

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.АЛЕКСЕЕВА

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

## Курсовой проект

«Конструирование модуля цифрового устройства.

Регулятор уровня громкости»

по дисциплине

«Конструкторско-технологическое проектирование ЭВМ и комплексов

РУКОВОДИТЕЛЬ:

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Макаров.Н.Н  
(фамилия, и.,о.)

СТУДЕНТ:

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Сухоруков В.А.  
(фамилия, и.,о.)

19-ВМ  
(шифр группы)

Работа защищена «\_\_» \_\_\_\_\_

С оценкой \_\_\_\_\_

## Оглавление

1. Техническое задание на разработку конструкции. ....	4
1.1. Введение.....	4
1.2. Основание для разработки .....	4
1.3. Электрическая принципиальная схема .....	4
1.4. Вариант задания .....	4
1.5. Стадия разработки.....	4
1.6. Сроки выполнения по этапам: .....	5
2. Анализ технического задания. ....	5
2.1. Требования по климатическому исполнению, категории помещения и объекту размещения.....	5
2.2. Анализ условий эксплуатации .....	5
3. Анализ электрической принципиальной схемы. ....	7
3.1. Выявление особенностей электрической схемы, влияющих на конструкцию печатной платы. ....	7
3.2. Выбор электрического соединителя.....	7
3.3. Исключение из схемы отдельных компонентов .....	7
3.4. Расчёт электрических режимов работы схемы. ....	7
3.5. Установка фильтрующих конденсаторов. ....	8
4. Анализ элементной базы.....	8
4.1. Сбор информации об элементной базе. ....	8
4.2. Анализ компонент, усложняющих конструкцию электронного модуля. ....	11
4.3. Анализ типа выводов компонент и способов монтажа на печатную плату. ....	11
4.4. Анализ расстояний между выводами компонент и подготовка информации для выбора шага координатной сетки. ....	11
4.5. Расчет конструктивной сложности электронного модуля. ....	12
5. Разработка печатной платы. ....	12
5.1. Выбор компоновочной структуры и типа печатной платы.....	12
5.2. Выбор класса точности ПП. ....	13
5.3. Расчет габаритов ПП.....	14
5.4. Определение толщины ПП.....	16
5.5. Выбор метода изготовления ПП. ....	17
5.6. Выбор материала основания ПП. ....	17
5.7. Расчет элементов печатного рисунка. ....	18
6. Описание САПР, используемой при проектировании.....	23
7. Разработка библиотеки компонент. ....	23
7.1. Разработка библиотеки посадочных мест средствами Dip Trace. ....	23

7.2. Разработка библиотеки компонент средствами Dip Trace. ....	24
8. Выполнение электрической принципиальной схемы средствами Dip Trace. ....	25
9. Выполнение перечня элементов средствами Dip Trace. ....	25
10. Выполнение чертежа печатной платы средствами Dip Trace. ....	25
11. Выполнение сборочного чертежа электронного модуля средствами Dip Trace. ...	26
12. Выполнение спецификации. ....	26
13. Распечатка конструкторских документов. ....	27
14. Поверочные расчеты. ....	27
14.1. Расчет надежности. ....	27
14.2. Расчет уровня стандартизации и унификации. ....	30
14.3. Тепловой расчет. ....	30
15. Заключение и выводы. ....	32
16. Перечень используемых источников. ....	32

# 1. Техническое задание на разработку конструкции.

## 1.1. Введение

Настоящее техническое задание распространяется на разработку регулятора уровня громкости.

## 1.2. Основание для разработки

Изделие разрабатывается в соответствии с учебным планом специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», утвержденным учебно-методической комиссией кафедры ВСТ.

Разработка производится по теме «Разработка модуля цифрового устройства».

## 1.3. Электрическая принципиальная схема

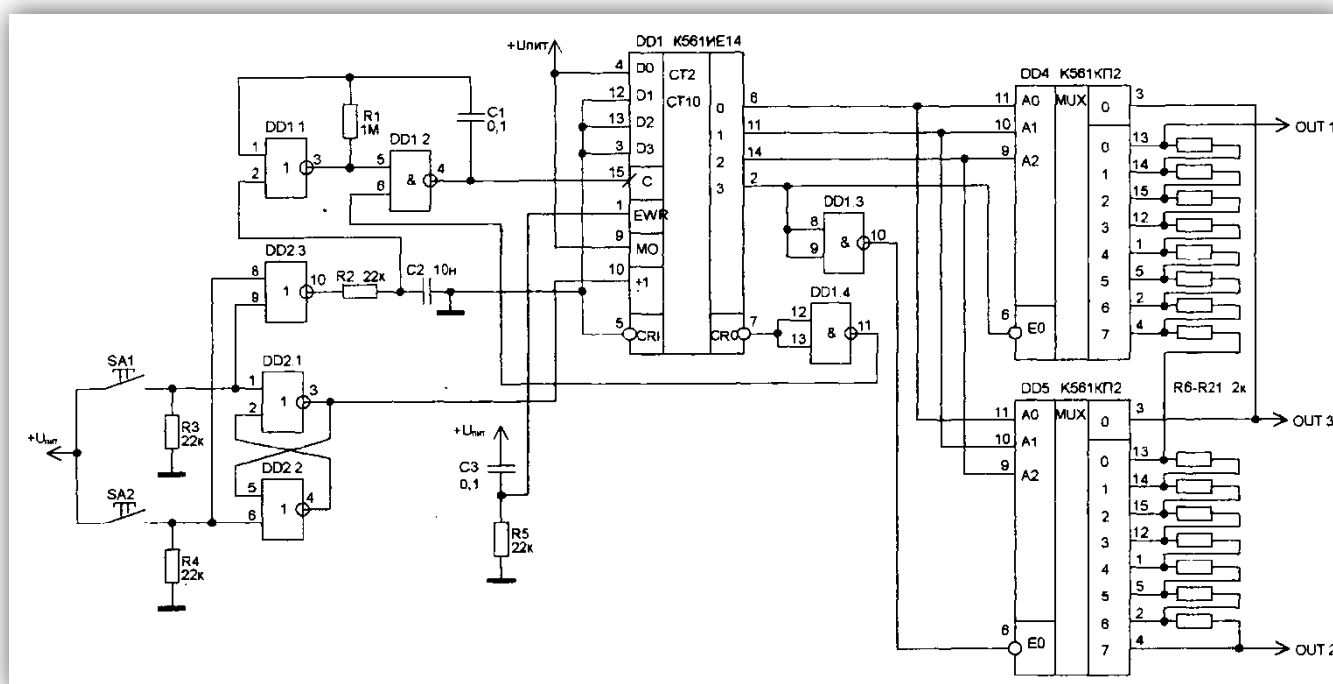


Рис 1.

Для курсового проекта преподавателем был предоставлен список электрических схем на выбор. Была выбрана схема регулятора уровня громкости.

## 1.4. Вариант задания

Номер варианта выбирается по двум последним цифрам зачётной книжки. В соответствии с номером 192706 выберем 6 вариант.

№ Варианта	Объект размещения	Группа по климатическому исполнению	Категория помещения	Тип производства
6	Группа 6	О	1	массовое

Таблица 1.

## 1.5. Стадия разработки.

❖ Технические предложения: 10 неделя

- ❖ Эскизный проект: 11 неделя
- ❖ Технический проект: 12 неделя
- ❖ Разработка конструкторской документации: 14-17 недели

### 1.6. Сроки выполнения по этапам:

- ❖ Разработка технического задания – 10-я неделя семестра;
- ❖ Выполнение электрической схемы и перечня элементов – 11-я неделя семестра;
- ❖ Выполнение чертежа печатной платы, сборочного чертежа и спецификации – 12-я неделя семестра;
- ❖ Выполнение пояснительной записки – 14-я неделя семестра;
- ❖ Защита курсового проекта – 17-я неделя семестра.

## 2. Анализ технического задания.

### 2.1. Требования по климатическому исполнению, категории помещения и объекту размещения.

По климатическому исполнению вся радиоэлектронная аппаратура делится на 10 групп (ГОСТ 15150-69).

Группа О - Общеклиматическое исполнение для суши.

Воздействие климатических факторов на изделие зависит от того, в каких условиях оно эксплуатируется: на открытом воздухе или в помещениях. В зависимости от этого все изделия поделены на 5 категорий.

Категория 1 - Эксплуатация на открытом воздухе

Наземная вычислительная техника в зависимости от объекта размещения (стационарная, на подвижном транспорте, носимая) делится на 7 групп.

Группа 6 - Портативные, работающие или неработающие на ходу.

