП ограничены, то целесообразнее использовать ДПП. Некоторые особенности и преимущества данного выбора:

- 1) ДПП применяются в измерительном оборудовании управления, высокочастотной технике;
- 2) размещение радиоэлементов производится на двух сторонах, что позволяет увеличить плотность монтажа печатного рисунка;
- 3) хорошая механическая прочность крепления радиоэлементов на плату;
- 4) высокая трассировочная способность;
- 5) допускается монтаж на поверхность платы;

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

б) платы данного типа наиболее распространенные в производстве радиоэлектронных устройств.

Для дальнейших выборов и расчетов, необходимо определиться с классом точности печатной платы. Согласно ГОСТ 23751-86, предусматривается пять классов точности. Выбор соответствующего класса связан с уровнем технологического оснащения производства.

При производстве на данном предприятии наиболее распространены печатные платы третьего класса точности, так как обеспечивается высокая плотность трассировки и монтажа, а также для производства требуется стандартное, хоть и специализированное оборудование. Третий класс предназначен для ПП с микросхемами и другими элементами, имеющие штыревые и планарные конструкции выводов при средней и высокой насыщенности поверхности ПП этими элементами.

В ГОСТ 23751-86 представлена информация с параметрами для дальнейших расчетов печатного рисунка и изготовления печатной платы. Для удобства использования, данные сведены в таблицу 2 для выбранного класса точности ПП. [2]

Таблица 2 - Параметры для третьего класса точности

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	$\gamma=0,33$

Так как толщина печатной платы больше 0,5 мм, следовательно, плата считается жесткой.

Основной причиной выбора параметров является типовая технология производства ПП на данном предприятии, следовательно, необходимо принять следующие значения:

- Тип печатной платы – двусторонняя;
- Класс точности – 3;
- Группа жесткости – 3
- Метод изготовления – комбинированный позитивный
- Толщина ПП – 1,5 мм.

#### 4.2 Выбор материала ПП.

Так как к печатному узлу предъявлены достаточно жесткие требования, необходимо рассмотреть особенности на начальных этапах разработки печатного узла – выбор материала основания.

Исходя из специфики установки печатного узла и устройства в целом, необходимо учитывать массогабаритные параметры, прочность и механическую устойчивость, стойкость к атмосферному воздействию и другие характеристики.

Ссылаясь на требования к конструкции, необходимо выделить некоторые пункты для выбора материала. Прибор используется в бортовой аппаратуре и должен быть выполнен в массе не более 5 кг, следовательно, материал должен быть легким, но прочным. Диэлектрическое основание должно быть устойчиво к вибрационным нагрузкам. Обработка выбранного материала не должна требовать особого оборудования на производстве. Стоимостной показатель также немаловажный фактор.

Наиболее подходящий материал в данной разработке – стеклотекстолит – прочный материал, обладающий уникальными физическими и механическими свойствами.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

Разновидностей данного диэлектрического основания отечественного производства на рынке большое количество, например, СФ, СОНФ-У, СТФ, СТНФ, СНФ, ДФМ-59, СФВН. Изучив основные различия, был выбран стеклотекстолит фольгированный СТФ-2-18. Также данный материал широко используется на предприятии – изготовителе. Стеклотекстолит СТФ теплостойкий, представляет собой листы, изготовленные на основе стеклотканей, пропитанных связующим на основе эпоксидных смол и облицованные с двух сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 18 мкм. Применяется в радиотехнике, приборостроении, электронике для изготовления односторонних, двусторонних и многослойных печатных плат. Предельно допустимая температура от -60°С до +105°С. Имеет очень высокие механические и электроизоляционные свойства, хорошо поддается механической обработке резкой, сверлением, штамповкой. [3]

#### 4.3 Выбор конструктивного покрытия.

Конструктивное покрытие проводящего рисунка печатной платы должно выполнять защитную функцию проводников при вытравливании меди и необходимо при пайке выводов радиоэлементов.

В разработке печатной платы применяется покрытие олово - свинец О-С (60). Данный выбор обуславливается рядом преимуществ:

- покрытие обеспечивает коррозионную надежность;
- оплавление при невысоких температурах (240-280 °С в течении 0,25-0,35 мин);
- высокие эксплуатационные характеристики;
- допускается пайка низкотемпературными припоями с применением неактивных флюсов.[4]

На основании микросхемы 544УД19У3 наносится компаунд Виксинг К-86. Предназначен для герметизации различных изделий радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры.

