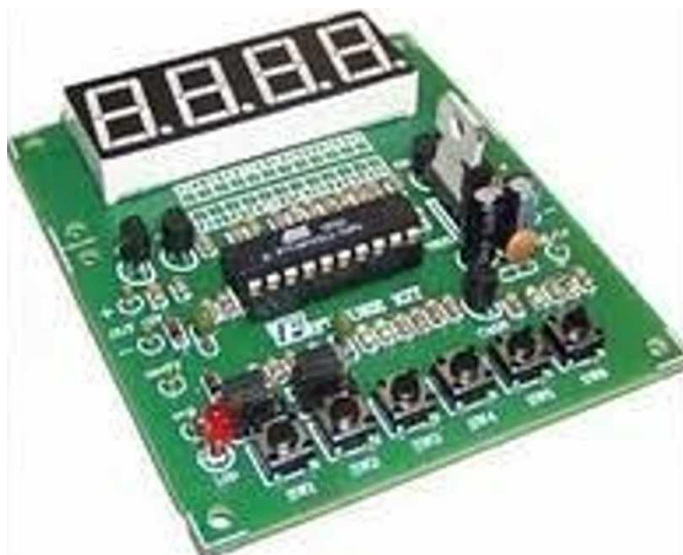




Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры

Формирование элементной базы проекта печатного узла РЭС



Томск 2018

Кобрин Юрий Павлович

Формирование элементной базы проекта печатного узла РЭС. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Автоматизированное проектирование РЭС» для студентов специальности «11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств». - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), кафедра КИПР, 2018. – 25 с.

Чтобы сокращение срока обучения на один год (по сравнению со специалитетом) в меньшей мере сказывалось на уровне и качестве подготовке выпускника профиля «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», способного компетентно решать весь комплекс проблем разработки систем, схем, конструкций и технологий в сфере электронного приборостроения, необходимы учебные пособия, в сжатом виде, но в то же время достаточно полно отражающие эти проблемы.

Рассматриваются важнейшие практические приёмы начальной подготовки проекта печатных узлов РЭС.

Методические указания предназначены для помощи в подготовке бакалавров и магистрантов в области разработки и моделирования РЭС различного назначения, выполнения курсовых и дипломных проектов и может быть использовано студентами других специальностей радиотехнического профиля, осваивающих систему Altium Designer.

©Кафедра КИПР федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)», 2018.

© Кобрин Ю.П. 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1 Цели работы.....	3
2 Порядок выполнения работы	3
3 Контрольные вопросы	3
4 Содержание отчёта	4
5 Элементная база проекта.....	5
5.1 Важнейшие правила выполнения электрических схем и условные обозначения их элементов.....	5
5.2 Анализ схемы электрической принципиальной и выбор элементной базы.....	9
5.3 Анализ схмотехнических требований и ограничений	9
5.4 Пример анализа и выбора элементной базы	15
5.4.1 Описание схемы сквозного примера.....	15
5.4.2 Формирование технического задания (ТЗ)	16
5.4.3 Поиск элементной базы	16
5.4.4 Анализ схемы цифрового терморегулятора и выбор элементной базы.....	17
6 Список литературы.....	23

1 Цели работы

- 1) Научиться проводить анализ исходной схемы электрической принципиальной разрабатываемого РЭС.
- 2) Научиться формировать элементную базу проекта печатного узла РЭС для САПР *Altium Designer*.

2 Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с требованиями стандартов ЕСКД по выполнению условных графических обозначений (УГО) важнейших электрорадиоэлементов (резисторов, конденсаторов, диодов и транзисторов разных типов, микросхем и соединителей).

2) Найти УГО всех элементов схемы электрической принципиальной индивидуального задания:

3) Ознакомиться с методикой и примером анализа элементной базы проекта (раздел «5 Элементная база проекта» настоящих методических указаний). В качестве дополнительной литературы использовать [1,2].

4) Провести анализ схемы электрической принципиальной индивидуального задания.

5) Найти в справочниках или Интернете вид и конструктивные размеры всех используемых в индивидуальном задании электронных компонентов и проверить их на соответствие техническому заданию, подготовленному на предыдущем занятии [3]. Результаты поиска свести в таблицы.

6) Составить перечень элементов выданной Вам схемы электрической принципиальной.

7) Ответить на контрольные вопросы.

8) Оформить и защитить отчёт о выполненной работе.

3 Контрольные вопросы

1) Дайте определение элемента схемы, корпуса элемента, условного графического изображения (УГО).

2) Что такое позиционное обозначение элемента?

3) Где может располагаться позиционное обозначение относительно УГО?

4) Где можно познакомиться со стандартами ЕСКД?

5) Что такое секция, однородный и неоднородный компоненты?

6) Как отображаются разнесённым способом компоненты на принципиальной схеме?

7) С какой целью проводится анализ исходной схемы электрической принципиальной разрабатываемого РЭС?

8) Какие задачи решаются в ходе анализа схемотехнических требований и ограничений?

4 Содержание отчёта

Для получения зачёта по работе студент должен:

- 1) Знать назначение основных УГО, в соответствии со стандартами ЕСКД.
- 2) Представить результаты выполнения лабораторной работы в отчёте, содержащем:
 - a) Цели работы.
 - b) Схему электрическую принципиальную проектируемого РЭС (рисунок из индивидуального задания).
 - c) Краткие сведения об элементах принципиальной схемы:
 - общее количество элементов;
 - общее количество различных элементов;
 - количество аналоговых элементов;
 - количество цифровых элементов;
 - количество многосекционных элементов;
 - количество двухполюсных, трёхполюсных, четырёхполюсник и многополюсных элементов;
 - количество гетерогенных элементов (с разнородными секциями).
- 3) Отчёт о сформированной элементной базе индивидуального проекта для САПР *Altium Designer*.
- 4) Выводы.

5 Элементная база проекта

5.1 Важнейшие правила выполнения электрических схем и условные обозначения их элементов

Элементы схем¹ электрических принципиальных (бумажных или электронных) изображают в виде условных графических обозначений (УГО) в соответствии с отечественными стандартами ЕСКД. К сожалению, не существует принятого во всём мире стандарта для изображения УГО элементов схем. В международной практике распространены стандарты IEC и DIN (Европа), ANSI и IEEE (Северная Америка), которые значительно отличаются от ЕСКД. В большинстве САПР электронного проектирования установлены библиотеки элементов, выполненные в европейских и американских стандартах, которые не соответствуют стандартам ЕСКД. Тем, кому кроме стандартов ЕСКД приходится сталкиваться и с зарубежными электрическими схемами, нужно учиться пользоваться и международными стандартами [1].

Ссылки на стандарты ЕСКД в Интернет, устанавливающие графическое представление, рекомендуемые размеры и обозначения условных графических обозначений электронных компонентов и правила их использования даёт Таблица 5.1. Заметим, что перед использованием любого стандарта следует выяснить – действует ли он в настоящее время (например, на сайте Госстандарта России <http://www.gost.ru> или на сайте с удобным интерфейсом «Интернет и Право» <http://www.internet-law.ru>).

Таблица 5.1 - Ссылки на стандарты, определяющие УГО элементов электрических схем и правила их использования

№	Ссылка на ГОСТ	Название
1.	ГОСТ 2.701-2008	ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
2.	ГОСТ 2.702-2011	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем
3.	ГОСТ 2.705-70	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками
4.	ГОСТ 2.708-81	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники
5.	ГОСТ 2.709-89	ЕСКД. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах
6.	ГОСТ 2.710-81	ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах
7.	ГОСТ 2.721-74	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения

¹ **Элемент схемы** – это составная часть схемы, которая выполняет определённую функцию в РЭС и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение и собственные условные обозначения.