### 2.2. Анализ условий эксплуатации

В соответствии с заданной климатической зоной и категорией изделия по ГОСТ 15150-69 определим климатические факторы, воздействующие на изделие.

Климатическое исполнение	Категория помещения	Рабочая температура		Предельная температура		Относительная влажность	
		верхняя	нижняя	верхняя	нижняя	среднее значение	верхнее значение
О	1	+45	-60	+55	-60	90% при 27°C	100% при 35°C

Таблица 2.

Воздействие	Исполнение и категория	Параметр
Интенсивность дождя	О	5 мм/мин
Иней, роса	О, категория 1	
Ветер	О, категория 1	Скорость до 50 м\с
Пыль	О, категория 1	
Соляной туман	О, категория 1	
Плесневые грибки	О, категория 1	

Таблица 3.

Механические воздействия определяются объектом размещения.

Воздействующий фактор	Параметры	Группа по объекту размещения №6
Вибрация на одной частоте	Частота, Гц.	20
	Ускорение q	2
	Время выдержки, час.	0,5
Вибрация в диапазоне частот	Частота, Гц.	10-70
	Ускорение q	0,8-3,8
	Время выдержки, час.	12
Одиночные удары	Длительность. Мс.	5-10
	Число ударов в 1 мин	40-80
	Ускорение, q	10
	Общее число ударов	60
Многократные удары	Длительность. Мс.	50-10
	Число ударов в 1 мин	40-80
	Ускорение, q	10
	Общее число ударов	6000
Падение	Высота, мм	750

Таблица 4.

Путем анализа условий эксплуатации устанавливаем группу жесткости для печатной платы по климатическим воздействиям. Согласно ГОСТ 23752-79 для печатных плат устанавливают одну из 4 групп жесткости. Температура модуля внутри корпуса будет выше, чем температура окружающей среды, так как в процессе работы изделия выделяется тепло. Следовательно, при выборе группы жесткости необходимо задаться температурой перегрева внутри корпуса ЭВМ и из этих условий определить температуру, которая будет действовать на печатную плату. Температуру перегрева внутри корпуса для учебных целей возьмем равной 20°C.

Группа жесткости определяется по таблице 5.

Воздействующий фактор	Группа жесткости печатной платы			
	1	2	3	4
Верхнее значение температуры, °C	55	85	100	120
Нижнее значение температуры, °C	-25	-40	-60	-60
Относительная влажность, в %	75	98	98	100

Таблица 5.

Учитывая климатический фактор, выберем 3 группу жесткости печатной платы, для которой характерны следующие позиции:

- Верхнее значение температуры: 85°C
- Нижнее значение температуры: -40°C
- Относительная влажность: 98%

В зависимости от назначения, объекта установки изделия и условий эксплуатации определяем приоритеты при конструировании. Изделие предполагается устанавливать рядом с динамиками, а значит оно должно быть устойчиво к вибрации. Также оно должно быть малогабаритным.

Выберем приоритетные качества: габариты, вибростойкость, надежность.

### **3. Анализ электрической принципиальной схемы.**

#### **3.1. Выявление особенностей электрической схемы, влияющих на конструкцию печатной платы.**

Электронная цифровая схема. Коммутация аналогового сигнала осуществляется полупроводниковыми приборами. Самовозбуждение отсутствует. Теплонагруженными элементами на данной схеме являются пассивные элементы и полупроводниковые приборы.

#### **3.2. Выбор электрического соединителя**

На плате имеются три выходных сигнала, шина питания, и шина земли, для данных сигналов необходимо установить разъём.

Выберем тип соединителя – штыревой.

Выберем число контактов разъема. Для выходных сигналов возьмем 3 разъема «1 пин», для шин питания и земли разъем «2 пин».

#### **3.3. Исключение из схемы отдельных компонентов**

В данной электрической схеме отсутствуют элементы, которые можно вынести на панель.

#### **3.4. Расчёт электрических режимов работы схемы.**

Вычислим ток питания и рассеиваемую мощность.

Электрические параметры схемы, которые необходимы при расчете элементов печатного монтажа:

- Максимально допустимое падение напряжение:  $U_p$  (для цифровых схем до 10% от питания, для прецизионных аналоговых схем, для которых падение напряжения в линиях связи может привести к ошибкам в работе, падение напряжения берется не более 1% от питания). Для данного изделия  $U_{пит} = 5В$ . Так как у нас цифровая схема, возьмем значение  $U_p = 0,1 * U_{пит} = 0,5В$ .
- Максимально допустимый ток в статике и динамике:  $I_{max}$ ,  $I_{max d}$ . Ток во время переключения логических элементов на порядок больше тока в статике. Для его расчета необходимо выявить в схеме максимальное количество одновременно переключаемых цифровых элементов, увеличить их ток потребления по сравнению со статическим режимом в 10 раз. Помехи, которые возникают в цепях питания и управления, как правило, определяются токами в динамическом режиме работы цифровых схем. Для данного изделия  $I_{max} = 3.03 мА$ , следовательно,  $I_{max d} = 10I_{max} = 30.3 мА$ .
- Максимальная тактовая частота:  $F_{max} = 2 МГц$ ,
- Максимальное напряжение в схеме:  $U_d = 5В$ .

### 3.5. Установка фильтрующих конденсаторов.


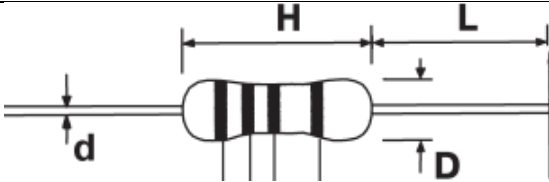

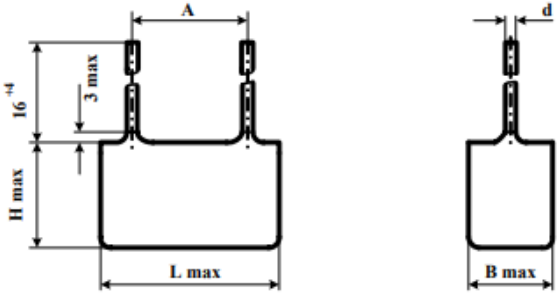
Для исключения помех по шинам питания между шинами «питание» и «земля» необходимо установить конденсаторы. Фильтрующие конденсаторы уже присутствуют в схеме.

## 4. Анализ элементной базы.

### 4.1. Сбор информации об элементной базе.

Разрабатываемое изделие является цифро-аналоговым. Электрическая схема включает в себя:

- 21 резистор
- 3 конденсатора
- Микросхема К561ЛЕ5, представляющая собой четыре логических элемента 2И-НЕ
- Микросхема К561ЛА7, представляющая собой четыре логических элемента 2ИЛИ-НЕ
- Микросхема К561ИЕ14 - счётчик
- 2 Микросхемы мультиплексора К561КП2
- 2 переключателя
- 3 разъёма на 1 пин
- разъём на 2 пина

№	Тип компонента	Символ	Конструкция
1	Резистор CF-100 (C1-4) 1 Вт, 22 кОм, 5%		 $d=0.6; H=11.0; L=35.0; D=4.5$
2	Конденсатор К73-17 0.1 мкФ, 100 В, 5-10%		 $L=12; B=5.5; H=8.5; d=0.6; A=10$



3	<p>Микросхе- ма K561ЛЕ5</p>		
4	<p>Микросхе- ма K561ЛА7</p>		
5	<p>Микросхе- ма K561ИЕ14</p>		

6	Микросхе- ма K561КП2		
7	Переключатель KLS7- TS3601- 5.0-180		
8	Разъем 1 пин		


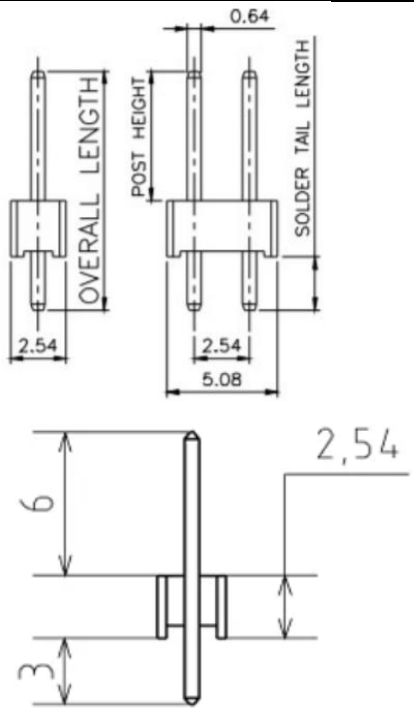
9	Разъем 2пин		
---	----------------	---	--

Таблица 6.

