

Владимирский государственный университет

Д. Д. ПАВЛОВ

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ И УЗЛОВ**

Учебное пособие к выполнению курсового проекта

Владимир 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Д. Д. ПАВЛОВ

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ И УЗЛОВ

Учебное пособие к выполнению курсового проекта

Электронное издание



Владимир 2023

ISBN 978-5-9984-1607-1

© ВлГУ, 2023

© Павлов Д. Д., 2023

УДК 621.38:004.896

ББК 32.85+30.2

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент
зав. кафедрой радиотехники и радиосистем
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Н. Н. Корнеева

Кандидат технических наук, доцент
зам. начальника отдела измерительной техники
ЗАО «НПП «Автоматика»
В. М. Дерябин

Павлов, Д. Д.

Компьютерное проектирование электронных схем и узлов [Электронный ресурс] : учеб. пособие к выполнению курсового проекта / Д. Д. Павлов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2023. – 98 с. – ISBN 978-5-9984-1607-1. – Электрон. дан. (4,06 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Содержит информационный материал, задания, указания для самостоятельного выполнения курсового проекта, связанного с проектированием печатной платы электронного устройства в специализированной САПР. Изложена последовательность этапов проектирования, приведены рекомендации по выбору САПР проектирования, требования государственных стандартов и рекомендации к объектам проектирования, требования и рекомендации к оформлению конструкторской документации на печатные платы. Приведено подробное описание интерфейса САПР печатных плат *KiCad*. На примерах показана последовательность действий по всем этапам автоматизированного проектирования печатной платы электронного устройства.

Предназначено для студентов направления 12.03.01 «Приборостроение», а также может быть рекомендовано студентам, обучающимся по направлениям 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 10. Ил. 17. Библиогр.: 11 назв.

ISBN 978-5-9984-1607-1

© ВлГУ, 2023
© Павлов Д. Д., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	6
ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ	13
ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	14
Глава 1. ВЫБОР САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	14
Глава 2. СОЗДАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ	16
Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ	37
Глава 4. ОФОРМЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ	69
ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	84
ПРИЛОЖЕНИЕ	86

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая производительность вычислительных мощностей и развитие техники и технологии в целом в настоящее время предъявляют серьезные требования к процессу разработки и проектирования новых электронных устройств в общем и измерительных устройств в частности. В процессе разработки и проектирования электронных устройств в настоящее время применяется большое количество вспомогательных или, правильнее сказать, прикладных специализированных компьютерных программ и приложений. Применяемые в технических отраслях специализированные программы и пакеты прикладных программ получили название системы автоматизированного проектирования или САПР (в англоязычной литературе CAD – *computer-aided-design*).

На различных этапах жизненного цикла применяются различные САПР, решающие определенные задачи. На этапе эскизного проектирования это графические САПР, на этапе математического моделирования – системы, предназначенные для решения математических задач, на этапе конструкторского проектирования – САПР для разработки корпусов, деталей, сборок и подготовки конструкторской документации. При проектировании и разработке печатных плат электронных устройств применяются САПР печатных плат.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В настоящее время невозможно представить процесс проектирования электронной аппаратуры без использования персонального компьютера. Использование ПК позволяет применять в процессе проектирования специализированное программное обеспечение. В частности, при проектировании электронных схем и узлов применяются САПР печатных плат.

Наиболее часто используемыми (популярными) являются следующие программные продукты:

1. *Altium Designer*.

Основанная в 1985 году как *Protel Systems* в Австралии, компания сменила свое название на *Altium* в 2001 году. В настоящее время американская компания является лидером в области программного обеспечения для моделирования печатных плат. Фирма ежегодно привлекает 6000 новых пользователей и стремится к обороту в 200 миллионов долларов в 2020 году.

Особенности и технические характеристики:

- Среда проектирования со схемами, компоновкой-маршрутизацией, документацией и имитацией.
- Проектирование для производства (*DFM*), гарантирующее функциональность, надежность и простоту изготовления ваших печатных плат.
- Простая миграция данных с помощью мощных инструментов преобразования.
- 3D *flex*-жесткая конструкция.
- Конструкция печатной платы.
- Схема проектирования.
- Вывод производственного файла.

При стартовой цене лицензии в 7000 долларов программный пакет *Altium* особенно подходит для инженеров-электронщиков, работающих в крупных промышленных группах или в сфере Интернета вещей. Он также широко используется университетами и ведущими школами. С другой стороны, для полного овладения функционалом программы требуется длительное обучение, а весь функционал программы

может остаться не востребованным на конкретном производственном предприятии. *AltiumDesign* работает только в ОС *Windows*.

2. *Autodesk EAGLE*.

EAGLE - это программное обеспечение для проектирования печатных плат, разработанное немецкой компанией *CadSoft Computer GmbH*, созданной Рудольфом Хофером и Клаусом-Петером Шмидигером в 1988 году. Компания была приобретена *Farnell* в 2009 году, а в 2016 году - *Autodesk*, производителем программного обеспечения мирового класса с оборотом более 2 миллиардов евро.