Применяется паяльная паста Cobarg OT2 на основе безотмывочного канифольного флюса ROL0. Применяется в основном для BGA, SMD, восстановления контактов и пайки разъемов.

После установки элементов печатный узел покрывается лаком УР 231. Применяется для покрытия печатных плат промышленной и военной электроники. Полученная защитная плёнка лака может использоваться в температурном диапазоне от  $-60$  до  $+120$  градусов по Цельсию. Лак обладает высоким коэффициентом удельного объемного электрического сопротивления ( $1 \cdot 10^{14}$  Ом•см). УР-231 обычно наносится в 2-4 слоя с сушкой после каждого нанесения. [5]

Используемые материалы часто применяется в подобных устройствах и является распространенным на данном предприятии.

#### 4.4 Определение габаритов ПП.

Допускается применять ПП по форме и размерам, отличным от стандартов, если такой выбор обеспечит оптимальное расположение печатного узла в корпусе прибора.

В данном случае целесообразнее отклониться от принятого стандарта и выбрать замеры печатной платы, наиболее подходящие к расположению в корпусе.

Габариты устройства, являющиеся исходными данными,  $106 \times 84 \times 58$  мм, что не противоречит пункту технического задания к проекту 3.1.3 Требование к конструкции: «Прибор должен быть выполнен в габаритах не более  $300 \times 300 \times 300$  мм». Проанализировав внутреннее наполнение устройства УСА – Т и конструкцию в целом, необходимо принять размеры, указанные на рисунке 4.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22



#### Рисунок 4 – Форма и размеры печатной платы

Шероховатость механически обрабатываемых поверхностей  $\sqrt{Ra} 12,5$ .  
Выбранная величина обусловлена технологией изготовления ПП на предприятии.

#### 4.5 Выбор и расчет отверстий.

В печатном узле прибора УСА – Т элементную баз в основном составляют чип- элементы и элементы с планарными выводами, исключение составляет разъем и вставка плавкая (предохранитель).

Следовательно, для данных двух компонентов необходимо определить диаметр выводов, что можно сделать по паспорту элемента, для того, чтобы рассчитать диаметр металлизированного отверстия.

Разъем СНП346-2ВП21-2-В: штыревой двухрядный низкочастотный соединитель ручного сочленения (расчленения), способ монтажа – пайка.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Хвостовики контактов соединителей предназначены для следующих способов монтажа:

– прямого и углового монтажа в отверстия печатной платы толщиной до 2 мм (используемый вариант в данной разработке);

– розетки для монтажа провода с сечением жил от 0,08 до 0,35 мм<sup>2</sup> способом обжатия.

Помимо информации о характеристиках разъема и способах монтажа, в паспорте представлена таблица для следующих видов:

- 1) однорядная прямая;
- 2) однорядная угловая;
- 3) двухрядная прямая и т.д.

В данном проекте используется первый вариант – однорядная прямая. Для наглядности информации, необходимые параметры сведены в таблицу 3, а общий вид и чертеж представлены на рисунке 5. [6]

Таблица 3 – Параметры для разъема СНП346-2ВП21(2)-2

Условное обозначение	Размеры, мм		n	Кол-во контактов	Масса, г
	A	L			
СНП346-2ВП21(2)-2	-	2,5	-	2	0,12

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

110303.2020.270.00 ПЗ

Лист

24

### Рисунок 5 – Эскиз и размеры разъема СНП346

Также на плате присутствуют приемные отверстия для разъема СНП346-3ВП21(2)-1. Необходимые параметры представлены в таблице 4, а размеры и общий вид на рисунке 5. [6]

Таблица 4 – Параметры для разъема СНП346-3ВП21(2)-1

Условное обозначение	Размеры, мм		n	Кол-во контактов	Масса, г
	A	L			
СНП346-2ВП21(2)-2	5,08	7,6	2	3	0,180

Вставка плавкая (предохранитель) ОСВП1-2 1А предназначена для защиты электрических сетей от перегрузок и токов короткого замыкания. На рисунке 6 представлены размеры и общий вид вставки плавкой. [7]

Рисунок 6 – Эскиз и размеры вставки плавкой (предохранителя)

На остальные компоненты элементной базы информация о характеристиках, параметрах и размерах представлена в разделе 4.6 Выбор контактных площадок для элементов поверхностного монтажа.

Минимальный диаметр металлизированного отверстия ПП ограничен технологией металлизации отверстия:

$$d_{min} \geq H_{расч.} * \gamma , \quad (1)$$

$$d_{min} \geq 0,495 \text{ мм} \Rightarrow d_{min} \geq 0,5 \text{ мм},$$

где  $\gamma = 0,33$  – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине ПП, взятое из таблицы 1;

$H_{расч.} = 1,5$  мм – принятая толщина ПП, взятая из исходных данных.