#### 4.2. Анализ компонент, усложняющих конструкцию электронного модуля.

В данной схеме компонентов, усложняющих конструкцию электронного модуля нет.

#### 4.3. Анализ типа выводов компонент и способов монтажа на печатную плату.

№	Тип компонента	Тип выводов	Габариты вывода, мм	Параметры вывода (диаметр/диагональ),мм
1	Резисторы	гибкий	0.6/0.6	d 0.6
2	Конденсаторы	гибкий	0.6/0.6	d 0.6
3	Микросхема K561ЛЕ5 Микросхема K561ЛА7 Микросхема K561ИЕ14 Микросхема K561КП2	штыревой	0.35/0.5	0.6
4	Переключатель	штыревой	1/0.3	1.04
5	Разъемы	штыревой	0.64/0.64	d 0.64

Таблица 7.

Объединим выводы по группам: 0.6; 1.

#### 4.4. Анализ расстояний между выводами компонент и подготовка информации для выбора шага координатной сетки.

№	Тип компонента	Шаг между соседними выводами	Шаг между противоположными выводами	Количество выводов
1	Резисторы Конденсаторы	-	-	2

2	Микросхема К561ЛЕ5 Микросхема К561ЛА7	2.5	7.5	14
3	Микросхема К561ИЕ14 Микросхема К561КП2	2.5	7.5	16
4	Переключатель	6.5	-	2
5	Разъем 2пин	2.54	-	2

Таблица 8.

Выберем шаг координатной сетки 0.5 т.к. все шаги между выводами компонентов кратны этому шагу. Для разъема 2пин возьмем шаг 2.54.

#### 4.5. Расчет конструктивной сложности электронного модуля.

Посчитаем сумму количества выводов элементов. Таким образом, количество выводов получилось 110, следовательно, модуль соответствует средней сложности.

### 5. Разработка печатной платы.

#### 5.1. Выбор компоновочной структуры и типа печатной платы.

##### Теория:

Компоновочная структура ПП определяется элементной базой и способом монтажа компонент при установке на печатную плату.

На печатную плату компоненты могут размещаться на одну или две стороны, а сами компоненты могут монтироваться в отверстия или на поверхностные площадки.

В соответствии со стандартом все компоновочные схемы разбиты на типы и классы.

- Тип 1- компоненты устанавливаются на одну сторону.
- Тип 2 –компоненты устанавливаются на две стороны ПП.
- Класс А – компоненты монтируются в отверстия,
- Класс Б – компоненты монтируются на поверхностные площадки,
- Класс С – смешанный монтаж.

Выбор компоновочной схемы ПП определяется приоритетными требованиями к изделию и элементной базой.

Предполагается монтировать элементы на одну сторону печатной платы, компоненты монтируются в отверстия. Исходя из этого выбирается компоновочная структура 1А.

Типы печатных плат могут быть:

- односторонние ОПП,
- двухсторонние ДПП,
- многослойные МПП.

При выборе типа ПП необходимо учитывать следующие факторы:

- выбранную компоновочную структуру ПП (для компоновочных схем 1А,1Б, 1С целесообразно применять ОПП и ДПП, для компоновочных схем 2А, 2Б, 2С - МПП с высокой плотностью монтажа);
- функциональную сложность цифрового модуля (при малой сложности применяют ОПП и ДПП, при средней сложности ДПП, при высокой сложности ДПП или МПП);

- технико-экономические показатели (стоимость, технологичность, уровень стандартизации, унификации, объем серии и прочее);
- возможность автоматизации и наличие конкретной технологической базы на предприятии - изготовителе.

### **Выбор:**

Выберем тип печатной платы ДПП, так как схема относится к среднему классу сложности и в схеме присутствует большое количество связей. Устройство должно быть компактным, поэтому компоненты будут располагаться близко друг к другу и для возможности размещения связей следует разместить их с двух сторон печатной платы.

Таким образом будет разработана двухсторонняя печатная плата с компоновочной структурой 1А.

## **5.2. Выбор класса точности ПП.**

### **Теория:**

По российским стандартам (ГОСТ 23751....) существует 7 классов точности выполнения элементов печатного монтажа. В таблице приведены первые 5 классов точности (классы 6 и 7 для плат средней сложности применять не целесообразно).

Условные обозначения элементов печатного монтажа	Класс точности				
	1	2	3	4	5
t (мм)	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S (мм)	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b (мм)	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
d\H	0,4	0,4	0,33	0,25	0,20
$\Delta t_{vo}$ (мм) без покрытия	+0,15	+0,10	+0,05	+0,03	+0,03
$\Delta t_{no}$ (мм) без покрытия	-0,15	-0,10	-0,05	-0,03	-0,03
$\Delta t_{vo}$ (мм) с покрытием	+0,25	+0,15	+0,10	+0,05	+0,03
$\Delta t_{no}$ (мм) с покрытием	-0,20	-0,10	-0,10	-0,05	-0,03
$T_i$ (мм)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02

Таблица 9.

t- наименьшая номинальная ширина проводника,

S-наименьшее номинальное расстояние между проводниками,

b-минимально допустимая ширина контактной площадки,

d\H-отношение минимального диаметра контактной площадки к толщине платы,

$\Delta t_{vo}$  (мм) –верхнее предельное отклонение ширины печатного проводника или контактной площадки от номинального значения,

$\Delta t_{no}$  (мм) - нижнее предельное отклонение ширины печатного проводника или контактной площадки от номинального значения,

$T_i$  - позиционный допуск на размещение проводника.

Указанные допустимые значения необходимо соблюдать в узких местах платы. Узкое место ПП - это участок ПП, на котором элементы печатного проводящего рисунка выполняются с минимально допустимыми значениями. На остальных участках ширина печатных проводников и расстояния между ними могут выполняться большего размера, чем указанный размер по данному классу.

Основными критериями при выборе класса точности являются:

- конструктивная сложность (для малой и средней сложности выбирают 1-5 классы точности, для высокой сложности - 3-7 классы точности);
- элементная база (наличие БИС, СБИС, бескорпусных микросхем требует применения 3-7 классов точности),
- шаг выводов компонент (При плотной компоновке класс точности выбирают таким образом, чтобы между контактами микросхемы можно было проложить один проводник. При отсутствии жестких требований по плотности это условие не обязательно);
- быстродействие. (чем выше тактовая частота работы устройства, тем выше требования к длине связей и тем выше класс точности ПП);
- массогабаритные характеристики (для получения более компактных ПП необходимо применять более высокий класс точности);
- стоимость (высокий класс точности требует более дорогостоящего оборудования, что приводит к повышению стоимости изделия);

При выборе класса точности иногда решающее значение имеют уровень технологического обеспечения производства, на котором будет изготавливаться печатная плата, объем производства и область применения готового изделия

### **Выбор:**

Выберем 3-й класс точности, учитывая приведенные факторы. В частности, сложность разрабатываемой платы (средняя сложность).

## **5.3. Расчет габаритов ПП.**

### **Теория:**

Расчет габаритов ПП ведется в несколько этапов. Сначала выявляются конструкторско – технологические зоны на печатной плате для размещения разных элементов, потом определяются размеры этих зон и выполняется их компоновка на плоскости печатной платы. После компоновки выбираются габаритные размеры платы в соответствии с требованиями стандарта. После этого осуществляется размещение компонент на ПП. После размещения компонент при необходимости проводится корректировка габаритных размеров ПП.

На ПП могут быть следующие зоны:

- зона для размещения компонент,
- зона для размещения соединителя,
- зона для размещения элементов контроля функционирования,
- зона для размещения элементов крепления модуля,
- зона для маркировки,
- краевые поля ПП.

**Зона для размещения компонент.**

Площадь зоны рассчитывается по формуле:

$$S_{\Sigma} = k_{s\Sigma} \sum_i^n s_i$$

Где  $S_i$  - установочная площадь  $i$  элемента.

$k_{s\Sigma}$  - коэффициент, зависящий от типа конструкции платы и приоритетных требований к конструкции. Для ДПП – в интервале (1,5 ...2,5).

$n$  - количество компонентов.

При расчете площади, занимаемой компонентом, берется площадь прямоугольника, включающая корпус элемента и монтажные площадки.

Площадь определяется по формуле:

$$s_i = (L + 1)_i \cdot (B_i + 1)$$

Где  $L_i$  и  $B_i$  - стороны прямоугольника (в мм).

При установке габаритных элементов, имеющих форму отличную от прямоугольника, площадь берется равной площади, занимаемой компонентом с учетом зоны по периметру в 0,5 мм.