№	Ссылка на ГОСТ	Название
8.	ГОСТ 2.723-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители
9.	ГОСТ 2.727-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители
10.	ГОСТ 2.728-74	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы
11.	ГОСТ 2.729-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные
12.	ГОСТ 2.730-73	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые
13.	ГОСТ 2.731-81	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электровакуумные
14.	ГОСТ 2.732-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники света
15.	ГОСТ 2.733-68	ЕСКД. Обозначения условные графические детекторов ионизирующих излучений в схемах
16.	ГОСТ 2.734-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Линии сверхвысокой частоты и их элементы
17.	ГОСТ 2.735-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Антенны и радиостанции
18.	ГОСТ 2.736-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные; линии задержки
19.	ГОСТ 2.737-68	Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Устройства связи
20.	ГОСТ 2.739-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты, коммутаторы и станции коммутационные телефонные
21.	ГОСТ 2.740-89	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты и трансляции телеграфные
22.	ГОСТ 2.741-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы акустические
23.	ГОСТ 2.743-91	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники
24.	ГОСТ 2.745-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Электронагреватели, устройства и установки электротермические
25.	ГОСТ 2.746-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Генераторы и усилители квантовые
26.	ГОСТ 2.747-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений

№	Ссылка на ГОСТ	Название
27.	ГОСТ 2.750-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Род тока и напряжения; виды соединения обмоток; формы импульсов
28.	ГОСТ 2.751-73	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Электрические связи, провода, кабели и шины
29.	ГОСТ 2.757-81	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы коммутационного поля коммутационных систем
30.	ГОСТ 2.758-81	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Сигнальная техника
31.	ГОСТ 2.759-82	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники
32.	ГОСТ 2.761-84	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи
33.	ГОСТ 2.762-85	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Частоты и диапазоны частот для систем передачи с частотным распределением каналов
34.	ГОСТ 2.763-85	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства с импульсно-кодовой модуляцией
35.	ГОСТ 2.764-86	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации
36.	ГОСТ 2.765-87	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Запоминающие устройства
37.	ГОСТ 2.766-88	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Системы передачи информации с временным разделением каналов
38.	ГОСТ 2.767-89	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Реле защиты
39.	ГОСТ 2.768-90	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники электрохимические, электротермические и тепловые

В соответствии с ГОСТ 2.702-2011 на принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.д.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в *отключённом состоянии*.

Каждый элемент и (или) устройство, имеющее самостоятельную принципиальную схему и рассматриваемое как элемент, входящие в изделие и изображённые на схеме, должны иметь *позиционное обозначение* в соответствии с ГОСТ 2.710-81.

Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, например, *R1, R2, R3* и т.д., *C1, C2, C3* и т.д.

Порядковые номера следует присваивать в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме *сверху вниз в направлении слева направо*.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с УГО элементов и (или) устройств *с правой стороны или над ними*. Допускается позиционное обозначение проставлять *внутри прямоугольника УГО*.

Элементы и устройства изображают разнесённым или совмещённым способом (Рис. 5.1). При совмещённом способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При разнесённом способе составные части элементов и устройств изображают на схеме в разных местах так, чтобы отдельные цепи изделия были изображены более наглядно.

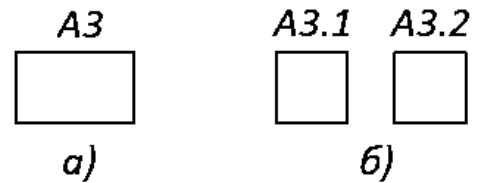


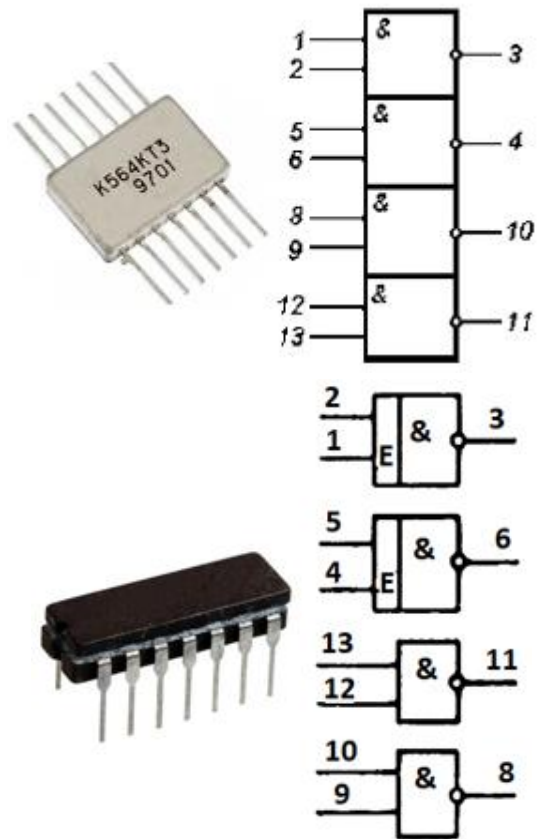
Рис. 5.1 - Изображение устройства:
а) - совмещённым способом;
б) - разнесённым способом

Однородные многосекционные элементы схем состоят из функционально однотипных секций. Например, цифровая ИС 564ЛА7 состоит из четырёх одинаковых логических элементов 2И–НЕ, размещаемых в едином корпусе.

Неоднородные (гетерогенные) многосекционные элементы схем содержат в одном корпусе секции, выполняющие различные функции. Например, в неоднородную микросхему К511ПУ2 входят два логических элемента 2И–НЕ и два логических элемента НЕ с расширением по И.

Разнородные секции имеются и у некоторых других элементов схем. Например, у электромагнитных реле есть секция катушка и одна или несколько секций контактов.

Заметьте, что у обеих микросхем корпуса содержат по 14 выводов, однако информация о выводах 7 и 14 отсутствует. На самом деле к выводу 7 подсоединяется *общий провод питания (минус)*, а к выводу 14 – *общий плюс питания*, и фактически питание подаётся всем секциям микросхемы. При разнесённом способе размещения секций на электрической схеме цепи, подводящие к ним питание показывать не нужно, но имена выводов и имена соответствующих цепей питания должны быть одинаковы.



5.2 Анализ схемы электрической принципиальной и выбор элементной базы

Перед тем, как приступить к формированию библиотек электронных компонентов в Altium Designer, следует сформировать элементную базу проекта.

Элементная база проекта РЭС – это совокупность ЭРЭ, соединяемых в ходе электрического монтажа данного РЭС. В неё могут входить резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, цифровые и аналоговые микросхемы, трансформаторы, реле, переключатели, тумблеры, кнопки, индикаторы, предохранители, электронные лампы и др.

Назначение и режимы функционирования электрорадиоэлементов электрических схем оказывают определяющее влияние на конструкцию РЭС.

Состав элементной базы проекта можно определить в ходе анализа исходной схемы электрической принципиальной разрабатываемого РЭС [2].

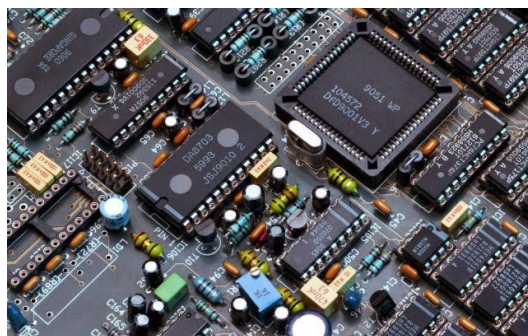
Основная цель такого анализа - установить, как повлияет выбранная элементная база на конструкцию проектируемого изделия. Кроме того, следует выяснить – устойчива ли элементная база предполагаемым внешним воздействиям реальных условий эксплуатации проектируемого изделия, зафиксированным в техническом задании. В случае несоответствия необходимо либо подобрать компонент с нужными характеристиками (например, с более высокой точностью номинала, оптимальными рабочими токами и напряжениями, меньшей выделяемой мощностью и т.п.), либо предложить методы конструктивного обеспечения его нормального функционирования.

5.3 Анализ схемотехнических требований и ограничений

Важнейшей задачей анализа электрических схем является выбор технологии монтажа электронных компонентов на печатную плату — в отверстия или на поверхность. Именно этот выбор во многом определяет способы решения конструкторских и технологических задач, стоящих перед проектировщиком.

При **выводном монтаже** выводы ЭРЭ устанавливаются в сквозные отверстия печатной платы и припаиваются к контактным площадкам и/или металлизированной внутренней поверхности отверстия (ТНТ-технология) [3].

При **поверхностном (планарном) монтаже** компоненты припаиваются к контактным площадкам, сформированным проводящим рисунком монтажа печатных плат (SMD-технология) [4,5,6]. Этот способ монтажа лучше приспособлен к автоматизации установки и пайки. Его следует применять при повышенных требованиях к минимизации.