Номинальное значение металлизированного отверстия

$$d = d_3 + (0,1 \dots 0,4), \quad (2)$$

где  $d_3$  – максимальный диаметр вывода устанавливаемого электрорадиоэлемента;  $d_3 = 0,4; 0,62$  мм.

$$d_{(0,4)} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм}; \quad d_{(0,62)} = 0,62 + 0,1 = 0,72 \text{ мм}$$

Рассчитанные значения  $d$  сводят к предпочтительному ряду отверстий 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 1,6; 1,7; 1,8 мм. Выбранные диаметры отверстий проверяют на реализуемость в соответствии с (1). Полученное значение  $d_{(0,62)}$  следует округлить до 0,7 мм.[8]

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

Также на плате присутствуют крепежные отверстия следующих диаметров:

$d = 1,4$  мм – 12 шт.;

$d = 1,8$  мм – 1 шт.;

$d = 2,7$  мм – 2шт., данные отверстия предназначены для крепления одноканального модуля МПН27-12-05-В;

$d = 2,9$  мм – 6 шт.

Для наглядности представления информации следует все значения отверстий свести в общую таблицу 5.

Таблица 5 – Размеры отверстий ПП

Диаметр отверстия	Назначение	Количество
Металлизированные отверстия		
0,6 мм	Для ОСВП1-2 1А	2 шт.
0,7 мм	Для СНП346-2ВП21(2)-2	2 шт.
0,7 мм	СНП346-3ВП21(2)-1	3 шт.
Крепежные отверстия		
1,4 мм	Крепление ПП к корпусу	12 шт.
1,8 мм		1 шт.
2,9 мм		6 шт.
2,7 мм	Для крепления модуля МПН27-12-05-В	2 шт.

#### 4.6 Выбор контактных площадок для элементов поверхностного монтажа.

Изготовители радиоэлементов предоставляют информацию о размерах самого элемента, его номиналах и размерах контактных площадок. Для определения необходимых параметров каждого элемента в данном разделе, следует обратиться к паспортам на каждый компонент. Перечень элементов

является исходным документом для разработки устройства согласующего аналогового.

1. Конденсатор К10-79-25В-0,1мкФ±20%-Н30 в количестве 6 шт. и конденсатор К10-79-25В-1мкФ±20%-Н30 в количестве 1 шт. имеют различные размеры, но общий внешний вид, следовательно, параметры конденсаторов указаны в таблице 6. [9]:

Рисунок 7 – Общий вид конденсатора К10-79

Таблица 6 – Размеры конденсатора К10-79

Элемент	L, мм	В, мм	Нmax, мм	Масса, г
К10-79-25В-0,1мкФ±20%-Н30	3,2	1,6	1,6	0,15
К10-79-25В-1мкФ±20%-Н30	2,0	8	6	0,8

2. Конденсатор ОСК53-65 «Е»-50В-6,8мкФ±10% в количестве 1 шт. и конденсатор ОСК53-65 «А»-20В-2,2мкФ±10% в количестве 1 шт. различны по размерам. Необходимые значения сведены в таблицу 7. [10]

Рисунок 8 – Общий вид конденсатора ОСК53-65

Таблица 7 – Размеры конденсатора ОСК53-65

	ОСК53-65 «Е»-50В- 6,8мкФ±10%	ОСК53-65 «А»-20В- 2,2мкФ±10%
L, мм	7,3±0,3	3,2±0,2
W, мм	4,3±0,3	1,6±0,2
H, мм	4,1±0,3	1,6±0,2
P, мм	1,3±0,3	0,8±0,3
B, мм	2,4±0,1	1,2±0,1
Масса, г, не более	0,6	0,05

3. Микросхема 544УД19У3 в количестве 4 шт. – универсальный сдвоенный операционный усилитель с полевыми транзисторами на входе. Предназначена для применения в аппаратных средствах аналоговой обработки сигналов при управлении объектами. Общий вид элемента и его размеры представлены на рисунке 9. [11]

Рисунок 9 – Общий вид и размеры микросхемы 544УД19У3

Информация о выводах микросхемы представлена на рисунке 10 и в таблице 8.