Autodesk EAGLE:

Программное обеспечение доступно в 3 версиях:

- *EAGLE Free*: ограниченная пробная версия для любителей *DIY*.
- Стандарт *EAGLE*: 99 листов схем, 4 сигнальных слоя и площадь печатной платы 160 см².
- *EAGLE Premium*: профессиональная версия с 999 листами диаграмм, 16 сигнальными слоями и неограниченной площадью печатной платы.

Особенности и технические характеристики

- Редактор схем (подключение к библиотеке, электрические правила, генерация списка соединений).
- Аннотация изменений между схемой и печатной платой.
- Иерархия диаграмм.
- Схема компоновки с расширенными функциями.

Преимущество *EAGLE* в том, что он является одним из тяжеловесов программного обеспечения для проектирования печатных плат. При разумной цене в 500 долларов в год у него есть значительное сообщество, которое размещает учебные пособия в Интернете. Он также имеет обширную библиотеку компонентов и работает в среде *Mac OS X* или *Linux*.

3. *Proteus*.

Электронное САПР-решение *Proteus* было разработано компанией *Labcenter Electronics Ltd.*, основанной Джоном Джеймсоном в 1988 году в Соединенном Королевстве. Широко распространенный продукт *Proteus* продается более чем в 50 странах.

Особенности и технические характеристики:

Состоит из двух основных программных продуктов:

- *Proteus ISIS*: создание диаграмм и электрическое моделирование.
- *Proteus ARES*: решение для прокладки печатных плат с автоматическим позиционированием компонентов.

Другие доступные модули *Proteus*:

Proteus VSM

- Полный встроенный рабочий процесс;
- Схема проектирования;
- Моделирование;
- Измерение и анализ;
- Исправление ошибок;
- Диагностика;

Программное обеспечение для проектирования печатных плат *Proteus*

- Конструкция печатной платы с 16 слоями меди;
- 14 миллионов компонентов в библиотеке;
- Интерактивная ручная маршрутизация;

Визуальный дизайнер *Proteus*

- В сочетании с *Proteus VSM* он предоставляет комплексное решение для редактирования блок-схем и галерею оборудования для встроенной среды разработки *Arduino* и *Raspberry Pi*.

4. *KiCAD*.

KiCAD - это бесплатный программный комплекс для проектирования печатных плат с открытым исходным кодом. Он был разработан Жан-Пьером Шаррасом из Гренобльского университета во Франции в 1992 году. Это программное обеспечение для проектирования включает в себя управление схемами, маршрутизацию печатных плат и возможности 3D-моделирования для инженеров-электронщиков.

Особенности и технические характеристики:

- *KiCAD*: руководитель проекта;
- *Eeschema*: редактор электрических схем;
- *Pcbnew*: редактор печатных плат;
- *Svpcb*: утилита для выбора физических отпечатков компонентов, используемых на схеме;
- *Gerbview*: средство просмотра файлов *Gerber*;

- Калькулятор печатных плат: вспомогательный инструмент для расчета значений сопротивления, ширины дорожки и т.д.

5. *Cadence PCB Designer.*

Компания *Cadence Design Systems*, созданная в 1988 году в результате слияния компаний *SDA Systems* и *ECAD*, в настоящее время является лидером на рынке программного обеспечения для САПР электроники. Базирующаяся в Сан-Хосе в Калифорнии, это компания, котирующаяся на бирже *NASDAQ*, с оборотом около 2 миллиардов долларов.

Cadence издает *Allegro PCB Designer* и *OrCAD*.

Особенности и технические характеристики:

- Схемы, компоновка и маршрутизация;
- Интерактивная маршрутизация в реальном времени со встроенными ограничениями;
- Автоматическое создание и обновление формы;
- Автоматическая поддержка *BGA*;
- Моделирование и анализ *PSpice*;
- Повышение производительности и надежности при одновременной оптимизации затрат;
- Автоматическая проверка схемы;
- Электронная схема механическая и электрическая стимуляция
- Диаграммы *OrCAD*;
- Редактор символов;
- Встроенный поиск электронных компонентов;
- Встроенные конструктивные ограничения.

6. *DesignSpark.*

DesignSpark - это программное обеспечение для электронных САПР, созданное в результате сотрудничества между ведущим мировым дистрибьютором компонентов *RS Components* и разработчиком программного обеспечения *Number One Systems*.

Особенности и технические характеристики:

- Ввод диаграммы;
- Маршрутизация и автоматическое позиционирование компонентов;

- Интерфейс проекта для организации файлов дизайна;
- 3D-просмотрщик;
- Генерация файлов для бурения *Gerber* и *Excellon*.

7. *P-CAD*.

Компания *Personal CAD Systems* была основана в 1982 году Ричардом Недбалом и Роем Прасадом. Оба были бывшими руководителями *American Microsystems, Inc. (AMI)*, специализированная полупроводниковая компания, базирующаяся в Санта-Кларе, штат Калифорния.

P-CAD стала компанией с самой большой установленной базой пользователей системы автоматизации электронного проектирования (*EDA*), насчитывающей к 1988 году более 10 000 пользователей. В то время *P-CAD* была самой плодотворной компанией *EDA*, если судить по ее пользовательской базе, легко превосходя такие известные САПР-компании, как *Autotrol, Calma, Intergraph, Daisy, Mentor, Cadnetix, CAE Systems, ECAD, SDA Systems* и т.д. В то время *Cadence* только формировалась в результате слияния *ECAD* и *SGA*, а *Synopsys* создавалась как новый стартап.