#### **Расчет:**

Составим расчетную таблицу для элементов:

№	Тип компонента	Li (мм)	Bi (мм)	n	$S_i$ (мм2)
1	Резистор	13,4	4,5	21	60,3
2	Конденсатор	12	5,5	3	84,50
3	Микросхема K561ЛЕ5	19,5	7,5	1	174,25
4	Микросхема K561ЛА7	19,5	7,5	1	174,25
5	Микросхема K561ИЕ14	22,1	7,5	1	196,35
6	Микросхема K561КП2	22,1	7,5	2	196,35
7	Переключатель	7,9	3,5	2	40,05
8	Разъем 1пин	2,54	2,54	3	12,53
9	Разъем 2пин	2,54	5,08	1	21,52

Таблица 10.

Суммарная площадь  $\sum_i^n s_i = 3649.6$  мм2.

$$S_{\Sigma} = 1.5 * 3649.6 = 5474,402 \text{ мм}^2.$$

#### **Зона для размещения соединителя.**

Устройство не имеет соединителей с большим количеством выводом. Соединители для питания и щупа уже учтены в зоне размещения компонент.

### **Зона для элементов управления и контроля функционирования.**

К элементам управления относятся переключатели,

### **Зона для размещения элементов крепления модуля.**

Элементы крепления модуля – это винты, защелки зоны для установки в направляющие, если используется выдвижная конструкция. Размеры зон выбираются по формуле:

$$S = S_{кр} + S_{поля}$$

Где  $S_{кр}$  площадь элемента крепления.

$S_{поля}$  - площадь краевого поля, которая берется по периметру площади, занимаемой элементом крепления. Ширина краевого поля берется равной 5 – 7,5 мм

Модуль будет крепиться в корпусе прижимом за часть краевого поля шириной 2мм. Саму ширину краевого поля возьмем равной 5мм.

### **Зона для маркировки.**

Маркировка будет размещаться непосредственно в зоне размещения компонент и частично на краевом поле.

### **Компоновка конструкторско-технологических зон.**

После расчета всех зон необходимо их скомпоновать на площади платы. Компоновку необходимо начать с зоны для размещения компонент постепенно подсоединяя к ней остальные зоны. При компоновке зон необходимо учитывать конструктивные особенности модуля и его способ закрепления в конструкции 2-го уровня. После компоновки необходимо определить габаритные размеры ПП. Размер ПП следует выбрать с учетом следующих требований ГОСТ:

- соотношение длины к ширине не более 3,
- размер по ширине рекомендуется выбирать из ряда: 20, 30, 40, 45, 50, 60, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 200 мм.

Общая площадь компонентов равна 5474,402 мм<sup>2</sup>. Таким образом компоненты можно вписать в прямоугольник со сторонами 85мм и 65мм, учитывая краевые поля, размеры печатной платы получаются 95мм на 75мм. Площадь печатной платы будет равна 7125 мм<sup>2</sup>.

## **5.4. Определение толщины ПП.**

### **Теория:**

Толщину ПП выбирают в зависимости от конструктивных, технологических особенностей и механических нагрузок: вибраций и ударов при эксплуатации и транспортировке, которые могут вызвать механические перегрузки и привести к деформации и разрушению ПП.

Толщина платы выбирается из условий:

1. Толщину платы рекомендуется выбирать из предпочтительного ряда значений толщины для ОПП и ДПП. Предпочтительными являются значения: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. для стеклотекстолита и 1,0; 1,5; 1,0; 3,0 мм для гетинакса.

2. Отношение минимального диаметра отверстия к толщине должно быть не менее величины установленной стандартом для данного класса. Для 3-го класса точности это отношение должно быть не менее 0,33. Для качественной металлизации отверстий рекомендуется отношение для всех классов брать не менее 0,4.

3. Длина штыревого вывода, выступающего из отверстия платы должна быть не менее 0,5 мм для обеспечения надежной пайки.

4. Если применяется соединитель прямого сочленения, то толщина платы берется согласно указаниям на соединитель.

5. Учет механических нагрузок. При значительных механических нагрузках



(Ударных, вибрациях) толщину платы необходимо брать больше. Толщина платы и её размеры влияют на частоту собственных колебаний, которая не должна быть равна частоте вибрации. В противном случае может быть разрушение печатной платы.

6. Учет конструктивных особенностей модуля и способа его закрепления в конструкции 2-го уровня. Для бескаркасных конструкций толщину платы необходимо взять не менее 1 мм. Для жесткого крепления платы, например, точечное крепление винтами, толщину платы можно брать небольшой, например, 0,8-1 мм.

7. Толщина платы определяется используемым материалом для основания ПП. Для стеклотекстолита берутся меньшие толщины, чем для гетинакса.

### **Выбор:**

Так как не выдвигаются требования к высокой устойчивости к механическим нагрузкам, можем взять толщину платы 1 мм. Минимальный размер отверстия на плате 0,6мм. Отношение минимального диаметра отверстия к толщине для данного класса точности  $d/H=0,6/1=0,6>0,33$ . Условие 2) выполняется, при этом, желательно, чтобы данное отношение для любого класса точности было не менее 0,4 для качественной металлизации. Эта рекомендация также выполняется.

## **5.5. Выбор метода изготовления ПП.**

### **Теория:**

Для изготовления ДПП используют следующие технологические процессы:

- Комбинированный позитивный
- Комбинированный негативный
- Аддитивный
- Фотоформирование
- Электрохимический
- Тентинг процесс

Выбор технологического процесса определяется исходя из следующих факторов:

- Конструктивная сложность модуля. При средней и высокой сложности применяют комбинированные методы изготовления печатных плат
- Класс точности. Для 3-4 классов точности используют комбинированные методы
- Уровень модульности – печатный монтаж используют для модулей 0-го, 1-го и 2-го уровней
- Уровень технологического оснащения на производстве – если известна технологическая база предприятия, где предполагается изготовление данного изделия, то технологический процесс подбирают под заданную технологическую базу
- Тип производства. При мелкосерийном производстве часто рекомендуется использовать более простые технологические процессы, например, химические, а для массового производства используют, как правило, комбинированные методы.

### **Выбор:**

Разрабатываемый модуль средней конструктивной сложности и классом точности печатной платы 3, следовательно, можно использоваться комбинированный метод. Выберем комбинированный позитивный метод.

## **5.6. Выбор материала основания ПП.**

### **Теория:**

Стеклотекстолит чаще других материалов применяется для изготовления основа-

ния жесткой платы. Стеклотекстолит обладает хорошими диэлектрическими свойствами, механической прочностью и химической стойкостью, долговечностью и безопасностью, допускается эксплуатация стеклотекстолита в условиях повышенной влажности.

Стеклотекстолит фольгированный марки СФ (ГОСТ 10316-78) - представляет собой листы, изготовленные на основе стеклотканей, пропитанных связующим на основе эпоксидных смол и облицованные с одной или двух сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 35 мкм. Изготавливается толщиной от 0,5 до 3,0 мм с основным размером листов 920x1030 мм, имеет очень высокие механические и электроизоляционные свойства, хорошо поддается механической обработке резкой, сверлением, штамповкой.

Рекомендуется для изготовления печатных схем, плат и других изделий для работы в условиях нормальной и повышенной относительной влажности окружающей среды при температуре от -60°C до +85°C.

#### **Выбор:**

Таким образом можно сделать вывод что, стеклотекстолит марки СТФ-2-35 подходит по нашим требованиям.

### **5.7. Расчет элементов печатного рисунка.**

**Расчет диаметра отверстия контактной площадки.**

#### **Теория:**

Диаметр рассчитывается с учетом диаметра вывода компонента, точности позиционирования отверстия, и необходимого зазора для обеспечения свободной установки вывода компонента при монтаже.

$$d \geq d_e + r + |\Delta d_{no}|$$

где:  $d_e$  -максимальное значение диаметра вывода компонента. Если сечение вывода имеет сложную форму, то в качестве диаметра принимается диаметр описываемой окружности.

$r$ - зазор (разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода). Зазор выбирается конструктором для ручного монтажа из интервала (0,1-0,3) мм, а для автоматизированного монтажа и установки компонент – из интервала (0,3 – 0,4) мм.

$|\Delta d_{no}|$  - нижнее предельное отклонение диаметра отверстия.

Погрешность  $|\Delta d_{no}|$  возникает при изготовлении ПП и зависит от технологии изготовления ПП. Если отверстие без металлизации, то погрешность возникает при сверлении и имеет равные отклонения в плюс и минус. Если отверстия металлизированы, то допуски смещаются в минус примерно на 0,05 мм. Если согласно технологии, осуществляется оплавление сплавом олово – свинец, то допуск сместится в минус еще примерно на 0,03 мм. В таблице приведены допуски в плюс и в минус для пяти классов точности.