Рисунок 10 – Выводы и ключ микросхемы 544УД19У3

Таблица 8 – Информация о выводах микросхемы 544УД19У3

№ вывода	Назначение вывода
1	Свободный
2	Свободный



3	Выход 1-го канала
4	Вход 1-го канала инвертирующий
5	Вход 1-го канала инвертирующий
6	Напряжение питания $U_{CC2}$ (минус)
7	Свободный
8	Свободный
9	Свободный
10	Свободный
11	Вход 2-го канала неинвертирующий
12	Вход 2-го канала инвертирующий
13	Выход 2-го канала
14	Напряжение питания $U_{CC2}$ (плюс)
15	Свободный
16	Свободный

4. Микросхема 1334ЕН5Т – с фиксированным выходным напряжением положительной и отрицательной полярности. Предназначены для использования в системах электропитания узлов радиоэлектронной аппаратуры. Выводы обозначены на рисунке 9, где вывод 1 – вход, вывод 2 – выход, вывод 3 – общий.  
[12]

Рисунок 11 – Общий вид и размеры микросхемы 1334ЕН5Т

5. Резисторы:

ОСМ P1-16П-0,062Вт-1кОм±0,25%-0,5-Г-"А";

ОСМ P1-16П-0,062Вт-10кОм±0,1%-0,5-Г;

ОСМ P1-16П-0,062Вт-2,74кОм±0,1%-0,5-Г-"А";

ОСМ P1-16П-0,062Вт-3,01кОм±0,1%-0,5-Г.

Данные резисторы имеют одинаковые размеры, указанные на рисунке 12, их значения в таблице 9. [13]

Рисунок 12 – Общий вид и размеры резистора ОСМ P1-16П-0,062Вт

Таблица 9 – Размеры резистора ОСМ P1-16П-0,062Вт

Вид	Типоразмер	Н, мм	L, мм	В, мм	l, мм	Масса, г
ОСМ P1-16П-0,062В	0805	0,7±0,2	2,0±0,15	1,25±0,15	0,2	0,015

6. Резисторы:

ОС P1-12-0,125-1 кОм±1%-Н;

ОС P1-12-0,125-100 Ом±1%-Н;

ОС P1-12-0,125-49,9 Ом±1%-Н;

ОС P1-12-0,125-4,3 кОм±5%-Н;

ОС P1-12-0,25-32,4 Ом±1%-Н;

ОС P1-12-0,25-2 Ом±5%-Н;

ОС P1-12-0,125-3,16 кОм±1%-Н;

ОС P1-12-0,125-806 Ом±1%-Н.

Данные резисторы отличаются размерами, зависящие от номинальной мощности рассеяния. Для удобного восприятия информации, сведения о размерах используемых резисторов сведены в общую таблицу 10. [14]

Рисунок 13 – Общий вид и размеры резистора ОС P1-12

Таблица 10 – Размеры резистора ОС P1-12

Вид	Типоразмер	H, мм	L, мм	B, мм	l, мм
ОС P1-12-0,125	0805	0,40±0,20	2,00±0,20	1,25±0,20	0,40±0,20
ОС P1-12-0,25	1206	0,60±0,20	3,20±0,20	1,60±0,15	0,40±0,20

7. Транзистор 2Т3130Б9 в количестве 1 шт. – кремниевые эпитаксиально-планарные структуры n-p-n усилительные. Предназначены для применения во входных каскадах малошумящих низкочастотных усилителей, в высокочастотных усилителях, генераторах, стабилизаторах напряжения герметизированной аппаратуры. [15]

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2020.270.00 ПЗ

Лист

33

Рисунок 14 – Общий вид и размеры транзистора

8. Одноканальный модуль питания СПНМ27-05 предназначен для работы от систем электроснабжения постоянного тока с номинальными напряжениями 27 В и 12 В. [16]

Рисунок 15 – Общий вид и размеры одноканального модуля питания

Учитывая технологии производства предприятия и размеры элементов, были выбраны следующие значения. Для наглядности и удобства восприятия

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

информации, размеры контактных площадок всех компонентов, устанавливаемые на поверхность ПП, следует свести в общую таблицу 11.