При выводном монтаже отверстия для выводов ЭРЭ занимают на плате много места, и расстояние между соседними выводами микросхемы должны быть значительно больше, чем при использовании технологии поверхностного монтажа, когда выводы ЭРЭ припаиваются к поверхности платы.

Хотя монтаж в отверстия пока ещё является актуальным для многих предприятий России, постепенно эта технология уступает перед технологией монтажа с использованием планарных компонентов. Тем не менее остаются силовая электроника, источники питания, высоковольтные модули и другие категории электронных средств, где выводной монтаж пока ещё является базовым. Существуют ЭРЭ, не имеющие подходящих аналогов в планарном исполнении – разъёмы, телефонные гнёзда, трансформаторы и др., для которых сборка может быть осуществлена только с использованием технологии выводного монтажа. Особенно часто технология монтажа в отверстия применяется в условиях единичного и мелкосерийного многономенклатурного производства, где из-за частой смены выпускаемых моделей автоматизация процессов неактуальна

Анализ электрических схем и карт электрических режимов работы ЭРЭ, выполненных с помощью схемотехнических САПР [7], в том числе и с помощью подсистемы схемотехнического моделирования, встроенной в Altium Designer позволяет найти решение следующих задач.

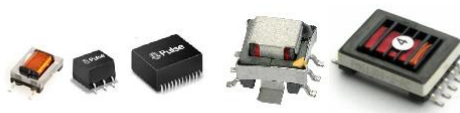
1. Выделить функциональные узлы и устройства, которым в последующем можно придать конструктивную обособленность и реализовать в виде отдельных печатных узлов.

2. Выявить компоненты, определяющие особенности конструкции РЭС:

Массивные и крупногабаритные ЭРЭ (силовые трансформаторы, дроссели и т.п.) в зависимости от условий эксплуатации могут потребовать дополнительные крепления или фиксацию, чтобы надёжность РЭС от влияния механических воздействий существенно не снизилась.

Если масса ЭРЭ или его габариты слишком велики, размещать его на печатной плате нецелесообразно. Обязательно позаботьтесь о способе подключения таких ЭРЭ к плате.

В любом случае обязателен анализ последствий вибраций и ударов. Целесообразно выполнить такое моделирование в САПР типа SolidWorks [8,9], ANSYS и при необходимости предусмотреть дополнительные крепления, которые следует учесть при разработке посадочного места.



Трансформаторы для поверхностного монтажа



Трансформаторы с выводами для печатного монтажа



Трансформаторы не пригодные для печатного монтажа

Мощные тепловыделяющие элементы (транзисторы, диоды, тиристоры, симисторы, резисторы, радиолампы и т.п.) при малой рассеиваемой тепловой мощности могут эксплуатироваться и без радиатора-теплоотвода. Но если выделяемая мощность превышает значения, допустимые ТУ, то для снижения теплового сопротивления *элемент – окружающая среда* [10,11,12,13] необходимы радиаторы). В этом случае посадочное место для САПР печатных плат должно разрабатываться с учётом радиатора.

Теплочувствительные ЭРЭ (например, элементы делителя напряжения, обеспечивающего положение рабочей точки каскада транзисторного усилителя) следует размещать подальше от ЭРЭ, являющихся источниками значительного тепловыделения.

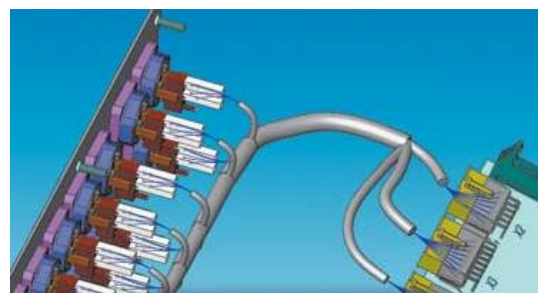
ЭРЭ, допускающие многократное изменение их параметров и относящиеся к органам управления и контроля над работой РЭС - переменные резисторы и конденсаторы переменной ёмкости часто на печатной плате не размещают, а выносят на лицевую или заднюю панель корпуса РЭС, выбрав способ их соединения с ПП.

Подобным образом выносят элементы включения-выключения питания, входные и выходные гнезда, элементы индикации, регистрирующие приборы и другие элементы, которые нецелесообразно размещать на печатной плате.

Заметим, что есть два **способа соединения рассмотренных выше компонентов с печатной платой**: либо с помощью разъёмов, либо без них (например, с помощью жгута или присоединительных проводов, припаиваемых к монтажным стойкам или клеммам печатной платы).



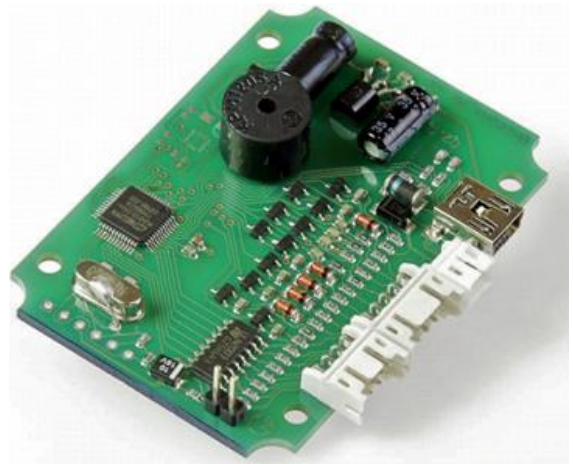
Радиаторы-теплоотводы для ЭРЭ с большим тепловыделением



Пайка соединительных проводов или жгутов к контактным площадкам печатной платы дешева, но не допускает многократной перепайки из-за возможного отслоения при этом печатного проводника от платы. Она трудно поддаётся автоматизации и применяется при малом числе соединений.



Использование разъёмов повышает ремонтопригодность РЭС, обеспечивая быструю замену и соединение функциональных узлов, блоков и других изделий. Тем не менее они занимают больше места на плате, их стоимость выше. У контактов разъёмов не очень высокая надёжность. Они могут окислиться под действием влаги. Велика вероятность, что при неаккуратном использовании разъём может выйти из строя, поэтому желательно предусмотреть для него дополнительные крепления.



Для подсоединения к плате электрических проводников с разными свойствами и разного диаметра без пайки очень удобны специальные разъёмы – **соединительные клеммники** (винтовые или пружинные).



Из-за неизбежного технологического разброса номиналов использованных компонентов, для точной настройки заданных характеристик РЭС после монтажа при настройке используют пассивные **подстроечные** компоненты (резисторы, конденсаторы и индуктивности). Из-за старения компонентов характеристики РЭС в процессе эксплуатации также могут выйти за допустимые пределы, и их можно восстановить с помощью подстроечных элементов.



Подстроечные резисторы

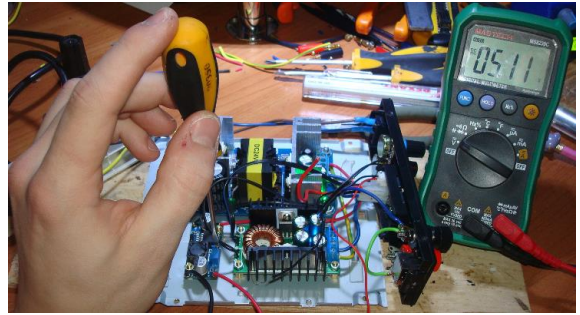


Подстроечные конденсаторы



Подстроечные индуктивности

Обычно подстроечные компоненты устанавливают на печатных платах внутри корпуса так, чтобы они были недоступны пользователю. Значения их параметров изменяют относительно редко – при наладке устройства. Для этого употребляют отвёртки, ключи и т.п.



3. Проанализировать функциональное назначение различных электрических цепей. Выявить группы цепей, к выполнению которых предъявляются особые требования и сформулировать требования к их проектированию.

Разделение электрических цепей на родственные группы особенно важно для обеспечения электромагнитной совместимости высокочастотных РЭС, а также аппаратуры с силовыми цепями.

Разумно выделить группы цепей со следующими характеристиками:

Цепи с переменными, пульсирующими или импульсными токами. В особенности существенно это для цепей с электролитическими² конденсаторами, так как при их работе в цепях как с пульсирующим, так и с постоянным напряжением на их обкладках должно поддерживаться соответствующее полярности выводов не изменяющее знака допустимое напряжение.