Для расчёта диаметра отверстия использовать значение допуска из таблицы в минус, так как именно уменьшение диаметра опасно (вывод компонента может не стать в отверстие).

Диаметр отверстия	Наличие металлизации и оплавления	Предельные отклонения диаметра отверстия				
		1 класс	2 класс	<b>3 класс</b>	4 класс	5 класс
До 1,0 мм	Без металлизации	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,025

Включительно		-0,10	-0,10	-0,05	-0,05	-0,025
	С металлизацией, без оплавления	+0,05	+0,05	0	0	0
		-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,075
	С металлизацией и оплавлением	+0,05	+0,05	0	0	0
		-0,18	-0,18	-0,13	-0,13	-0,13
Свыше 1,0 мм	Без металлизации	+0,15	+0,15	+0,10	+0,10	+0,10
		-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,10
	С металлизацией, без оплавления	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
		-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15
	С металлизацией и оплавлением	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
		-0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18

Таблица 11.

После расчета значение диаметра округляется в большую сторону до 0,1 мм. Диаметр отверстия выбирается из предпочтительного ряда диаметров отверстий: 0,5; 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; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0.

После выбора конкретного размера диаметра необходимо проверить условие:

$$d \geq H * \gamma$$

где H – толщина ПП,

$\gamma$  -коэффициент, определяемый классом точности.

Если соотношение не выполняется, то диаметр увеличивают.

Отверстия предполагается металлизировать, технология изготовления платы включает также оплавление сплавом олово – свинец.

#### Расчёт:

Элементы были сгруппированы в группы по выводам: 0.6 мм и 1.1 мм.

Проверим условие  $d \geq H * \gamma$

Найдем  $H * \gamma = 1,1 \text{ мм} * 0,33 = 0,363 \text{ мм}$ .

Рассчитаем диаметр отверстия для всех групп выводов  $d \geq d_e + r + |\Delta d_{no}|$

Выберем величину зазора для ручного монтажа 0.2 мм.

$d1 = 0.6 + 0.2 - (-0.13) = 0.93 = 1 \text{ мм}$

$d2 = 1 + 0.2 - (-0.13) = 1.33 = 1.4 \text{ мм}$

Составим таблицу элементов с диаметром вывода и рассчитанным диаметром отверстия:

№	Тип компонента	Диаметр выводов, мм	Диаметр отверстия, мм
1	Резисторы	0.6	1
2	Конденсаторы	0.6	1
3	Микросхема К561ЛЕ5	0.6	1

	Микросхема К561ЛА7 Микросхема К561ИЕ14 Микросхема К561КП2		
4	Переключатель	1.04	1.4
5	Разъемы	0.64	1.4

Таблица 12.

### Расчет размеров контактных площадок.

#### Теория:

Контактные площадки со сквозными отверстиями обычно имеют круглую форму. Если форма отличается от круглой, то расчет ведут для окружности, вписываемой в данную форму. Расчет для контактных площадок со сквозными отверстиями ведется по формуле:

$$D = d + 2b + \Delta t_{vo} + \Delta d_{vo} + \sqrt{(T_D^2 + T_d^2 + \Delta t_{no}^2)}$$

Где d – диаметр отверстия

b – гарантированный поясok (в данном случае 0.1),

$\Delta t_{vo}$  - верхнее отклонение ширины проводника (в данном случае 0.05),

$\Delta d_{vo}$  - верхнее отклонение диаметра отверстия (в данном случае 0),

$T_D$  - позиционный допуск расположения центра контактной площадки (в данном случае 0.15),

$T_d$  - позиционный допуск расположения центра отверстия (в данном случае 0.08),

$\Delta t_{no}$  - нижнее отклонение ширины проводника (в данном случае -0.05).

Расчетное значение округляется в большую сторону до 0,1 мм.

#### Расчёт:

Рассчитаем диаметр контактной площадки для полученных отверстий:

$$D_1 = 1 + 2 * 0.1 + 0.05 + 0 + \sqrt{0.15^2 + 0.08^2 + (-0.05)^2} = 1.43 \approx 1.5 \text{ мм}$$

$$D_2 = 1.4 + 2 * 0.1 + 0.05 + 0 + \sqrt{0.15^2 + 0.08^2 + (-0.05)^2} = 1.83 \approx 1.9 \text{ мм}$$

Составим таблицу компонентов с диаметрами отверстий и контактных площадок:

№	Тип компонента	Диаметр отверстия, мм	Диаметр контактных площадок, мм
1	Резисторы	1	1.5
2	Конденсаторы	1	1.5
3	Микросхема К561ЛЕ5 Микросхема К561ЛА7 Микросхема К561ИЕ14 Микросхема К561КП2	1	1.5
4	Переключатель	1.4	1.9
5	Разъемы	1.4	1.9

Таблица 13.

## Расчет ширины проводника.

### Теория:

При расчете ширины проводника учитывают:

- класс точности,
- допустимый ток нагрузки,
- допустимое падение напряжения.

Ширина проводника выбирается из условия:

$$t_r \geq \max(t, t_I, t_U) + \Delta t_{no}$$

Где  $t_r$  - расчетное значение ширины,

$t$  – минимальная ширина проводника для заданного класса точности (для 3-го класса точности равна 0.25мм),

$t_I$  - ширина проводника, рассчитанная из условия допустимого тока,

$t_U$  - ширина проводника, рассчитанная из условия заданного допустимого падения напряжения,

$\Delta t_{no}$  - нижний допуск на ширину проводника (для 3-го класса точности равна 0.5мм).

### Расчёт:

Расчет ширины проводника исходя из условия допустимого тока.

$$t_I = I_{\max} / i * h$$

$I_{\max}$  - максимальный ток через проводник,

$i$  – плотность тока,

$h$  – толщина проводника.

Так как материалом проводника является медная фольга  $i = 100 \text{ А/мм}^2$ ,  $h = 0.035\text{мм}$ .

$$t_I = \frac{I_{\max}}{i * h} = \frac{0.303}{100 * 0.035} = 0.0806 \text{ мм}$$

Расчет ширины проводника исходя из условия допустимого падения напряжения.

$$t_U = \rho * I_{\max} * l / h * U_p$$

Где  $\rho$  - удельное сопротивления слоя металла,

$l$  - максимальная длина проводника на печатной плате,

$U_p$  - допустимое падение напряжения на проводнике.

Удельное сопротивление для медной фольги равно 0.0000000172 Ом\*м

Максимальная длина проводника принимается равной сумме двух сторон платы.

$$l = 95\text{мм} + 75\text{мм} = 170\text{мм} = 0.17\text{м}$$

$$h = 0.035\text{мм} = 0.000035\text{м}$$

$$U_p = 0.05 \text{ В}$$

$$I_{\max} = 0.0303 \text{ А}$$

$$t_U = \frac{0.0000000172 * 0.0303 * 0.17}{0.000035 * 0.05} = 0.00004467\text{м} = 0.4467\text{мм} \approx 0,45\text{мм}$$

Выберем минимальное значение ширины проводника

$$t_r \geq \max(t, t_I, t_U) + \Delta t_{no} = \max(0.25; 0.0806; 0.45) - 0.05 = 0.45 - 0.05 = 0.4 \text{ мм}$$

Данное значение ширины проводника используют для узких мест. В местах, где возможно ширину проводника взять больше расчетной, рекомендуется её выбирать с запасом.

**Расчет расстояния между элементами печатного рисунка.**

### Теория:

Наименьшее расстояние между элементами печатного рисунка определяется по формуле:

$$S = S_{\min D} + \Delta t_{vo} + T_t / 2$$

Где  $\Delta t_{vo}$  - верхнее предельное отклонение ширины проводника.

$T_t$  - позиционный допуск расположения печатных проводников.

$S_{\min D}$  - минимально допустимое расстояние между элементами печатного рисунка. Это расстояние определяется приложенным напряжением и условиями эксплуатации. Зная допустимое напряжение, которое может быть приложено к печатным проводникам, по таблице можно найти данное расстояние.

Расстояние между проводниками (мм)	Значение допустимого напряжения (В)							
	При нормальных условиях		При повышенной температуре или повышенной влажности		При пониженном атмосферном давлении			
					400 мм\рт.ст.		5 мм\рт.ст.	
	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ
0,1-0,2	-	25	-	15	-	20	-	10
0,2-0,3	30	50	20	30	25	40	20	30
0,3-0,4	100	150	50	100	80	110	30	50
0,4-0,7	150	300	100	200	110	160	58	80
0,7-1,2	300	400	230	300	160	200	80	100
1,2-2,0	400	600	300	360	200	300	100	130
2,0-3,5	500	830	360	430	250	400	110	160

Таблица 14.