Флагманские продукты *P-CAD* включали в себя захват схем, логическое моделирование и компоновку печатных плат, управление библиотекой компонентов, компоновку и маршрутизацию печатных плат, решение параметрических ограничений и возможность автоматической маршрутизации.

Последней версией *P-CAD* был *P-CAD 2006* с пакетом обновления 2, выпущенный в 2006 году. Это был последний релиз, выпущенный *Altium*, который отказался от продукта в пользу *Altium Designer*.

8. *TopoR*.

TopoR (Topological Router) — высокопроизводительный топологический трассировщик печатных плат, не имеющий аналогов.

Особенности и технические характеристики:

- Высокая скорость трассировки сокращает время проектирования электронных устройств в десятки раз.
- Отсутствие преимущественных направлений трассировки в слоях существенно снижает протяженность параллельных

трасс и уменьшается уровень перекрестных электромагнитных помех.

- Уникальные алгоритмы помогают найти нетрадиционные решения и упростить выполнение сложных задач.
- Широкий набор инструментов обеспечивает разработку плат с повышенной надежностью и позволяет улучшить производственные и эксплуатационные показатели.
- Гладкие без изломов проводники позволяют более эффективно использовать свободное пространство печатной платы.

По сравнению с другими системами автотрассировщик *TopoR* позволяет существенно сократить суммарную длину проводников и уменьшить число межслойных переходов. Это означает, что на плате становится существенно свободнее, и можно либо увеличить зазоры между проводниками и размеры контактных площадок, либо, не изменяя проектных норм, уменьшить размер платы или количество слоев.

9. *Sprint-Layout*.

Sprint-Layout - это программное обеспечение для проектирования электронных прототипов, опубликованное *Aba com*. Используя хорошую эргономику и возможности, достойные профессионального программного обеспечения, в сочетании с очень конкурентоспособной ценой, *Sprint-Layout* стал очень полезным для инженеров-электронщиков.

Особенности и технические характеристики:

- Автоматическая прокладка печатных плат с двух сторон;
- Обширная библиотека традиционных компонентов и компонентов *CMS*;
- Создание нового компонента;
- Генерация файлов *Gerber* и *Excellon*;
- Сглаживание;
- Дизайн-Проверка правил.

10. *EasyEDA*.

EasyEDA - это веб-набор инструментов *EDA*, который позволяет инженерам-аппаратчикам проектировать, моделировать, делиться -

публично и в частном порядке - и обсуждать схемы, симуляции и печатные платы. Другие функции включают в себя создание спецификации материалов, файлов *Gerber* и файлов выбора и размещения, а также документальных выходных данных в форматах *PDF*, *PNG* и *SVG*.

EasyEDA позволяет создавать и редактировать принципиальные схемы, имитировать смешанные аналоговые и цифровые схемы, а также создавать и редактировать макеты печатных плат и, при необходимости, изготавливать печатные платы.

Зарегистрированные пользователи могут бесплатно загружать файлы *Gerber* из инструмента; но за отдельную плату *EasyEDA* предлагает услугу изготовления печатных плат.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении систем автоматизированного проектирования печатных плат.
2. Назовите основные отличия САПР KiCAD от других подобных программных продуктов.
3. Назначение менеджера проектов в системе KiCAD.
4. Назначение утилит системы KiCAD.
5. Опишите структуру проекта в KiCAD.
6. Что такое печатная плата?
7. Как можно классифицировать САПР?
8. Для чего нужны САПР по проектированию печатных плат?

ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Задание на курсовое проектирование по дисциплине «Компьютерное проектирование электронных схем и устройств» предусматривает выполнение полного цикла работ по автоматизированному проектированию печатной платы и разработке конструкторской документации на электронный модуль (узел, устройство).

В качестве исходных данных студенту дается изображение схемы электрической принципиальной какого-либо электронного устройства, обязательно имеющего в своем составе микроконтроллер, а также перечень компонентов, входящих в схему устройства.

Студент должен выполнить следующие этапы проектирования ПП:

1. Выбрать подходящее программное обеспечение (в примере выполнения КП используется САПР печатных плат *KiCAD*).
2. При помощи имеющихся средств САПР, используя модели условных графических обозначений элементов создать проект схемы электрической принципиальной. Обозначить компоненты, сформировать список цепей, выполнить проверку правильности составления схемы.
3. Выполнить сопоставление условных графических обозначений электро- радиоэлементов и посадочных мест компонентов.
4. В редакторе разработки печатных плат выполнить расстановку элементов и трассировку проводников.
5. Сгенерировать необходимые файлы для производства и документы для конструкторской документации.

В приложении 1 приведены чертежи схем электрических принципиальных и перечни используемых элементов, на основании которых необходимо выполнить задания курсового проектирования.

ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В настоящее время для проектирования электронных схем и устройств существует достаточно большое разнообразие соответствующих программных продуктов или САПР печатных плат. Их функциональные возможности и соответственно стоимость могут отличаться на порядки, поэтому выбор подходящего программного продукта – это первый важный вопрос, который необходимо решить перед началом разработки печатной платы устройства.