Такие цепи могут создать проблемы с электромагнитной совместимостью³.



² **Электролитические конденсаторы (конденсаторы с оксидными диэлектриками)** недорогие, характеризуются огромным отношением ёмкости к объёму и не очень высокой надёжностью. Имеют низкую температурную стабильность и значительные отклонения параметров от номинала при её изменении. Чаще всего их используют на частотах ≤ 30 кГц в фильтрах источников питания, для разделения постоянной и переменной составляющей между каскадами усиления в звуковоспроизводящей и звукоусилительной технике и т.д.

Включение конденсатора на обратное к рабочей полярности напряжение, превышении допустимых параметров и/или перегреве, приводит к увеличению тока утечки между обкладками, резкому ухудшению качества, и при достаточной мощности цепи конденсатор даже может взорваться. К недостаткам следует также отнести невысокую надёжность, значительные токи утечки, возможное высыхание электролита и связанное с этим уменьшение начальной ёмкости.

³ **Электромагнитная совместимость (ЭМС)** — способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим РЭС.

Цепи силовые потенциальные (питания и земли) - от источников питания - и цепи нагрузки. Обычно такие цепи характеризуются прохождением значительных токов и поперечное сечение проводника (его ширина на ПП) уточняется расчётом.

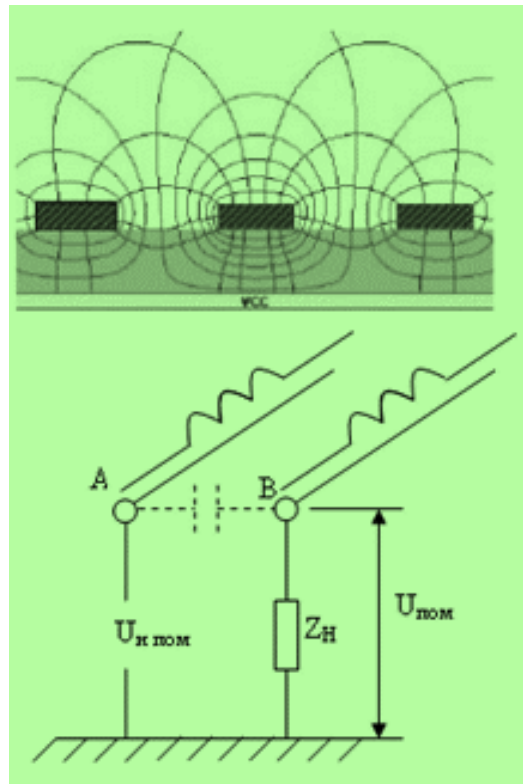
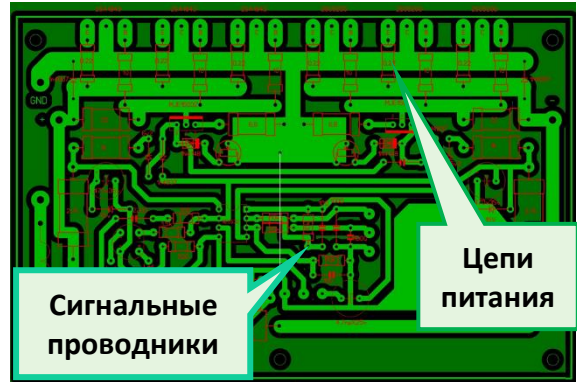
Слаботочные сигнальные и управляющие цепи с аналоговыми и импульсными сигналами – ширина проводников может быть минимальной и определяется классом точности изготовления печатной платы.

Проектирование **высокочастотных цепей** требует учёта **электромагнитной совместимости**. В принципе помехи могут приходить от источника помех к приёмнику через электрические, магнитные и электромагнитное поля. Определённые проводники могут играть роль как приёмной, так и передающей антенны. Для высокочастотных цепей важны малые паразитные параметры (ёмкости и индуктивности проводников, выводов и т.п.) и малая задержка сигналов, что достигается уменьшением длины подобных цепей и выбором элементной базы. Безвыводные электронные SMD-компоненты характеризуются минимальными паразитными параметрами

Для обеспечения электромагнитной совместимости устройств необходимо ослабить связи между источниками помех и приёмниками помех до допустимых значений, что достигается их пространственным разнесением.

По результатам выполненного анализа формируется схема электрическая принципиальная печатного узла, состоящей только из тех ЭРЭ, которые следует разместить на печатной плате функционального узла.

В соответствии с ГОСТ 2.702-2011 на принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав печатного узла и изображённые на схеме. Данные об элементах должны быть записаны в *перечень элементов*, оформляемый в виде таблицы по ГОСТ 2.701. При этом связь перечня с условными графическими обозначениями элементов должна осуществляться через позиционные обозначения. Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа.



5.4 Пример анализа и выбора элементной базы

5.4.1 Описание схемы сквозного примера

В качестве примера, который будет рассматривать далее во всех последующих лабораторных работах, возьмём схему цифрового терморегулятора на основе 8-битового микроконтроллера PIC16F84A [14], которая может применяться в качестве термостата для систем отопления, котлов, теплиц, холодильного оборудования и т.п. (Рис. 5.2)

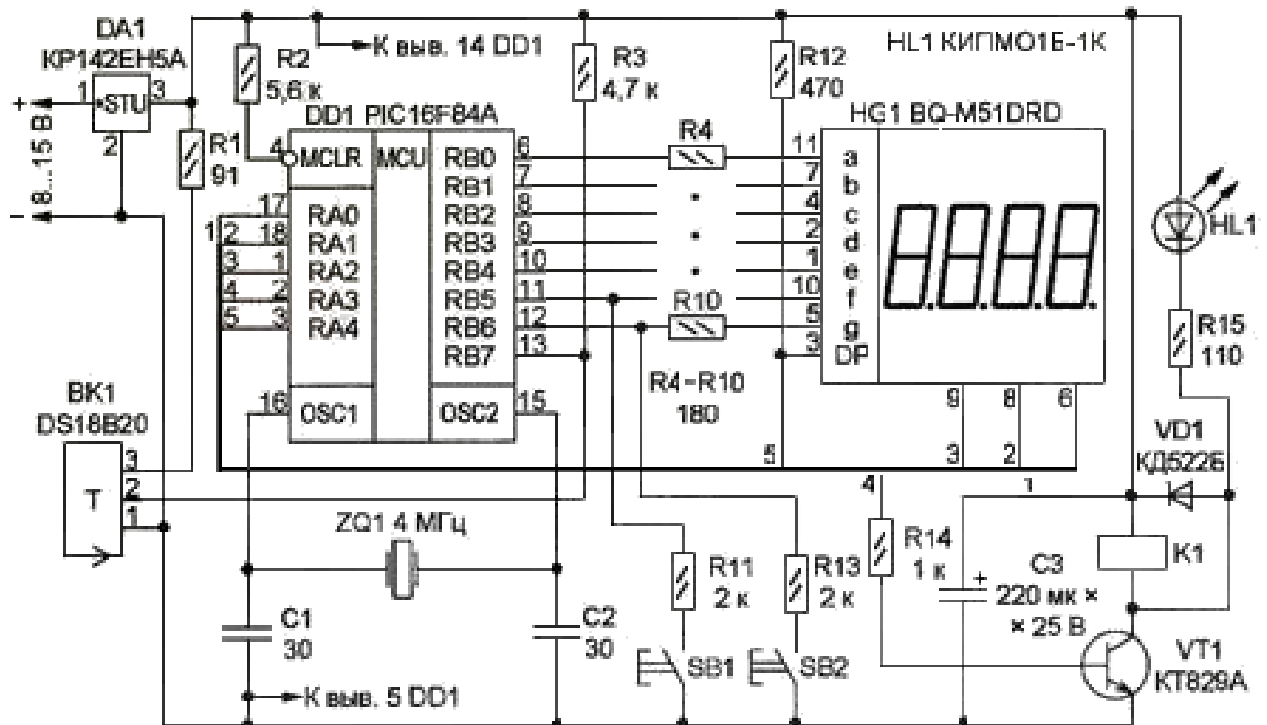


Рис. 5.2 – Схема цифрового терморегулятора на микроконтроллере PIC16F84A

Для измерения температуры использован интегральный цифровой датчик (BK1) DS18B20 фирмы MAXIM. Рабочий диапазон температур $-55 \dots +125 \text{ }^\circ\text{C}$.