### Расчет:

Используя, ранее выбранные материалы и учитывая допустимое напряжение (СТФ-2-35, 5В, общеклиматическое исполнение, работа в условиях повышенной влажности) выберем минимально допустимое расстояние между элементами печатного рисунка равным 0,2мм.

$$S = 0.4 + 0.05 + 0.05 / 2 = 0.475 \approx 0.5 \text{ мм}$$

Полученное значение больше значения из таблицы для класса точности, значит оставляем полученное значение.

## **6. Описание САПР, используемой при проектировании.**

DipTrace — программное обеспечение EDA/CAD для создания принципиальных схем и печатных плат. Разработчики предоставляют многоязычный интерфейс и обучающие программы (в настоящее время доступны на английском и 21 другом языке). DipTrace имеет 4 модуля: редактор схем, редактор компоновки печатных плат со встроенным авто-трассировщиком на основе форм, а также предварительный просмотр и экспорт в 3D, редактор компонентов и редактор посадочных мест.

DipTrace Schematics — инструмент проектирования принципиальных схем, с поддержкой многолистовых и многоуровневых иерархических режимов, с рядом функций для визуальных и логических соединений контактов. Сквозное проектирование гарантирует, что принципиальные схемы могут быть легко преобразованы в печатную плату, снабжены обратными аннотациями или импортированы/экспортированы из/в другое программное обеспечение EDA, форматы CAD и списки цепей. Есть проверка ERC и экспорт в Spice для внешнего моделирования.

DipTrace PCB Layout — инструмент для проектирования плат с интеллектуальной ручной трассировкой, дифференциальными парами, выравниванием по длине, автотрассировщиком, расширенной проверкой DRC, менеджером слоёв и широкими возможностями импорта/экспорта. Требования к дизайну определяются классами цепей, правилами от класса к классу и подробными настройками по типам объектов для каждого класса или слоя. При трассировке с DRC в реальном времени программа сообщает об ошибках «на лету», до их создания. DRC также проверяет допуски для дифференциальных пар и управляет синхронизацией сигналов для цепей и шин, включая задержки сигналов. Плату можно предварительно просмотреть в 3D и экспортировать в формат STEP для дальнейшего моделирования.

Редактор компонентов позволяет использовать имеющиеся (более 140000 компонентов в стандартных библиотеках) или создавать свои компоненты и их библиотеки, с различными параметрами (визуальные и электрические параметры контакта, Spice-модель, 3D-модель). Имеются инструменты импорта BSDL и группового управления выводами. Поддерживается импорт библиотек из разных форматов EDA.

Редактор посадочных мест - позволяет создавать новые или редактировать существующие посадочные места компонентов. Имеет стандартные шаблоны для DIP, QFP, BGA и проч. Позволяет создавать собственные шаблоны, для создания сложных макетов есть возможность импорта из DXF.

Существует бесплатная версия DipTrace со всеми функциями полного пакета, за исключением того, что она ограничена 300 контактами, 2 сигнальными слоями и некоммерческим использованием.

## **7. Разработка библиотеки компонент.**

### **7.1. Разработка библиотеки посадочных мест средствами Dip Trace.**

Библиотека разрабатывается в программе Dip Trace Pattern Editor. Запускаем программу и выполним настройки. Настройки в системе команд «Вид».

Включаем команды: свойства корпуса, стандартная, объекты, рисование, показывать комментарий, размеры корпуса, начало координат, сетка.

Выполним установки:

- Вид - номера контактных площадок - скрыть,
- Вид - номера контактных площадок – шрифт – авто
- Вид - единицы измерения – мм
- Вид-отображение сторон – контраст
- Вид - измерение стандартных – установим набор стандартных значений шагов координатной сетки 0,05; 0,5; 1,0; 1,25; 2,5мм и 0,635; 1,27; 2,54 мм. Это сделано по причине того, что в схеме присутствуют элементы российских и иностранных стандартов.
- Ширина линий рисования по умолчанию: 0,2 мм

Настройку в системе команд «Корпус» настроим в соответствии с пунктами 4 и 5, т.к. в этих пунктах описаны диаметры отверстий и контактных площадок для каждого элемента, присутствующего в схеме. При выполнении каждого элемента, будем руководствоваться информацией из таблиц, и менять значения в соответствии с данными.

## **7.2. Разработка библиотеки компонент средствами Dip Trace.**

Библиотека разрабатывается в программе Dip Trace Component Editor. Запускаем программу и выполним настройки. Запустим программу и выполним настройки.

Выполнить следующие настройки в системе команд «Компонент»:

- Компонент - номера выводов – показать

Выполнить следующие настройки в системе команд «Вид»:

Включить команды:

- Вид - свойства компонента
- Вид – стандартная
- Вид – объекты
- Вид - показывать комментарий
- Вид - начало координат
- Вид - сетка

Выполнить установки:

- Вид - номера выводов – показать
- Вид - номера выводов - шрифт - 8п
- Вид - единицы измерения-мм
- Вид-изменение стандартных - установить набор значений шагов координатной сетки 0,05; 0,5; 1,0; 1,27; 2,0; 2,5; 2,54 и 10 мм. Шаг сетки выбирается в процессе работы оперативно из стандартной панели из заданного ряда.

Изменим настройки в пункте «Объекты»:

- Объекты - параметры установки выводов - тип – none
- Объекты - параметры установки выводов - показывать имя
- Объекты - параметры установки выводов - размер-5 мм
- Объекты - параметры установки выводов - расстояние по x – 4 мм.
- Объекты - параметры установки выводов - расстояние по y – 4 мм.

Ширина линий рисования по умолчанию: 0,25 мм.

После отрисовки всех компонент, к ним необходимо привязать корпуса по соответствию из библиотеки посадочных мест.

Обозначения:

- R- резисторы,
- С- конденсаторы,



- DD- схемы интегральные цифровые,
- SA- переключатель,
- X- соединители (разъёмы)

## 8. Выполнение электрической принципиальной схемы средствами Dip Trace.

Электрическая принципиальная схема выполняется в соответствии с правилами ЕСКД. Размеры и начертания условных графических обозначений (УГО) элементов должны соответствовать стандартам.

Электрическая принципиальная схема выполняется в Dip Trace Schematic. Запустим программу. Подключим ранее созданную библиотеку в программу. Для этого выбрать команду «Библиотека - подключение библиотек».

Укажем следующие настройки для программы:

- Система единиц – мм
- Ширина линий для рисования:
  - Линии связи: 0,2мм
  - Линии шины: 0,6мм
  - Диаметр узлов: 1мм
  - Рамка и штамп: 0,6мм
  - Линии таблицы: 0,2мм
- Тип шрифта: векторный 8pt
- Основной шаг координатной сетки – 1мм
- Вводимые атрибуты:
  - Метка
  - Тип (только для микросхем и транзисторов)
  - Значение (только для резисторов, конденсаторов)

## 9. Выполнение перечня элементов средствами Dip Trace.

Перечень элементов представляется в виде самостоятельного документа, выполненного по ЕСКД. Перечень должен содержать 4 графы:

- Позиционное обозначение элемента. Указываются позиционные обозначения компонент согласно схемы. Компоненты записываются в перечень в алфавитном порядке для позиционных обозначений.
- Наименование элемента с указанием ГОСТ или ТУ, которым соответствует элемент. Указывается тип компонента схемы, номинальное значение, допуск и название документа на его применение (ГОСТ, ТУ и прочее). Номинальное значение и допуск указывают для таких компонент, как резистор, конденсатор, индуктивность.
- Количество. Указывается количество компонент данного типа.
- Примечание.

Допускается одинаковые компоненты указывать одной строкой. Если есть группы однотипных элементов, но разных наименований, то их можно указывать группой, а группу именуют, например, резисторы.

## 10. Выполнение чертежа печатной платы средствами Dip Trace.

Чертеж печатной платы выполняется в масштабе: 1:1, 1:2, 1:4 на нескольких ли-

стах ( В максимальном случае на 6 листах).

Первый лист: На первом листе изображается основная и боковая проекции платы без топологии рисунка. Указываются габаритные размеры, крепежные отверстия и даются общетехнические требования. На первом листе могут быть показаны сечения платы с крепежными и монтажными отверстиями.

Второй и третий листы: На листах 2 и 3 располагают топологические рисунки с контактными площадками сторон А и Б соответственно. На этих листах также может быть представлена таблица для указания ширины проводников. На чертежах должна присутствовать координатная сетка. Оцифровка координат координатной сетки должна присутствовать на всех листах, кроме первого, где указываются только габаритные размеры. На листах 2 и 3 элементы маркировки не указывать.