Таблица 11 – Размеры контактных площадок

Элемент	Размер одной контактной площадки для одного вывода, мм	Обозначение элемента
СПНМ27-05	1,2x2,6	AG1
К10-79-25В-0,1мкФ±20%-Н30	1,5x2,1	C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>5</sub> , C <sub>7</sub> – C <sub>9</sub>
К10-79-25В-1мкФ±20%-Н30	2x7	C <sub>4</sub>
ОСК53-65"Е"-50В-6,8мкФ±10%	2,4x2,6	C <sub>3</sub>
ОСК53-65"А"-20В-2,2мкФ±10%	1,5x2,1	C <sub>6</sub>
544УД19У3	1x2,4	DA <sub>1</sub> – DA <sub>4</sub>
1334ЕН5Т	0,8x1,4 и 1,4x1,4	DA <sub>5</sub>
ОСМ Р1-16П-0,062ВТ	1,2x1,6	R <sub>1</sub> – R <sub>3</sub> , R <sub>6</sub> , R <sub>8</sub> , R <sub>9</sub> , R <sub>12</sub> – R <sub>21</sub> , R <sub>25</sub> , R <sub>27</sub> , R <sub>28</sub>
ОС Р1-12-0,125ВТ	0,9x1,3	R <sub>4</sub> – R <sub>6</sub> , R <sub>9</sub> – R <sub>11</sub> , R <sub>22</sub> , R <sub>28</sub> , R <sub>29</sub>
ОС Р1-12-0,25ВТ	1,2x1,8	R <sub>23</sub> , R <sub>26</sub>
2Т3130Б9	1,1x1,5	VT1, VT2

#### 4.7 Выбор и расчет печатных проводников.

При выборе и расчете минимальной и максимальной ширины проводника следует рассматривать технологические и электрические факторы. Технологические факторы связаны с особенностями (погрешностями) при

изготовлении структуры проводника. Электрические факторы связаны с обеспечением целостности проводника и не превышения предельно допустимого падения напряжения на проводнике при протекании по нему тока заданной величины.

1. Минимальная ширина сигнальных проводников ДПП, изготовленных комбинированным позитивным методом.

$$t_{\min c} = t_{1\min} + 1,5h_{\phi} + h_{\Gamma} + h_{\rho} \quad (3)$$

где  $t_{1\min}$  – минимальная эффективная ширина проводника, для 3-го класса точности  $t_{1\min} = 0,18\text{мм}$ ;

значения  $h_{\phi} = 0,035$  мм, определяется согласно методу изготовления;

$h_{\Gamma} = 0,05 \dots 0,06$  – толщина гальванически наращенной меди;

$h_{\rho} = 0,02$  – толщина гальванического резиста, (табличные значения).

$$t_{\min c} = 0,18 + 0,0525 + 0,055 + 0,02 = 0,308 \text{ мм}$$

Полученное по формуле (3) значение  $t_{\min c}$  не должно быть меньше минимальной ширины проводника, определяемой классом точности. Ширина проводника по 3 классу точности  $t=0,25$  мм, полученное число не меньше значения, указанного в таблице 1.

Максимальная ширина сигнальных проводников определяется

$$t_{\max c} = t_{\min c} + (0,02 \dots 0,06) \quad (4)$$

$$t_{\max c} = 0,308 + 0,04 = 0,348 \text{ мм.}$$

При выборе ширины проводников необходимо учитывать технологию производства на данном предприятии, в таком случае следует скорректировать полученное значение,  $t_{\max c} = 0,5$  мм. Выбранное значение больше минимального, следовательно, допускается использовать в разработке данного печатного узла.

2. Минимально допустимую ширину проводников по постоянному току цепей питания и заземления с учетом допустимой токовой нагрузки определяют по формуле

$$t_{\min \text{ п}} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} * h}, \quad (5)$$

где  $I_{\max}=1\text{А}$  – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках;  
 $j_{\text{доп}}=48\text{А/мм}^2$  – допустимая плотность тока, выбранная по справочной таблице;  
 $h$  – толщина печатного проводника, считается исходя из метода изготовления ПП; для комбинированного позитивного конструкция печатного проводника содержит в себе слой медной фольги  $h_{\text{ф}} = 0,035$  мм, химической меди  $h_{\text{пм}} = 0,006$  мм, гальванической меди  $h_{\text{г}} = 0,055$  мм и металлорезиста  $h_{\text{р}} = 0,02$  мм.  
 Следовательно,  $h=0,035+0,006+0,055+ 0,02=0,117$  мм.

$$t_{\min \text{ п}} = \frac{1}{48*0,117} = 0,178 \text{ мм},$$

полученное значение не является окончательным, оно подлежит корректировке следующем пункте.