Обмен управляющими командами и данными между датчиком BK1 и микроконтроллером DD1, работающим на частоте 4 МГц, осуществляется по однопроводной двунаправленной шине передачи данных 1-Wire. С периодом 1 с. микроконтроллер посылает датчику BK1 команду на запуск процесса измерения температуры с точностью $0,0625 \text{ }^\circ\text{C}$ и получает от него результат предыдущего замера. Принятый от датчика 12-битный код, соответствующий измеренной температуре, преобразуется в десятичную форму, округляется до десятых долей градуса и выводится на светодиодный индикатор HG1.

Нагрузкой управляет малогабаритное реле K1. Транзистор VT1 открыт и к обмотке реле приложено напряжение, когда измеренное значение температуры меньше заданного. Если термостат управляет электронагревателем, в цепь питания последнего следует

включить нормально разомкнутые контакты реле. При необходимости поддерживать отрицательную температуру в морозильной камере в цепь питания компрессора холодильного агрегата включают нормально замкнутые контакты реле.

Светодиодный индикатор HG1 показывает текущее значение измеряемой температуры. Задание температуры осуществляется микропереключателями SB1- SB2. Значение последней установки сохраняется в энергонезависимой памяти микроконтроллера. Гистерезис - 2°C. В рабочем режиме прибор.

Для поддержания стабильного напряжения питания микроконтроллера и датчика температуры в устройство введены интегральный стабилизатор напряжения DA1 (KR142EH5A) и оксидный конденсатор большой ёмкости С3.

5.4.2 Формирование технического задания (ТЗ)

В соответствии с ГОСТ **2.103-2013. Стадии разработки** [15] составление технического задания является первой стадией разработки нового или модернизации старого РЭС⁴, а само ТЗ – главным документом для принятия решений на всех последующих этапах проектирования. Именно оно максимально полно и грамотно определяет основные направления разработки конструкции и принципа работы будущего РЭС. Без ТЗ проектирование РЭС никогда не осуществляется, так как не определены его цели, условия эксплуатации, технические характеристики, экономические требования, комплектность документации, порядок её контроля, приёмки и т.д.

Требования к содержанию и оформлению технического задания регламентированы ГОСТ 15.016-2016 [16]. Вопросы разработки технического задания и технических предложений на автоматизированное проектирование РЭС подробно рассмотрены в [17].

5.4.3 Поиск элементной базы

Подробно алгоритм анализа электронных компонентов проекта РЭС и выбора заменяющих аналогов, а также вопросы формирования библиотеки электронных компонентов САПР приведён в [2,18]

Электрические, конструктивные и другие параметры, а также условия эксплуатации ЭРЭ приводятся в многочисленных справочниках [19,20,21,22,23,24,25,26,6,27].

Справочные данные, технические условия⁵ на ЭРЭ (а на импортные ЭРЭ - *datasheet*⁶) несложно найти в Интернете с помощью широко известных поисковых систем:

1) <https://www.yandex.ru/> - осуществляет поиск информации в интернете с учётом русской морфологии и возможностью регионального уточнения;

⁴ **РЭС (РадиоЭлектронные Средства)** - Технические средства, предназначенные для передачи и (или) приёма радиоволн, состоящие из одного или нескольких передающих и (или) приёмных устройств либо комбинации таких устройств и включающие в себя вспомогательное оборудование.

⁵ **Технические условия (ТУ)** — документ, устанавливающий технические требования, которым должны удовлетворять конкретное изделие, материал, вещество и пр.

⁶ **Datasheet** (англ.) - официальный документ от зарубежного производителя (например, электронных компонентов), в котором приводятся описание, параметры, технические характеристики изделия, типовые схемы и т.д.

2) <https://www.google.ru/> - первая по популярности, крупнейшая мультязычная поисковая система Интернета, принадлежащая корпорации *Google Inc.*, занимающая более 60 % мирового рынка.

3) Обновляемые справочники по отечественным электронным компонентам с техническими условиями содержатся, например, на сайтах интернет-магазинов радиодеталей: <http://www.platan.ru> [28], <http://www.chipdip.ru/> [29], <http://www.promelec.ru> [30] и других.

Обстоятельный список отечественных и зарубежных аналогов радиоэлементов, а также обзор ресурсов сети Интернет по электронным компонентам приведён в [31].

5.4.4 Анализ схемы цифрового терморегулятора и выбор элементной базы

Учитывая значительные габариты многих используемых в схеме на Рис. 5.2 компонентов и то, что у большинства из них нет SMD-аналогов, целесообразно использовать технологию сквозных отверстий. Заметим, что схема устройства – это ещё не схема печатного узла. Из схемы печатного узла некоторые элементы могут быть вынесены, например, на панель управления, а соединители с ними добавлены.

Для подключения питания в схему целесообразно ввести разъём типа *клеммник*, с помощью которого без пайки, с помощью отвёртки, можно быстро подсоединить провода различного типа.

Размещать датчик температуры внутри корпуса терморегулятора нельзя, так как из-за нагрева элементов его схемы увеличится погрешность измерений. Для подключения внешнего датчика температуры удобно использовать аудио гнездо (стерео) $\varnothing 3.5$ мм, тем более что несложное преобразование схемы позволит отключать питание терморегулятора, если датчик температуры не вставлен в гнездо.

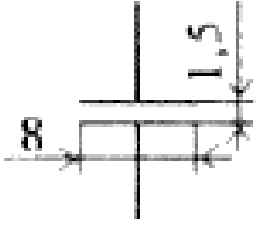
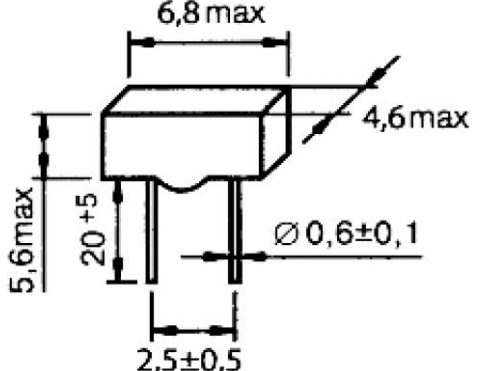

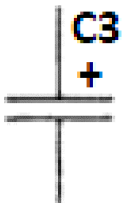
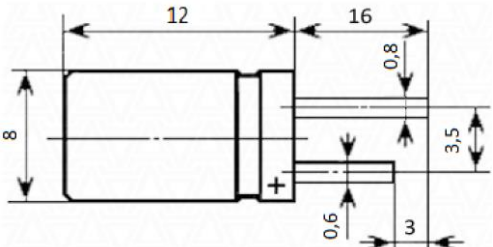

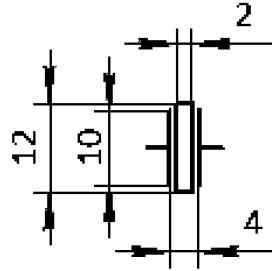
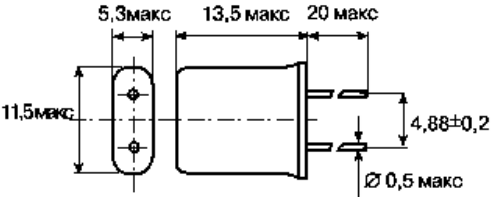