Четвёртый и пятый листы: На 4,5 листах располагают слои маркировки сторон А и Б соответственно. Если маркировка на слое Б отсутствует, то лист 5 не выполняется.

Шестой лист: На листе 6 размещается чертёж печатной платы с условными обозначениями отверстий и таблица для указания параметров отверстий.

## **11. Выполнение сборочного чертежа электронного модуля средствами Dip Trace.**

Сборочный чертеж и спецификация разрабатываются с помощью программы DIP-TRACE PCB Layout. Выполняется в масштабе: 1:1, 2:1, 2.5:1, 4:1.

На первом листе размещается главный вид модуля и боковая проекция со всеми крепежными деталями. Размещение компонент на этом рисунке не указывается. На 2 и 3 ем листах представляются стороны А и Б с размещением компонент. Для модулей с односторонним размещением компонент допускается компоненты показывать непосредственно на рисунке с главным видом. В этом случае чертеж выполняется на одном листе.

Сборочный чертеж должен давать полное представление о конструкции модуля, поэтому чтобы показать сложные конструктивные участки, например, элементы крепления, фиксации и пр. необходимо показывать разрезы в этих местах. На чертеж наносят габаритные, установочные и присоединительные размеры, предельные отклонения, позиционные обозначения. Компоненты изображаются в упрощенном виде. Всем составным частям присваивают позиционные номера, которые указывают с помощью выносок вне поля платы. Сборочный чертеж должен содержать технические требования по монтажу и сборке.

## **12. Выполнение спецификации.**

Спецификация представляет собой таблицу, содержащую перечень всех составных частей, входящих в данное изделие, и конструкторских документов. Она выполняется на листах формата А4.

Спецификация содержит следующие графы:

- «Формат» -заполняется только для документации, при этом указывается формат, на котором выполнен документ.
- «Зона» -используется для больших и сложных сборочных чертежей, в которых поле чертежа разбивается на зоны. Используется редко.
- «Поз.»-указывается позиция на сборочном чертеже. Позиции обозначают цифрами в порядке возрастания.
- «Обозначение» -указывают десятичный номер документа. Заполняется только для документации.
- «Наименование»-указывается наименование документа, детали . компонента и прочее. Для компонент в этой графе указывают также ГОСТ или ТУ, по которым вы-

полнен компонент.

- «кол.» - указывают количество однотипных элементов.
- «Примечание» - указывают позиционные обозначения для компонент согласно электрической принципиальной схемы.

### 13. Распечатка конструкторских документов.

Состав графической части:

1. Схема электрическая принципиальная.
2. Перечень элементов к схеме электрической принципиальной.
3. Чертеж печатной платы (5 листов).
4. Сборочный чертеж модуля.
5. Спецификация.

### 14. Поверочные расчеты.

#### 14.1. Расчет надежности.

##### Теория:

Исходные данные для расчета:

- принципиальная электрическая схема с указанием типов компонент,
- топология печатной платы
- режимы работы всех компонент
- условия эксплуатации изделия
- значения интенсивностей отказов компонент и элементов печатного монтажа.

Выявить все элементы конструкции, которые влияют на работоспособность. Это:

- электрорадиоэлементы,
- элементы печатного монтажа,
- соединитель.

В графе 1 перечисляются все компоненты и элементы печатного монтажа, влияющие на надежность.

В графе 2 устанавливается значение коэффициента  $k_1$ , учитывающего механические воздействия. Он определяется объектом размещения.

Объект	$k_1$
лаборатория	1
портативные	1,07
Корабль	1,37
Автомобиль	1,46
Ж\Д транспорт	1,54
Гусеничный транспорт	1,6
Самолет	1,65

Таблица 15.

В графе 3 устанавливается значение коэффициента  $k_2$ , который зависит от максимальной температуры и влажности при которых эксплуатируется изделие. Он определяется:

температура	влажность	$k_2$
20-40 градусов С	До 70%	1
Более 40 гр.	До 70%	1,5
До 25 градусов с	70 – 100%	2,0
Свыше 25 градусов	70 – 100%	2,5

Таблица 16.

В графе 4 устанавливается значение коэффициента  $K_3$ , который зависит от высоты над уровнем моря и определяется по таблице:

Высота км.	0-1	1-2	2-3	3-5	5-6	6-8	8-10	10-15	15-20	20-25
$K_3$	1	1,05	1.1	1,14	1,16	1,2	1,25	1,3	1,35	1,38

Таблица 17.

Коэффициент  $k_{ni}$  нагрузки вычисляется только для компонент. Он вычисляется исходя из электрического режима работы  $i$ -го компонента индивидуально по одному или нескольким электрическим параметрам. В общем случае он равен

$$k_{ni} = \frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_{доп}}$$

Где  $\mathcal{E}_p$  –рабочий параметр компонента. Находится путем расчета режима работы схемы.

$\mathcal{E}_{доп}$  –допустимый рабочий параметр компонента. Находится по справочным данным для каждого конкретного компонента.

Для микросхем коэффициент определяется по числу нагрузок. В справочниках обычно указывается максимальное число нагрузок подключаемых к выходу микросхемы. Если число нагрузок менее 30%, то  $k_n = 0,4$ , если число нагрузок от 30% до 70%, то  $k_n = 0,7$ , если число нагрузок более 70% то  $k_n = 1$ . Расчет необходимо провести по всем выходам микросхемы и взять большее значение. Если  $k_n$  для отдельных элементов рассчитать не удастся, то он принимается равным 1.

Коэффициент  $\alpha_i$  зависит от  $k_{ni}$  и от температуры корпуса компонента. В общем случае эта зависимость сложная и нелинейная. Для учебных целей используем линейную зависимость и рассчитываем  $\alpha_i$  по формулам:

$$\alpha_i = 1,0 * k_{ni} \text{ -при температуре корпуса компонента менее 30 градусов Цельсия.}$$

$$\alpha_i = 1,5 * k_{ni} \text{ -при температуре корпуса компонента от 30 до 50 градусов Цельсия.}$$

$$\alpha_i = 2,0 * k_{ni} \text{ -при температуре корпуса компонента более 50 градусов Цельсия.}$$

Для элементов печатного монтажа и элементов, не выделяющих тепло, коэффициент  $\alpha_i$  принять равным 1. Температуру корпусов компонентов для расчетов принять одинаковой для всех компонентов с учетом перегрева субблока по отношению к температуре внешней среды на 20 градусов и перегрева корпуса компонента относительно температуры субблока на 10 градусов.

В графе 7 указывается интенсивность отказов элементов  $\lambda_{0i}$ .

Вид компонента или элемента монтажа	$\lambda_{0i}$ (1\час)
Микросхема	$0,1 * 10^{-7}$

Резистор	$0,5 \cdot 10^{-8}$
Конденсатор	$0,8 \cdot 10^{-8}$
Диод	$0,1 \cdot 10^{-7}$
Транзистор	$0,2 \cdot 10^{-7}$
Мощный транзистор	$0,5 \cdot 10^{-7}$
Пайка	$0,5 \cdot 10^{-9}$
Переходное отверстие	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Контакт разъема	$0,5 \cdot 10^{-8}$
Печатная плата (1 дм на 1 слой)	$1,0 \cdot 10^{-7}$
Проводник (1 м)	$0,2 \cdot 10^{-9}$

Таблица 18.

В графе 8 указываются интенсивности отказов компонент и элементов печатного монтажа с учетом условий эксплуатации и режимов работы.

$\lambda_i$  определяется по формуле:

$$\lambda_i = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \alpha_i \cdot \lambda_{0i}$$

В графе 9 записываются значения произведений  $n_i \lambda_i$ , где  $n_i$  – число элементов указанных одной строкой таблицы.

#### **Расчёт:**

Коэффициенты  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  для всех элементов одинаковы. Учитывая требования к устройству  $k_1 = 1,07$ ;  $k_2 = 2,5$ ,  $k_3 = 1$ .