Глава 1. ВЫБОР САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Задание: выбрать САПР печатных плат, в котором будет выполняться курсовое проектирование.

Пример выполнения:

Согласно ГОСТ23501.101-87Основная функция САПР состоит в выполнении автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей [1].

Стоит напомнить, что автоматизированным называется проектирование, при котором проектные решения получают путем взаимодействия человека, ЭВМ и комплекса программных и других средств автоматизации его деятельности[2]. А сами САПР могут классифицироваться по следующим признакам [2]:

1. По области применения.
2. По целевому назначению.
3. По масштабам.
4. По характеру базовой подсистемы.

Приведенный в начале обзор современных САПР печатных плат поможет определиться с программой, в которой будут выполняться стадии проектирования печатной платы электронного устройства.

Программной средой выполнения заданий проектирования в качестве примера был выбран САПР печатных плат *KiCAD*. Выбор был сделан в пользу *KiCAD* по следующим причинам:

1. *KiCAD* - это бесплатный программный пакет для автоматизации электронного проектирования (*EDA*). Он имеет интегрированную среду для захвата схем, компоновки печатных плат, просмотра производственных файлов, моделирования *SPICE* и инженерных расчетов. В пакете имеются инструменты для создания спецификации, рисунков, файлов *Gerber* и 3D-моделей печатной платы и ее компонентов.
2. Поддерживается несколько языков.
3. Редактор схем *KiCAD* обладает такими функциями, как иерархические листы схем, создание пользовательских символов, проверка электрических правил (*ERC*) и интегрированное моделирование схем *ngspice*.
4. Встроенный редактор печатных плат *KiCAD* поддерживает до 32 слоев меди и 32 технических слоя. Размеры хранятся с точностью до нанометра в 32-разрядных целых числах.
5. САПР ПП *KiCAD* является свободно распространяемым бесплатным программным обеспечением с открытым исходным кодом. Программу без проблем можно скачать с официального сайта, там же есть большое количество ссылок на обучающие материалы, форумы разработчиков и т.д. *KiCAD* может работать на различных операционных системах, включая различные версии *Linux* и *macOS*.

Глава 2. СОЗДАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

Задание: из приложения выбрать схему соответствующую номеру своего варианта, построить средствами САПР электрическую принципиальную схему устройства, подготовить перечень элементов.

Общие сведения.

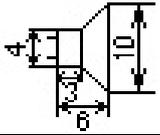
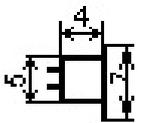
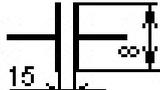
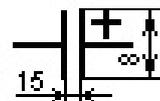
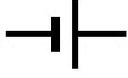
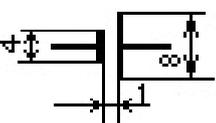
Согласно ГОСТ 2.702-2011 (распространяется на электрические схемы изделий всех отраслей промышленности) - Схема электрическая – это документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи [3].

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии установленных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.д.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи [3].

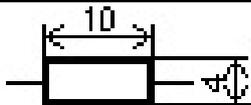
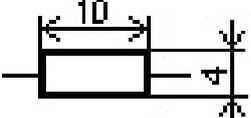
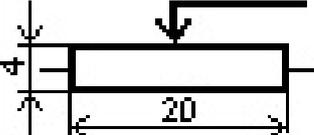
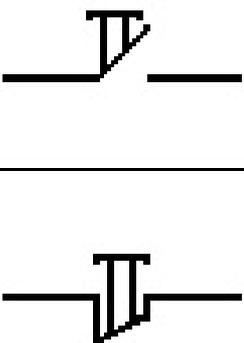
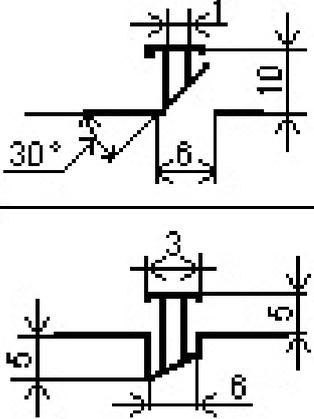
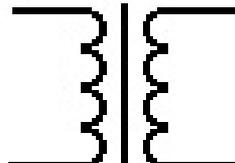
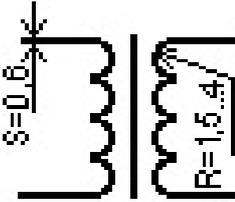
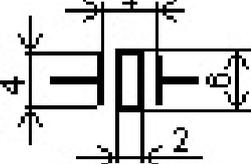
По ГОСТ схемы необходимо выполнять для изделий, находящихся в отключенном положении, но в некоторых, технически обоснованных, случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в рабочем положении (состоянии) с указанием режима работы, для которого изображены эти элементы.