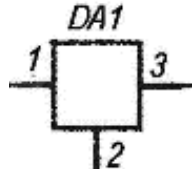
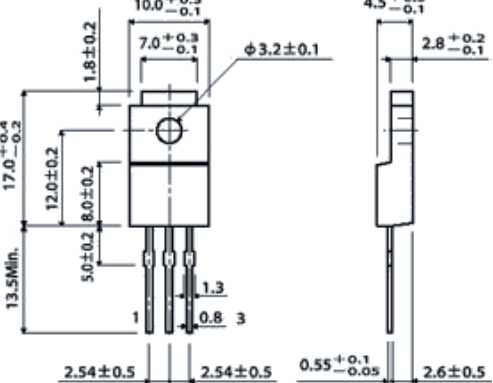
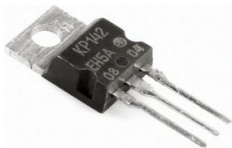
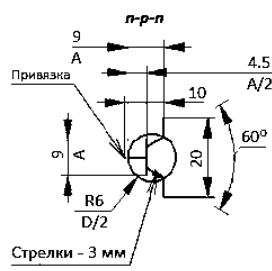
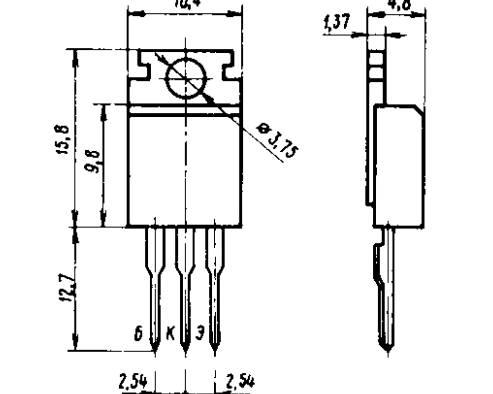
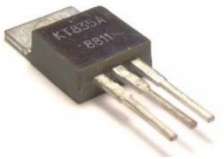
Реле К1 типа SRD-05VDC с управляющим напряжением 5 Вольт способно подключать нагрузку до 10 А, 250 В и может использоваться для коммутации напряжения в сети переменного тока 220 В.

Таблица 5.2 представляет результаты поиска основных конструкторских параметров элементной базы для цифрового терморегулятора на микроконтроллере PIC16F84A.

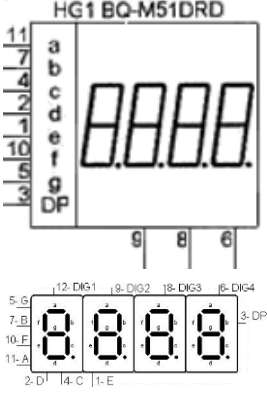
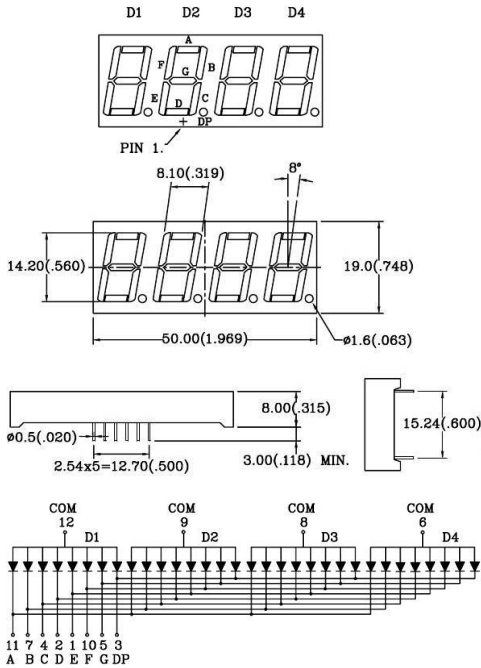

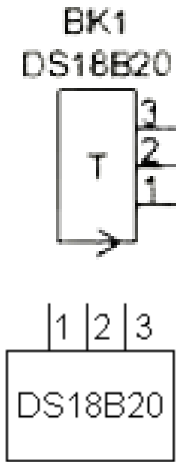
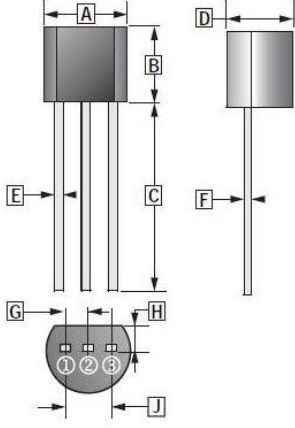

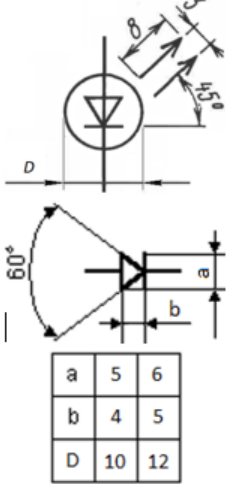
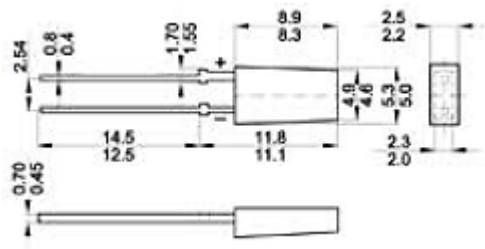

Таблица 5.2 - Выбор элементной базы для цифрового терморегулятора

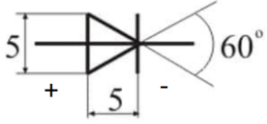
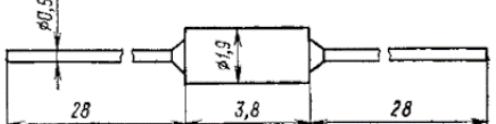
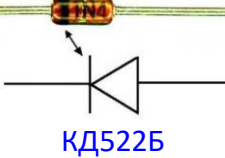
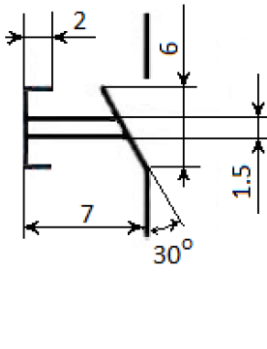
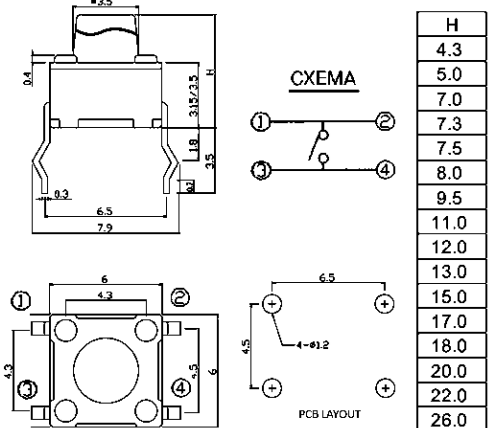
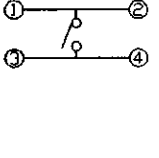
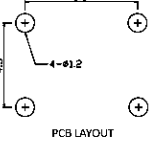

Поз. обозн.	Корпус	УГО по ГОСТ 2.730-73	Размеры корпуса	Вид и марка						
XS1		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Цепь</th> <th>Конт.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+8 .. 15 В</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Общий</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Цепь	Конт.	+8 .. 15 В	1	Общий	2		<p>306-021-12</p>
Цепь	Конт.									
+8 .. 15 В	1									
Общий	2									

<p>XS2</p>			<p>P.C.B LAYOUT (BOTTOM VIEW)</p>	<p>ST-027N-06 STEREO</p>																																								
<p>BK1</p>	<p>TO-92</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">REF.</th> <th colspan="2">Millimeter</th> <th rowspan="2">REF.</th> <th colspan="2">Millimeter</th> </tr> <tr> <th>Min.</th> <th>Max.</th> <th>Min.</th> <th>Max.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>4.40</td> <td>4.70</td> <td>F</td> <td>0.30</td> <td>0.51</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>4.30</td> <td>4.70</td> <td>G</td> <td colspan="2">1.27 TYP.</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>12.70</td> <td>-</td> <td>H</td> <td>1.10</td> <td>1.40</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>3.30</td> <td>3.81</td> <td>J</td> <td>2.42</td> <td>2.66</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0.36</td> <td>0.56</td> <td>K</td> <td>0.36</td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>	REF.	Millimeter		REF.	Millimeter		Min.	Max.	Min.	Max.	A	4.40	4.70	F	0.30	0.51	B	4.30	4.70	G	1.27 TYP.		C	12.70	-	H	1.10	1.40	D	3.30	3.81	J	2.42	2.66	E	0.36	0.56	K	0.36	0.76	<p>DS18B20</p>
REF.	Millimeter		REF.		Millimeter																																							
	Min.	Max.		Min.	Max.																																							
A	4.40	4.70	F	0.30	0.51																																							
B	4.30	4.70	G	1.27 TYP.																																								
C	12.70	-	H	1.10	1.40																																							
D	3.30	3.81	J	2.42	2.66																																							
E	0.36	0.56	K	0.36	0.76																																							
<p>K1</p>				<p>реле</p> <p>SRD-05VDC</p>																																								
<p>R1 – R13</p>				<p>C2-33H</p>																																								