3. Минимально допустимую ширину проводников питания и заземления, состоящую из нескольких разнородных слоев меди и дополнительного слоя покрытия, то минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого падения напряжения на нем рассчитывается по формуле:

$$t_{\min \text{ пит}} = I_{\max} l \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i}{h_i} / U_{\text{доп}}, \quad (6)$$

где  $\rho_i$  – удельное объемное сопротивление:

$\rho = 1,72 * 10^{-5}$ , Ом\*мм – для медной фольги,

$\rho = 2,8 * 10^{-5}$ , Ом\*мм – для химической меди,

$\rho = 1,9 * 10^{-5}$ , Ом\*мм – для гальванической меди,

$\rho = 12 * 10^{-5}$ , Ом\*мм – для металлорезиста;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя проводника:

$h=0,035$  мм – для медной фольги,

$h=0,006$  мм – для химической меди,

$h=0,055$  мм – для гальванической меди,

$h=0,02$  мм – для металлорезиста;

$k$  – число слоев;

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

$U_{\text{доп}}=0,6$  – запас помехоустойчивости интегральных микросхем (ИМС), определяется по справочникам или  $U_{\text{доп}}=(0,1-0,2)U_{\text{п}}$  ( $U_{\text{п}}$  – напряжение питания ИМС, определяемое из анализа принципиальной электрической схемы).

$$t_{\text{min пит}} = 1 * \frac{50 \left( \frac{1,72 * 10^{-5}}{0,035} + \frac{2,8 * 10^{-5}}{0,006} + \frac{1,9 * 10^{-5}}{0,055} + \frac{12 * 10^{-5}}{0,02} \right)}{0,6} =$$

$$= 0,959 \text{ мм}$$

Наименьшее значение ширины проводников принимают, учитывая класс точности, для 3-го класса точности 0,25, следовательно, полученное значение подходит.

Так как минимальная ширина проводников по постоянному току может равняться минимальной ширине проводников питания и заземления, то окончательным значением принимается  $t_{\text{min п}} = 0,959$  мм. В данной разработке используются значения:  $t_{\text{п1}} = 1$  мм,  $t_{\text{п2}} = 1,6$  мм, что не противоречит рассчитываемому значению. Выбор данных ширин обуславливается технологией производства предприятия.

Максимальная ширина проводников питания определяется

$$t_{\text{max пит}} = t_{\text{min пит}} + (0,02 \dots 0,06), \quad (7)$$

$$t_{\text{max пит}} = 0,959 + 0,06 = 1,019 \text{ мм. [8]}$$

Данную величину необходимо скорректировать согласно технологии производства,  $t_{\text{max пит}} = 2$  мм.

Итак, исходя из проведенных расчетов и принятых величин на предприятии, следует сделать вывод в общей таблице 19.

Таблица 12 – Размеры печатных проводников

Минимальная ширина сигнальных проводников, $t_{\text{min c}}$	0,308 мм
Максимальная ширина сигнальных проводников, $t_{\text{max c}}$	0,5 мм
Минимальная ширина проводников по постоянному току, $t_{\text{min n}}$	0,959 мм

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

110303.2020.270.00 ПЗ

Лист

38



Ширина проводников по постоянному току, $t_{п1}$ и $t_{п2}$	1 мм и 1,6 мм
Минимальная ширина проводников питания и заземления, $t_{min\ num}$	0,959 мм
Максимальная ширина проводников питания и заземления, $t_{max\ num}$	2 мм

#### 4.8 Создание библиотеки.

При создании библиотеки элементов используется программный пакет Altium Designer. Процесс создания компонентов состоит из следующих этапов:

- 1) создание условного графического обозначения (далее УГО) элемента;
- 2) создание посадочного места;
- 3) создание упрощенного вида элемента в формате STEP файла;
- 4) создание связи между посадочным местом и 3D моделью;
- 5) привязка УГО, посадочного места и 3D модели в библиотеки элементов.

УГО элементов взято из схемы электрической принципиальной, являющейся исходными данными.

1. Создание конденсаторов:

Рисунок 16 – УГО конденсатора

Рисунок 17 – Посадочное место для K10-79-0,1мкФ

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

Рисунок 18 – 3D модель К10-79-0,1мкФ

Рисунок 19 – Посадочное место для К10-79-1мкФ

Рисунок 20 – 3D модель К10-79-1мкФ

Рисунок 21 – Посадочное место для ОСК53-65 «А»

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Рисунок 22 – Посадочное место для ОСК53-65 «Е»

Рисунок 23 – 3D модель ОСК53-65

3D модели конденсаторов ОСК53-65 «А» и ОСК53-65 «Е» схожи по внешнему виду, различны только размеры, следовательно, в данном разделе представлен только один рисунок. В библиотеке для каждого компонента создана своя модель.