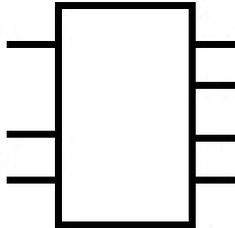
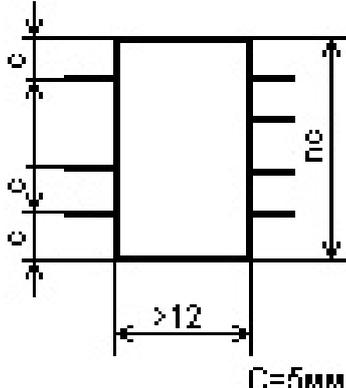
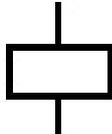
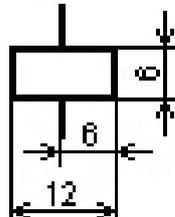
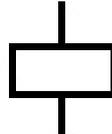
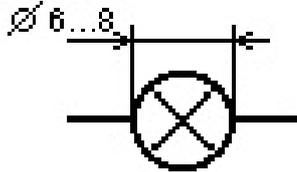
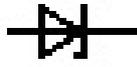
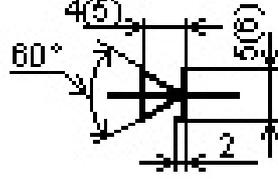
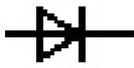
Элементы и устройства, УГО (условные графические обозначения) которых установлены в стандартах ЕСКД, изображают на схеме в виде этих УГО. Изображения условных графических обозначений различных электро- радиоэлементов также регламентируются ГОСТами. Для удобства различные УГО и ссылки на соответствующие нормативные документы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Условные графические обозначения электронных компонентов

Название элемента		Графическое обозначение элемента	Размеры элемента	Номера ГОСТов
1 Громкоговори- тель	BA			2.741 - 68
2 Телефон	BF			
3 Конденсатор нерегулируе- мый	C			ГОСТ 2.728 - 74
4 Конденсатор регулируемый				
5 Конденсатор подстроечный				
6 Конденсатор электролити- ческ.				
7 Источник питания	G			2.742 - 68
8 Батарея аккумулятор	GB			
9 Катушка ин- дуктивности	L			2.723 - 68
10 Дроссель				

Продолжение табл. 1

<p>① Резистор постоянный ①а Реостат</p>	R			ГОСТ 2.728 - 74
<p>② Предохранитель</p>	FU			
<p>13 Потенциометр</p>	RP			
<p>14 Выключатель однополосный</p>	SA			ГОСТ 2.255 - 74
<p>⑤ Выключатель кнопочный а) с замыкающим контактом б) с размыкающим контактом</p>	SB			
<p>⑥ Трансформатор</p>	T			ГОСТ 2.736 - 68
<p>⑦ Пьезоэлемент</p>	BQ			

<p>①9 Устройства Основное поле</p>	<p>D DA</p>			<p>ГОСТ 2.743 - 91</p>
<p>②0 Катушка электро- механическая устройства</p>	<p>K</p>			<p>2.756 - 76</p>
<p>②1 Пускатель</p>	<p>KM</p>			<p>2.756 - 76</p>
<p>②2 Лампа на- каливания осветительная и сигнальная</p>	<p>H</p>			<p>2.732 - 68</p>
<p>②3 Стабилитрон</p>	<p>VD</p>			<p>2.730 - 73</p>
<p>②4 Диод</p>				

Всем элементам на схеме электрической принципиальной необходимо присваивать порядковые номера. 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 [3]. При изображении на схеме элемента или устройства разнесенным способом позиционное обозначение элемента или устройства проставляют около каждой составной части (рис. 1).



Рис. 1. Способы изображения и позиционного обозначения устройств

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы и устройства, входящие в состав изделия и изображенные на схеме.

Данные об элементах следует записывать в перечень элементов, оформляемый в виде таблицы по ГОСТ 2.701. При этом связь перечня с УГО элементов следует осуществлять через позиционные обозначения. Пример оформления перечня элементов по ГОСТ 2.701 представлен на рис.2 [4].

<i>Поз. обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
<i>A1</i>	<i>Дешифратор АБВГ.ХХХХХХ.033</i>	<i>1</i>	
<i>D1</i>	<i>Микросхема К155ТМ2 бко.348.006 ТУ1</i>	<i>1</i>	
<i>D2</i>	<i>Микросхема К155ЛАЗ бко.348.006 ТУ1</i>	<i>1</i>	
	<i>Резисторы</i>		
<i>R1, R2</i>	<i>МЛТ -0,25-430 Ом ± 10% ГОСТ ..</i>	<i>2</i>	
<i>R3</i>	<i>МЛТ -0,25-13 Ом ± 10% ГОСТ ..</i>	<i>1</i>	
<i>R4</i>	<i>ППЗ-43-60 Ом ± 10% .. ТУ</i>	<i>1</i>	
<i>SA1</i>	<i>Переключатель АБВГ.ХХХХХХ.154</i>	<i>1</i>	
<i>A2</i>	<i><u>1 Блок включения ФЭУ. АБВГ.ХХХХХХ.249</u></i>	<i>1</i>	
<i>AB1</i>	<i>Блок индикации АБВГ.ХХХХХХ.122</i>	<i>1</i>	
	<i>Резисторы ГОСТ ..</i>		
<i>R1, R2</i>	<i>МЛТ -0,25-120 Ом ± 10%</i>	<i>2</i>	
<i>R3</i>	<i>МЛТ -0,25-220 Ом ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R4-R6</i>	<i>МЛТ -0,25-120 Ом ± 10%</i>	<i>3</i>	
<i>LPM1</i>	<i><u>1.1 Измеритель</u></i>		
<i>AC1</i>	<i>Блок сигнализации АБВГ.ХХХХХХ.021</i>	<i>1</i>	
<i>C1, C2</i>	<i>Конденсатор КМ-3а-Н30-0,22 ..ТУ</i>	<i>2</i>	
<i>R7</i>	<i>Резистор МЛТ-0,25-470 Ом ± 10% ГОСТ ..</i>	<i>1</i>	
<i>KLB1-KLB4</i>	<i><u>2 Переключатель тока</u></i>	<i>4</i>	
<i>A3</i>	<i>Блок индикации АБВГ.ХХХХХХ.020</i>	<i>1</i>	
<i>R5</i>	<i>Резистор МЛТ-0,25-4,7 кОм ± 10% ГОСТ ..</i>	<i>1</i>	
<i>R6, R7</i>	<i>Резистор МЛТ-0,25-4,7 кОм ± 10% ГОСТ ..</i>	<i>2</i>	