<p>C1, C2</p>				 <p>K10-17A</p>						
<p>C3</p>				 <p>K50-35</p>						
<p>ZQ1</p>				 <p>HC-49U (4.0 МГц)</p>						
<p>DA1</p>	<p>KT-28-2</p>			 <p>KP1142EH5A</p>						
<p>VT1</p>	<p>TO-220</p>	 <table border="1" data-bbox="566 1892 678 1960"> <tr> <td>D</td> <td>12</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>9</td> <td>11</td> </tr> </table>	D	12	14	A	9	11		 <p>KT829A</p>
D	12	14								
A	9	11								

<p>DD1</p>	<p>PDIP</p>	<p>DD1 PIC16F84A</p> <p>PDIP, SOIC</p>	<p>NOTE 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Dimension Limits</th> <th colspan="2">Units</th> </tr> <tr> <th>MIN</th> <th>INCHES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number of Pins</td> <td>N</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Pitch</td> <td>e</td> <td>100 BSC</td> </tr> <tr> <td>Top to Seating Plane</td> <td>A</td> <td>-.210</td> </tr> <tr> <td>Molded Package Thickness</td> <td>A2</td> <td>.115 .130 .185</td> </tr> <tr> <td>Base to Seating Plane</td> <td>A1</td> <td>.015</td> </tr> <tr> <td>Shoulder to Shoulder Width</td> <td>E</td> <td>.360 .310 .305</td> </tr> <tr> <td>Molded Package Width</td> <td>E1</td> <td>.240 .260 .280</td> </tr> <tr> <td>Overall Length</td> <td>D</td> <td>.880 .900 .920</td> </tr> <tr> <td>Tip to Seating Plane</td> <td>L</td> <td>.115 .130 .150</td> </tr> <tr> <td>Lead Thickness</td> <td>c</td> <td>.008 .010 .014</td> </tr> <tr> <td>Upper Lead Width</td> <td>b1</td> <td>.045 .060 .070</td> </tr> <tr> <td>Lower Lead Width</td> <td>b</td> <td>.014 .018 .022</td> </tr> <tr> <td>Overall Row Spacing ϕ</td> <td>aB</td> <td>-.430</td> </tr> </tbody> </table>	Dimension Limits	Units		MIN	INCHES	Number of Pins	N	18	Pitch	e	100 BSC	Top to Seating Plane	A	-.210	Molded Package Thickness	A2	.115 .130 .185	Base to Seating Plane	A1	.015	Shoulder to Shoulder Width	E	.360 .310 .305	Molded Package Width	E1	.240 .260 .280	Overall Length	D	.880 .900 .920	Tip to Seating Plane	L	.115 .130 .150	Lead Thickness	c	.008 .010 .014	Upper Lead Width	b1	.045 .060 .070	Lower Lead Width	b	.014 .018 .022	Overall Row Spacing ϕ	aB	-.430	<p>PIC16F84A</p>
Dimension Limits	Units																																															
	MIN	INCHES																																														
Number of Pins	N	18																																														
Pitch	e	100 BSC																																														
Top to Seating Plane	A	-.210																																														
Molded Package Thickness	A2	.115 .130 .185																																														
Base to Seating Plane	A1	.015																																														
Shoulder to Shoulder Width	E	.360 .310 .305																																														
Molded Package Width	E1	.240 .260 .280																																														
Overall Length	D	.880 .900 .920																																														
Tip to Seating Plane	L	.115 .130 .150																																														
Lead Thickness	c	.008 .010 .014																																														
Upper Lead Width	b1	.045 .060 .070																																														
Lower Lead Width	b	.014 .018 .022																																														
Overall Row Spacing ϕ	aB	-.430																																														
<p>SOIC</p>	<p>PDIP, SOIC</p>	<p>SILK SCREEN</p> <p>RECOMMENDED LAND PATTERN</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Dimension Limits</th> <th colspan="2">Units</th> </tr> <tr> <th>MIN</th> <th>MILLIMETERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Contact Pitch</td> <td>E</td> <td>1.27 BSC</td> </tr> <tr> <td>Contact Pad Spacing</td> <td>C</td> <td>9.40</td> </tr> <tr> <td>Contact Pad Width</td> <td>X</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td>Contact Pad Length</td> <td>Y</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>Distance Between Pads</td> <td>Gx</td> <td>0.67</td> </tr> <tr> <td>Distance Between Pads</td> <td>G</td> <td>7.40</td> </tr> </tbody> </table>	Dimension Limits	Units		MIN	MILLIMETERS	Contact Pitch	E	1.27 BSC	Contact Pad Spacing	C	9.40	Contact Pad Width	X	0.60	Contact Pad Length	Y	2.00	Distance Between Pads	Gx	0.67	Distance Between Pads	G	7.40	<p>PIC16F84A</p>																						
Dimension Limits	Units																																															
	MIN	MILLIMETERS																																														
Contact Pitch	E	1.27 BSC																																														
Contact Pad Spacing	C	9.40																																														
Contact Pad Width	X	0.60																																														
Contact Pad Length	Y	2.00																																														
Distance Between Pads	Gx	0.67																																														
Distance Between Pads	G	7.40																																														
<p>SSOP</p>	<p>SSOP</p>	<p>NOTE 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Dimension Limits</th> <th colspan="2">Units</th> </tr> <tr> <th>MIN</th> <th>MILLIMETERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number of Pins</td> <td>N</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Pitch</td> <td>e</td> <td>0.65 BSC</td> </tr> <tr> <td>Overall Height</td> <td>A</td> <td>-.200</td> </tr> <tr> <td>Molded Package Thickness</td> <td>A2</td> <td>1.65 1.75 1.85</td> </tr> <tr> <td>Standoff</td> <td>A1</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>Overall Width</td> <td>E</td> <td>7.40 8.20</td> </tr> <tr> <td>Molded Package Width</td> <td>E1</td> <td>5.00 5.30 5.60</td> </tr> <tr> <td>Overall Length</td> <td>D</td> <td>6.90 7.20 7.50</td> </tr> <tr> <td>Foot Length</td> <td>L</td> <td>0.75 0.85</td> </tr> <tr> <td>Foot Length</td> <td>L1</td> <td>1.26 REF</td> </tr> <tr> <td>Lead Thickness</td> <td>c</td> <td>0.09</td> </tr> <tr> <td>Foot Angle</td> <td>ϕ</td> <td>0° 4° 8°</td> </tr> <tr> <td>Lead Width</td> <td>b</td> <td>0.22</td> </tr> </tbody> </table>	Dimension Limits	Units		MIN	MILLIMETERS	Number of Pins	N	20	Pitch	e	0.65 BSC	Overall Height	A	-.200	Molded Package Thickness	A2	1.65 1.75 1.85	Standoff	A1	0.05	Overall Width	E	7.40 8.20	Molded Package Width	E1	5.00 5.30 5.60	Overall Length	D	6.90 7.20 7.50	Foot Length	L	0.75 0.85	Foot Length	L1	1.26 REF	Lead Thickness	c	0.09	Foot Angle	ϕ	0° 4° 8°	Lead Width	b	0.22	<p>PIC16F84A</p>	
Dimension Limits	Units																																															
	MIN	MILLIMETERS																																														
Number of Pins	N	20																																														
Pitch	e	0.65 BSC																																														
Overall Height	A	-.200																																														
Molded Package Thickness	A2	1.65 1.75 1.85																																														
Standoff	A1	0.05																																														
Overall Width	E	7.40 8.20																																														
Molded Package Width	E1	5.00 5.30 5.60																																														
Overall Length	D	6.90 7.20 7.50																																														
Foot Length	L	0.75 0.85																																														
Foot Length	L1	1.26 REF																																														
Lead Thickness	c	0.09																																														
Foot Angle	ϕ	0° 4° 8°																																														
Lead Width	b	0.22																																														