2. Создание резисторов:

Рисунок 24 – УГО резистора

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

Рисунок 25 – Посадочное место для ОСМ Р-16П-0,062В

Рисунок 26 – Посадочное место для ОСМ Р-16П-0,125В

Рисунок 27 – Посадочное место для ОСМ Р-16П-0,25В

Так как у 3D моделей данных резисторов нет существенных отличий, которые были бы видны на рисунке, допускается указать только один вариант. В библиотеке же созданы три разные, отличающиеся по размерам, модели.

Рисунок 28 – 3D модель резистора

3. Создание микросхем:

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

Рисунок 29 – УГО микросхем 544УД19У3

Рисунок 30 – Посадочное место для 544УД19У3

Рисунок 31 – 3D модель 544УД19У3

Рисунок 32 – УГО микросхемы 1334ЕН5Т

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

Рисунок 33 – Посадочное место для 1334ЕН5Т

Рисунок 34 – 3D модель 1334ЕН5Т

#### 4. Создание одноканального модуля питания

Рисунок 35 – УГО СПНМ27-05

Рисунок 36 – Посадочное место для СПНМ27-05

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

Рисунок 37 – 3D модель СПНМ27-05

4. Создание транзисторов:

Рисунок 38 – УГО транзистора

Рисунок 39 – Посадочное место для 2Т3130Б9

Рисунок 40 – 3D модель 2Т3130Б9

5. Создание вставки плавкой (предохранителя):

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

Рисунок 41 – УГО предохранителя

Рисунок 42 – Посадочное место для ОСВП1-2 1,0А 250В

Рисунок 43 – 3D модель ОСВП1-2 1,0А 250В

6. Создание разъема:

Так как на печатную плату устанавливается только один разъем, а для второго предусмотрены только приемные отверстия, то в библиотеке создается СНП346-2ВП21-2-В.

Рисунок 44 – УГО разъема

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46



Рисунок 45 – Посадочное место для СНП346-2ВП21-2-В

Рисунок 46 – 3D модель СНП346-2ВП21-2-В

#### 4.9 Трассировка печатной платы

Размещение элементов и трассировка печатного узла проводится с помощью программного пакета Altium Designer.

Так как печатная плата двусторонняя, то расположение элементов проводится по двум сторонам А и В, зоны установки каждого компонента указаны в спецификации. Размещение элементов целесообразнее начинать с размещения разъема. Элементы, устанавливаемые в металлизированные отверстия, рациональнее расположить по краям ПП. Компоненты с наибольшими массо- габаритными параметрами необходимо разместить в центре ПП, во избежание поломки узла из-за механической нагрузки. Таким элементом является одноканальный модуль питания  $AG_1$ , следовательно, данный компонент устанавливается в центр ПП на сторону А. Также на стороне А

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

целесообразнее поместить микросхему DA<sub>5</sub>, так как она меньше 544УД19У3. Остальные микросхемы DA<sub>1</sub> – DA<sub>4</sub> размещаются на сторону В. Конденсаторы и резисторы располагаются по обеим сторонам, большая часть на стороне В в соответствии с требованием получение минимума суммарной длины проводников и соблюдая равномерное распределение масс радиоэлементов.

#### Рисунок 47 – Процесс трассировки ПП

При трассировке печатного узла необходимо соблюдать электромагнитную совместимость: по возможности избегать места изгиба проводника под 90° и меньше, не допускать пересечение и наложение проводников, максимально отдалить друг от друга элементы и проводники с учетом габаритов платы.

#### 4.10 Разработка чертежа печатной платы.

Результат трассировки оформляется в чертеж печатной платы с помощью программного пакета AutoCAD Mechanical.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

В чертеже необходимо указать размеры печатной платы, шероховатость поверхности. Диаметры отверстий и контактные площадки, их количество и обозначение, наличие металлизации для удобства восприятия информации следует свести в таблицу над текстовым полем. Размеры контактных площадок элементов, устанавливаемые не в отверстия, приведены в разделе 4.6 Выбор и расчет контактных площадок для элементов поверхностного монтажа.

Так как в разработке используются несколько ширин проводников, необходимо присвоить условные обозначения и пояснить в таблице, находящейся на поле чертежа.

В текстовом поле необходимо указать метод изготовления ПП, класс точности, группу жесткости, используемое покрытие.

Так как при изготовлении печатного узла на производстве используется не только чертеж, но и файлы формата РСВ, следовательно, некоторую информацию можно не выносить, чтобы не загружать чертеж. Оставшиеся необходимые сведения для изготовления печатного узла находятся в файлах формата РСВ. Чертеж печатной платы 110303.2020.270.01.01 представлен в приложении В.