Рис. 2. Оформление перечня элементов по ГОСТ 2.701-2008

При указании около УГО номиналов резисторов и конденсаторов (рис.3.) допускается применять упрощенный способ обозначения единиц величин:

- для резисторов:

от 0 до 999 Ом - без указания единиц величин,

от $1 \cdot 10^3$ до $999 \cdot 10^3$ Ом - в килоомах с обозначением единицы величин строчной буквой к,

от $1 \cdot 10^6$ до $999 \cdot 10^6$ Ом - в мегаомах с обозначением единицы величин прописной буквой М,

свыше $1 \cdot 10^9$ Ом - в гигаомах с обозначением единицы величин прописной буквой Г;

- для конденсаторов:

от 0 до $9999 \cdot 10^{-12}$ Ф - в пикофарадах без указания единицы величин.

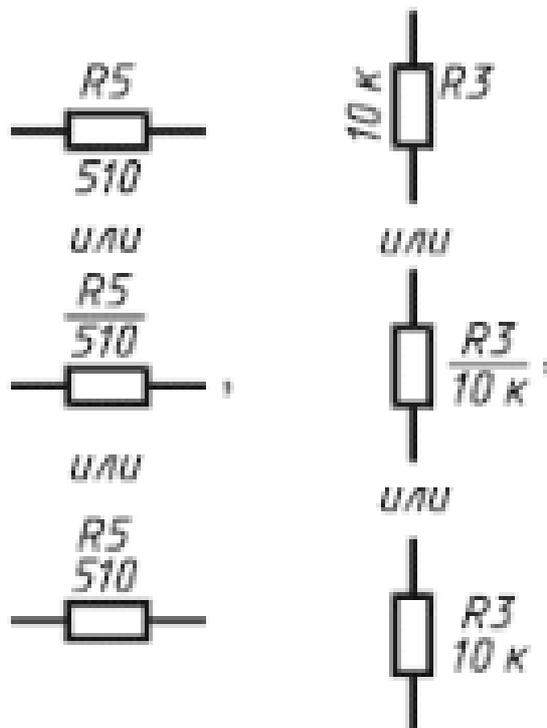


Рис. 3. Указание номиналов резисторов на схеме

На схеме рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей изделия (частоту, напряжение, силу тока, сопротивление, индуктивность и т.д.), а также параметры, подлежащие измерению на контрольных контактах, гнездах и т.д.

Характеристики входных и выходных цепей изделия, а также адреса их внешних подключений рекомендуется записывать в таблицы,

помещаемые взамен УГО входных и выходных элементов - соединителей, плат и т.д. (рис.4).

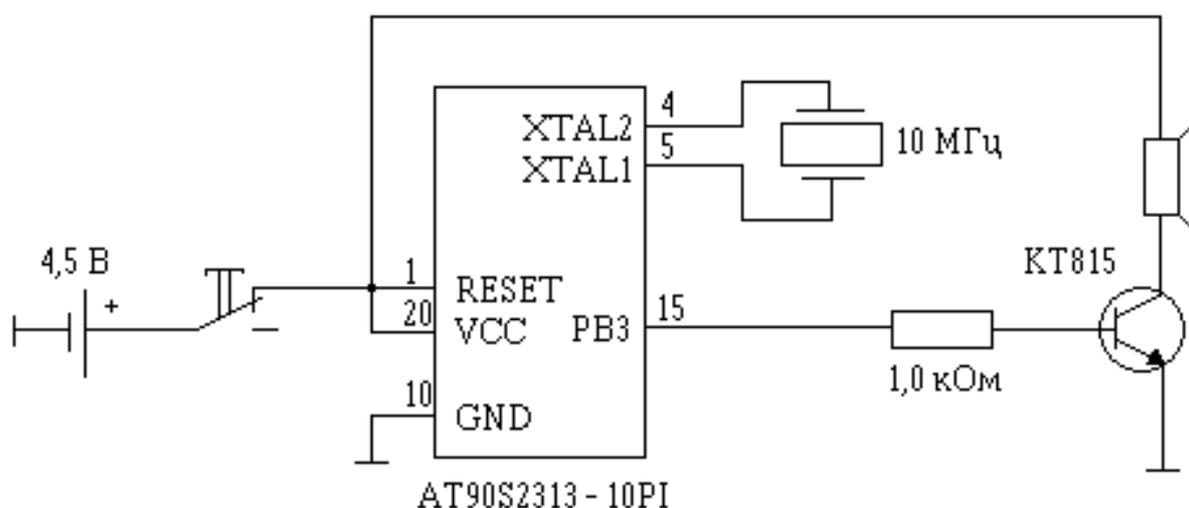
X1		
Конт.	Цепь	Адрес
1	$\Delta f = 0,3-3 \text{ кГц}; R_H = 600 \text{ Ом}$	= A1-X1:1
2	$U_{\text{ВЫХ}} = 0,5 \text{ В}; R_H = 600 \text{ Ом}$	= A1-X1:2
3	$U_{\text{ВЫХ}} = +60 \text{ В}; R_H = 500 \text{ Ом}$	= A1-X1:3
4	$U_{\text{ВЫХ}} = +20 \text{ В}; R_H = 1 \text{ кОм}$	= A1-X1:4