<p>HG1</p>			 <p>BQ-M51DRD</p>																																								
<p>BK1</p>	<p>TO-92</p> 	 <table border="1" data-bbox="778 1310 1252 1467"> <thead> <tr> <th rowspan="2">REF.</th> <th colspan="2">Millimeter</th> <th rowspan="2">REF.</th> <th colspan="2">Millimeter</th> </tr> <tr> <th>Min.</th> <th>Max.</th> <th>Min.</th> <th>Max.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>4.40</td> <td>4.70</td> <td>F</td> <td>0.30</td> <td>0.51</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>4.30</td> <td>4.70</td> <td>G</td> <td colspan="2">1.27 TYP.</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>12.70</td> <td>-</td> <td>H</td> <td>1.10</td> <td>1.40</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>3.30</td> <td>3.81</td> <td>J</td> <td>2.42</td> <td>2.66</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0.36</td> <td>0.56</td> <td>K</td> <td>0.36</td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>	REF.	Millimeter		REF.	Millimeter		Min.	Max.	Min.	Max.	A	4.40	4.70	F	0.30	0.51	B	4.30	4.70	G	1.27 TYP.		C	12.70	-	H	1.10	1.40	D	3.30	3.81	J	2.42	2.66	E	0.36	0.56	K	0.36	0.76	 <p>DS18B20</p>
REF.	Millimeter			REF.	Millimeter																																						
	Min.	Max.	Min.		Max.																																						
A	4.40	4.70	F	0.30	0.51																																						
B	4.30	4.70	G	1.27 TYP.																																							
C	12.70	-	H	1.10	1.40																																						
D	3.30	3.81	J	2.42	2.66																																						
E	0.36	0.56	K	0.36	0.76																																						
<p>HL1</p>	 <table border="1" data-bbox="542 1836 678 1971"> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>	a	5	6	b	4	5	D	10	12		 <p>КИПМ 01 Б-1К</p>																															
a	5	6																																									
b	4	5																																									
D	10	12																																									

VD1																					
SB1, SB2			 <p style="text-align: center;">СХЕМА</p>  <p style="text-align: center;">PCB LAYOUT</p>  <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4.3</td></tr> <tr><td>5.0</td></tr> <tr><td>7.0</td></tr> <tr><td>7.3</td></tr> <tr><td>7.5</td></tr> <tr><td>8.0</td></tr> <tr><td>9.5</td></tr> <tr><td>11.0</td></tr> <tr><td>12.0</td></tr> <tr><td>13.0</td></tr> <tr><td>15.0</td></tr> <tr><td>17.0</td></tr> <tr><td>18.0</td></tr> <tr><td>20.0</td></tr> <tr><td>22.0</td></tr> <tr><td>26.0</td></tr> </tbody> </table>	H	4.3	5.0	7.0	7.3	7.5	8.0	9.5	11.0	12.0	13.0	15.0	17.0	18.0	20.0	22.0	26.0	 <p style="text-align: center;">KLS7-TS6601</p>
H																					
4.3																					
5.0																					
7.0																					
7.3																					
7.5																					
8.0																					
9.5																					
11.0																					
12.0																					
13.0																					
15.0																					
17.0																					
18.0																					
20.0																					
22.0																					
26.0																					

В качестве ёмкости С3 220 мкФ выбран широко распространённый алюминиевый оксидно-полупроводниковый полярный конденсатор с однонаправленными выводами марки К50-35.

Поиск показал, что микроконтроллер PIC16F84A выпускается фирмами в различных корпусах. Для выбранной технологии монтажа лучше всего подходит корпус типа PDIP с выводами.

Высоту Н тактовой кнопки KLS7-TS6601 можно уточнить после выбора корпуса терморегулятора.

Таким образом в схеме электрической принципиальной содержится:

Общее количество элементов	29
Общее количество различных элементов	13
Количество аналоговых элементов	26
Количество цифровых элементов	3
Количество многосекционных элементов	0
Количество элементов:	
Двухполюсных	19
Трёхполюсных	3
Четырёхполюсных	0
Многополюсных	3
Количество гетерогенных элементов (с разнородными секциями)	1

6 Список литературы

1. Митин Г.П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах. - М.: Изумруд, 2003. - 224 с.
2. Кобрин Ю.П. Элементная база электронных компонентов РЭС. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Автоматизированное проектирование РЭС» для студентов специальности «11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств».. - Томск: ТУСУР, 2018. - 63 с.
3. ГОСТ Р МЭК 61191-3-2010 61191-3-2010 Печатные узлы. Часть 3. Монтаж в сквозные отверстия. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2011. - 12 с.
4. ГОСТ Р МЭК 61191-1-2017 Печатные узлы. Часть 1. Поверхностный монтаж и связанные с ним технологии. Общие технические требования. - М.: Стандартинформ, 2017. -36 с.
5. ГОСТ Р МЭК 61191-2-2017 Печатные узлы. Часть 2. Поверхностный монтаж. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2017. - 23 с.
6. Леухин В.Н. Компоненты для монтажа на поверхность: справочное пособие / В.Н. Леухин. - Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2006. - 300 с.
7. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. - Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. - 617 с.
8. Алямовский А. А. и др.. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Авторы: Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б.. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.
9. Алямовский. COSMOSWorks. Основы расчёта конструкций на прочность в среде SolidWorks. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 784 с.
10. Гелль П.П., Иванов-Осипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация РЭА. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
11. Каленкович Н.И. Радиоэлектронная аппаратура и основы её конструкторского проектирования: учебно-методическое пособие для студентов спец. «Моделирование и компьютерное проектирование» и «Проектирование и производство РЭС». - Минск: БГУИР, 2008. - 200 с.
12. Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. - М.: Энергия, 1968. - 359 с.
13. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Советское радио, 1976. - 230 с.
14. Трищенко К., "Усовершенствованный термометр-термостат на микроконтроллере," *Радио*, Jan 2006. pp. 43 -45.
15. ГОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. - М.: Стандартинформ, 2015. - 6 с.

16. ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. - М.: Стандартинформ, 2017. - 27 с.
17. Кобрин Ю.П. Разработка технического задания и технических предложений на проектирование РЭС. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Автоматизированное проектирование РЭС». - Томск: ТУСУР, 2018. - 88 с.
18. Кобрин Ю.П. Автоматизированное проектирование радиоэлектронных средств: Методические указания по самостоятельной работе [Электронный ресурс] / Кобрин Ю. П. — Томск: ТУСУР, 2017. - 23 с.
19. Акимов Н.Н., Ващуков Е.П., Прохоренко В.А., Ходоренок Ю.П. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник. - Мн.: Беларусь, 1994. - 591 с.
20. Аксенов А.И., Нефедов А.В.. Резисторы, конденсаторы, провода, припои, флюсы. Справочное пособие. Серия "Ремонт", выпуск 39. – М.: СОЛОН - Р, 2000. – 239 с.
21. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Отечественные полупроводниковые приборы / 6-е изд., доп. и испр. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. — 592 с.
22. Бондаренко И.Б., Гатчин Ю.А., Иванова Н.Ю., Шилкин Д.А. Соединители и коммутационные устройства. Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. - 151 с.
23. В.Л. Аронов, А.В. Баяков, А.А. Зайцев и др. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник/ Под общ. ред. Н. Н. Горюнова. - 2-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 904 с.
24. Все отечественные микросхемы. — 2-е изд., переработанное дополненное. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI, 2004. — 400 с.
25. Зарубежные микросхемы, транзисторы, тиристоры, диоды+SMD. А.З. В 3 томах). Справочник. — Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб.: Наука и Техника, 2008.
26. Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учеб. пособие. - М.: Эко-Трендз, 2006. - 272 с.
27. Хрулев А.К., Черепанов В.П. Диоды и их зарубежные аналоги. Справочник. В 3 томах. — М.: ИП РадиоСофт, 1999.— 640 с.
28. // Интернет-магазин электронных компонентов и приборов: [сайт]. URL: <http://www.platan.ru/shop/>
29. // Интернет-магазин электронных компонентов и сопутствующих товаров: [сайт]. URL: <http://www.chipdip.ru/>
30. // ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН «Промэлектроника»: [сайт]. [1993]. URL: <https://www.promelec.ru/>
31. Шмаков С.Б. Энциклопедия радиолюбителя. Современная элементная база. - СПб.: Наука и Техника, 2012. — 384 с.