#### 4.11 Разработка сборочного чертежа печатного узла.

При разработке сборочного чертежа печатного узла используется программный пакет AutoCAD Mechanical.

В чертеже необходимо указать размеры самой печатной платы, условные обозначения корпусов элементов, устанавливаемые на ПП, номера позиций компонентов, взятые из спецификации 110303.2020.270.01.03 приложение Д. Следует показать номера выводов элементов, если это требуется, на остальных компонентах первый вывод указан в виде условного обозначения – *o*.

В текстовом поле необходимо поместить информацию о технических требованиях к сборке, способе проведения формовки и установки выводов,

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

маркировки элементов. Также следует указать особенности установки и пайки элементов, отличных от общих способах, используемые в данной разработке.

Помимо выше сказанного, в текстовом поле указаны марка паяльной пасты, компаунда, припоя и лака.

Результат работы представлен в виде сборочного чертежа 110303.2020.270.01.02СБ в приложении Г.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы, были поставлены конкретные задачи по разработке печатного узла согласующего аналогового устройства. Разобрана необходимая, используемая в ходе работы, литература, проведен обзор некоторых аналогов УСА – Т и выявлены их несоответствия по отношению к выдвигаемым требованиям. В конструкторском разделе сделан выбор типа ПП из разобранных вариантов, определен подходящий по свойствам материал диэлектрического основания. Произведен расчет металлизированных отверстий и печатных проводников, также определены значения крепежных отверстий и контактных площадок. Все сделанные выборы в данных разделах в первую очередь основывались на технологии производства предприятия «НПО Автоматики им. академика Н.А. Семихатова».

С помощью программного пакета Altium Designer создана библиотека элементов из предлагаемого в исходных данных перечня компонентов, произведена трассировка печатного узла с учетом всех выдвигаемых требований. С помощью программного пакета AutoCAD Mechanical представлен результат трассировки – чертеж печатной платы.

В итоге выпускной квалификационной работы разработан комплект конструкторской документации на печатный узел, входящий в состав устройства УСА – Т и необходимый для преобразования напряжения питания и для согласования работы сенсора.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торговая платформа [Электронный ресурс]: датчики холла для измерения тока – Режим доступа: <https://russian.alibaba.com/>
2. ГОСТ 23751-86 Платы печатные. Основные параметры конструкции (с Изменением N 1) [Текст]. - М.: Издательство стандартов, 1988. – 15с.
3. Oboronkontrakt: Электроизоляционные материалы [Электронный ресурс]: стеклотекстолит фольгированный СТФ-2-18 – Режим доступа: <https://oboronkontrakt.ru/>.
4. Интернет- журнал про металлы и сплавы [Электронный ресурс]: покрытие олово - свинец О-С (60) – Режим доступа: <https://metalloy.ru/>.
5. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]: лак Ур-231 – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>.
6. АНИОН электроникс [Электронный ресурс]: разъем СПН 346 – Режим доступа: <https://www.anion.ru/>.
7. Компания электроника и связь [Электронный ресурс]: предохранитель ОСВП1-2-1А – Режим доступа: <https://eandc.ru/>.
8. Конструктивно- технологические параметры печатных плат: учебное пособие / Л.П. Кудрин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 11с.
9. Научно- исследовательский институт «ГИРИКОНД» [Электронный ресурс]: конденсатор К10-79 – Режим доступа: <http://www.giricond.ru/>.
10. Компания электроника и связь [Электронный ресурс]: конденсатор ОСК52-65 – Режим доступа: <https://eandc.ru/>.
11. Компания электроника и связь [Электронный ресурс]: микросхема 544УД15У3 – Режим доступа: <https://eandc.ru/>.
12. Компания электроника и связь [Электронный ресурс]: микросхема 1334Е5Т – Режим доступа: <https://eandc.ru/>.
13. Каталог товаров Эркин [Электронный ресурс]: резистор ОСМР 1 16П - Режим доступа: <https://erkon.nt-rt.ru/>.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

14. Флагман резисторостроения России [Электронный ресурс]: резистор ОС P1-12 - Режим доступа: <https://aoresurs.com/>.

15. Компания электроника и связь [Электронный ресурс]: транзистор 2Т3130Б9 – Режим доступа: <https://eandc.ru/>.

16. Группа компаний «Электронинвест» [Электронный ресурс]: одноканальный модуль питания серии СПНМ – Режим доступа: <https://www.elingk.ru/>.

					110303.2020.270.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53