Заполним таблицу данных для расчета

Компонент	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_{ni}$	$\alpha_i$	$\lambda_{0i}$	$\lambda_i$	$n_i \lambda_i$
Резистор CF-100 (21)	1,07	2,5	1	1	2	$0,5 \cdot 10^{-8}$	$2,675 \cdot 10^{-8}$	$56,175 \cdot 10^{-8}$
Конденсатор К73-17 (3)	1,07	2,5	1	0,1	0,2	$0,8 \cdot 10^{-8}$	$0,428 \cdot 10^{-8}$	$1,284 \cdot 10^{-8}$
Микросхема К561ЛЕ5 (1)	1,07	2,5	1	1	2	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,535 \cdot 10^{-7}$	$5,535 \cdot 10^{-8}$
Микросхема К561ЛА7 (1)	1,07	2,5	1	1	2	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,535 \cdot 10^{-7}$	$5,535 \cdot 10^{-8}$
Микросхема К561ИЕ14 (1)	1,07	2,5	1	1	2	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,535 \cdot 10^{-7}$	$5,535 \cdot 10^{-8}$
Микросхема К561КП2 (2)	1,07	2,5	1	1	2	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,535 \cdot 10^{-7}$	$11,07 \cdot 10^{-8}$
Переключатель KLS7-TS3601 (2)	1,07	2,5	1	1	1	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,2675 \cdot 10^{-7}$	$5,535 \cdot 10^{-8}$
Разъем 1пин (3)	1,07	2,5	1	-	1	$0,5 \cdot 10^{-8}$	$1,3375 \cdot 10^{-8}$	$4,0125 \cdot 10^{-8}$

Разъем 2пин (1)	1,07	2.5	1	-	1	$0,5 * 10^{-8}$	$1,3375 * 10^{-8}$	$1,3375 * 10^{-8}$
Проводники	1,07	2.5	1	-	1	$0,2 * 10^{-9}$	$0,535 * 10^{-9}$	$0,0535 * 10^{-8}$
Печатная плата(0.71 дм2)	1,07	2.5	1	-	1	$0,71 * 10^{-7}$	$1,9 * 10^{-7}$	$19 * 10^{-8}$

Таблица 19.

Интенсивность отказов печатного блока будет определяться по формуле:

$$\lambda = \sum \lambda_{ui} n_i = 115,0725 * 10^{-8} (1/\text{час})$$

Наработка на отказ определяется по формуле:

$$T_0 = 1/\lambda (\text{час}) = 869\,017 (\text{час})$$

Вероятность безотказной работы за время t определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-t/T_0} = 0.999972$$

Вероятность отказа за время t определяется по формуле:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0.999972 = 0.000028$$

Вероятности посчитаны за 24 часа.

## 14.2. Расчет уровня стандартизации и унификации.

### Теория:

Уровень стандартизации и унификации определяется по формуле:

$$Y = 100(\Sigma_c + \Sigma_z + \Sigma_n) / \Sigma_o$$

где:

$Y$  - уровень стандартизации и унификации в процентах

$\Sigma_c$  - число стандартных деталей (Детали, выполненные на предприятии по стандартам, например, болты, гайки, стальные уголки и пр.)

$\Sigma_z$  - число деталей, заимствованных из предыдущих изделий, выпускаемых данным предприятием.

$\Sigma_n$  - число покупных изделий (Число покупных компонент)

$\Sigma_o$  - общее число деталей, которое кроме перечисленных выше включает также уникальные детали, например, печатную плату.

### Расчёт:

Общее число деталей, согласно спецификации, составляет  $\Sigma_o = 35$  шт. Уникальной деталью является только ПП. Остальные детали - покупные. Исходя из этого, уровень стандартизации и унификации составляет:

$$Y = 100 * 34 / 35 = 97.14\%$$

## 14.3. Тепловой расчет.

### Теория:

Из тепловых расчетов в курсовом проекте выполняется только предварительный тепловой расчет, который используется для выбора системы охлаждения. Для проведения предварительного расчета не требуются точные данные о конструкции. В качестве исходных данных используются:

- мощность, рассеиваемая блоком. Вычисляется на этапе анализа электрической схемы.
- габаритные размеры печатной платы с установленными на ней компонентами.

ми,

- максимальную температуру внешней среды с учетом перегрева корпуса прибора.
- минимальную допустимую рабочую температуру компонента.

**Расчёт:**

1)Находим температуру допустимого перегрева субблока. Она определяется:

$$\Delta\Theta = \Theta_{доп} - (\Theta_c + \Delta\Theta_k)$$

где:

$\Theta_{доп}$  -допустимая рабочая температура компонента. Выбирается по самому наихудшему компоненту по критерию устойчивости к повышенной температуре. Наименее устойчивы к повышенной температуре цифровые микросхемы (+70 °С).

$\Theta_c$  - максимальная для заданной климатической зоны температура внешней среды. Для данной климатической зоны +60 °С.

$\Delta\Theta_k$  - температура перегрева корпуса, в который будет установлена плата. Для учебных целей зададимся температурой перегрева корпуса, равной 10 градусам.

$$\Delta\Theta = 70-(60+10)=0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

2)Находим мощность, рассеиваемую субблоком.

$$P = \sum p_i$$

где  $p_i$  – мощность, рассеиваемая i-ым компонентом.

Так как мы знаем максимальную силу тока и напряжение можем применить другую формулу.

$$P=U \cdot I=5 \cdot 0.303=1.515\text{ Вт}$$

3)Находим площадь, через которую будет рассеиваться тепло. Печатную плату с установленными на ней компонентами условно представляем моделью в виде пластины и считаем, что площадь рассеивания равна двум площадям платы.

$$S = 2(H \cdot L)$$

где H и L - габаритные размеры платы.

Считаем, что тепло распределяется по поверхности платы равномерно (Если данное условие не выполняется, то площадь платы в расчете необходимо уменьшить до величины площади, занимаемой теплонагруженными компонентами).

Возьмем для расчета площадь, занимаемую компонентами.

$$S = 2 \cdot (75 \cdot 95) = 14\,250\text{ мм}^2 = 0.01425\text{ м}^2$$

4)Находим удельную мощность рассеивания на единицу площади:

$$P_{уд} = P / S = 1.515 / 0.01425 = 36,14\text{ Вт/м}^2$$

По диаграмме находим точку, характеризующую тепловой режим работы субблока и определяем зону, в которую она попала.

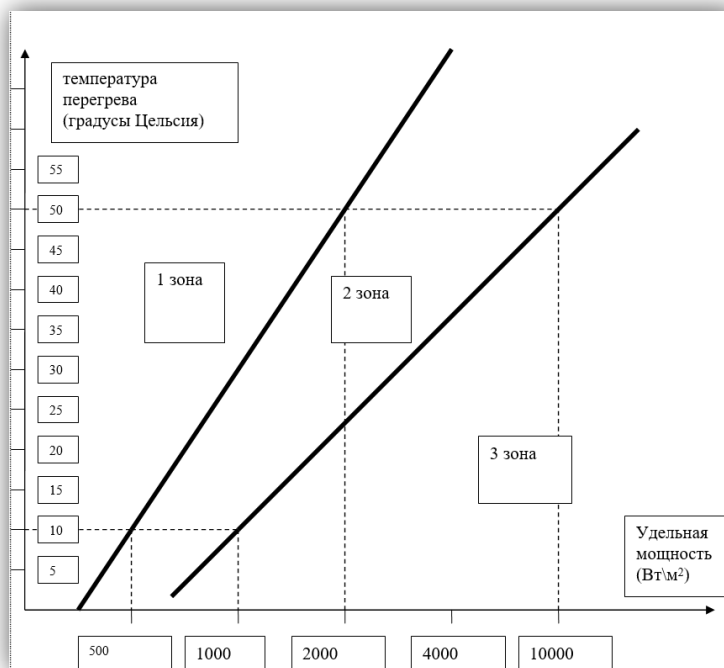


Рис 2.

Точка попала в зону 1, следовательно, достаточно естественного воздушного охлаждения.

## 15. Заключение и выводы.

В ходе выполнения курсового проекта, первоначально было разработано техническое задание в соответствии с предоставленной схемой. Далее был произведен анализ технического задания для выявления наиболее важных параметров необходимых при разработке устройства. Следующим этапом был сбор информации об элементной базе и расчеты параметров для них необходимые для создания библиотеки компонент. Была разработана библиотека посадочных мест и библиотека компонент в соответствии с полученными значениями. Далее была разработана принципиальная схема и модель печатной платы. Для платы была создана техническая документация: чертеж печатной платы, сборочный чертеж, спецификация, перечень элементов и принципиальная электрическая схема.

Разработанная печатная плата соответствует критериям, указанным в техническом задании.

Была разработана интегрированная библиотека компонент для системы автоматизированного проектирования DIP-TRACE. Также были освоены входящие в данный пакет программы: PCB Layout, Schematic, Component Editor, Pattern Editor.

## 16. Перечень используемых источников.

1. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Конструкторско-технологическое проектирование ЭВМ и комплексов» Конструирование модуля цифрового устройства. Макаров Н.Н.
2. Конструкторское проектирование электронных модулей: учеб. пособие / Н.Н. Макаров, Е.Н. Викулова, П.С. Кулясов; Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016. – 61 с.