Рис.4. УГО разъема, контактора, соединителя и т.д.

Каждой таблице присваивают позиционное обозначение элемента, взамен УГО которого она помещена. Над таблицей допускается указывать УГО контакта - гнезда или штыря. Таблицы допускается выполнять разнесенным способом.

Выполнение работы.

Создадим в САПР KiCAD электрическую принципиальную схему сигнального звукового устройства, выполненного с использованием микроконтроллера AT90S2313 (рис.5).



Система *KiCAD* - это пакет прикладных программ для автоматизированной разработки электрических схем и проектирования печатных плат, который работает в следующих операционных системах:

LINUX

Windows XP

Mac OS

Головная программа *KiCAD* - это менеджер проектов, который упрощает использование других программ, необходимых для разработки электрических схем и компоновки плат, формирования и проверки файлов для производства плат.

Другие программы системы *KiCAD* – это:

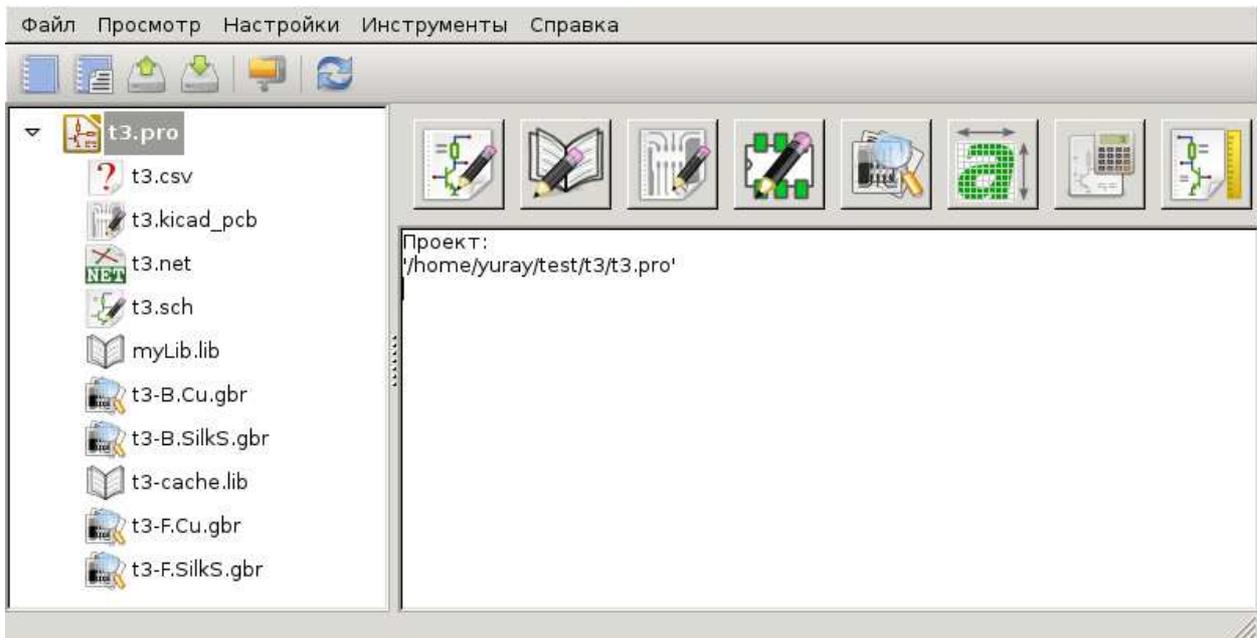
- *Schematic Editor*: редактор электрических схем;
- *Pcbnew*: редактор топологии печатных плат;
- *Cvpcb*: программа ассоциирования компонентов схемы с физическими модулями (посадочными местами корпусов) для размещения на плате;
- *Gerbview*: программа визуализации файлов *Gerber*.

Для упрощения управления проектом, то есть всеми составляющими его файлами (разработанных схем, печатных плат, задействованных библиотек, полученных технологических файлов для засветки фотошаблонов, сверления отверстий и автоматического размещения компонент), рекомендуется создать проект. *KiCAD* создает файл с расширением **.KiCAD_pro*, который содержит ряд параметров, относящихся к управлению проектом: имя файла принципиальной схемы, список библиотек, используемых в схеме и в проекте платы. Предопределенные имена как принципиальной схемы, так и печатной платы базируются на имени проекта. Таким образом, если проект, названный «*example*» был создан в директории, названной «*example*», созданные по умолчанию файлы будут следующими:

- | | |
|--------------------------|---|
| <i>example.KiCAD_pro</i> | - файл управления проектом; |
| <i>example.KiCAD_sch</i> | - файл принципиальной схемы; |
| <i>example.KiCAD_brd</i> | - файл печатной платы; |
| <i>example.KiCAD_net</i> | - файл списка соединений (<i>netlist</i> -файл); |

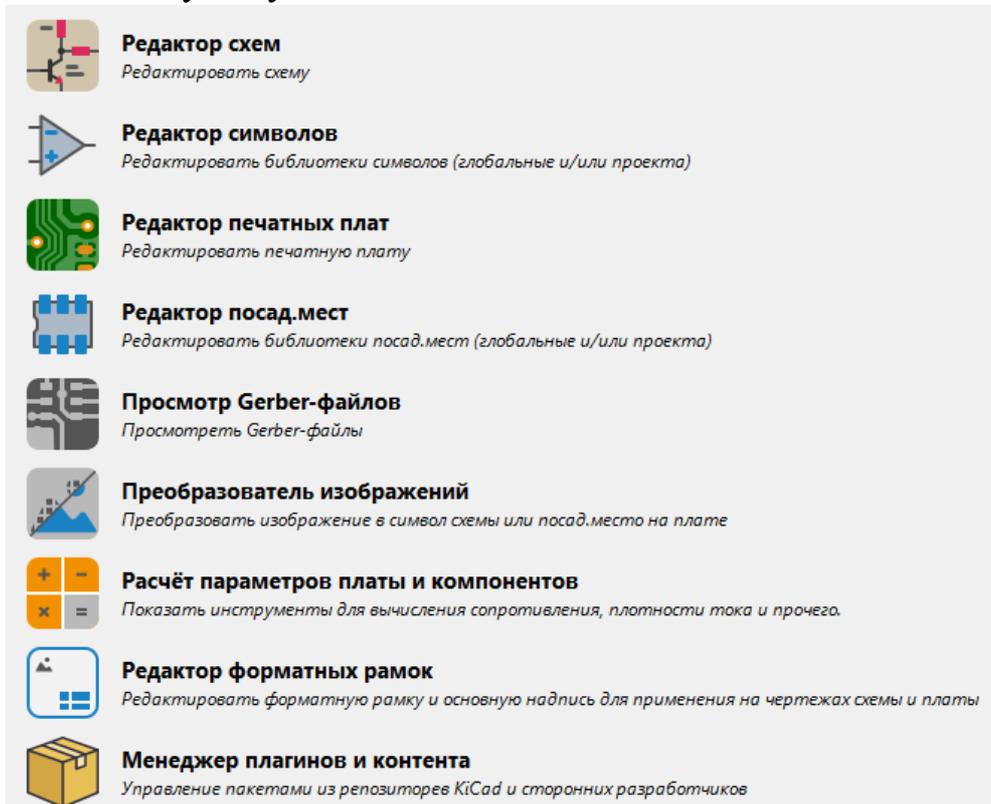
1. Редактор проектов

Основное окно

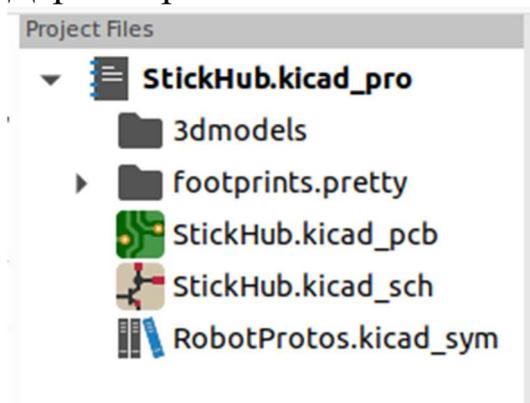


Основное окно состоит из окна дерева проекта, панели с кнопками запуска различных утилит, и окна сообщений. Меню и инструментальная панель могут быть использованы для создания, чтения и сохранения файлов проекта (*.KiCAD_pro).

Панель запуска утилит:



Дерево проекта



Кнопки команд основного меню:



Создать новый проект



Открыть существующий проект



Создать архив всего проекта (включая файлы схемы, библиотеки, печатной платы и т.д.)



Освежить вид дерева проекта для отображения последних изменений



Открыть папку проекта в файловом менеджере

2. Начало работы над проектом

Для создания нового проекта воспользуйтесь командой «Создать проект» из меню «Файл», кнопкой панели инструментов «Создать новый пустой проект» или комбинацией клавиш *Ctrl+N*.

Будет запрошено имя проекта. По умолчанию, создаётся каталог для проекта с таким же именем. Например, если указать имя проекта *MyProject*, *KiCAD* создаст каталог *MyProject* и файл проекта *MyProject/MyProject.KiCAD_pro* внутри.

Нажав «Редактор схем» в панели запуска утилит открывается редактор схем *Schematic Editor* (рис. 6.).

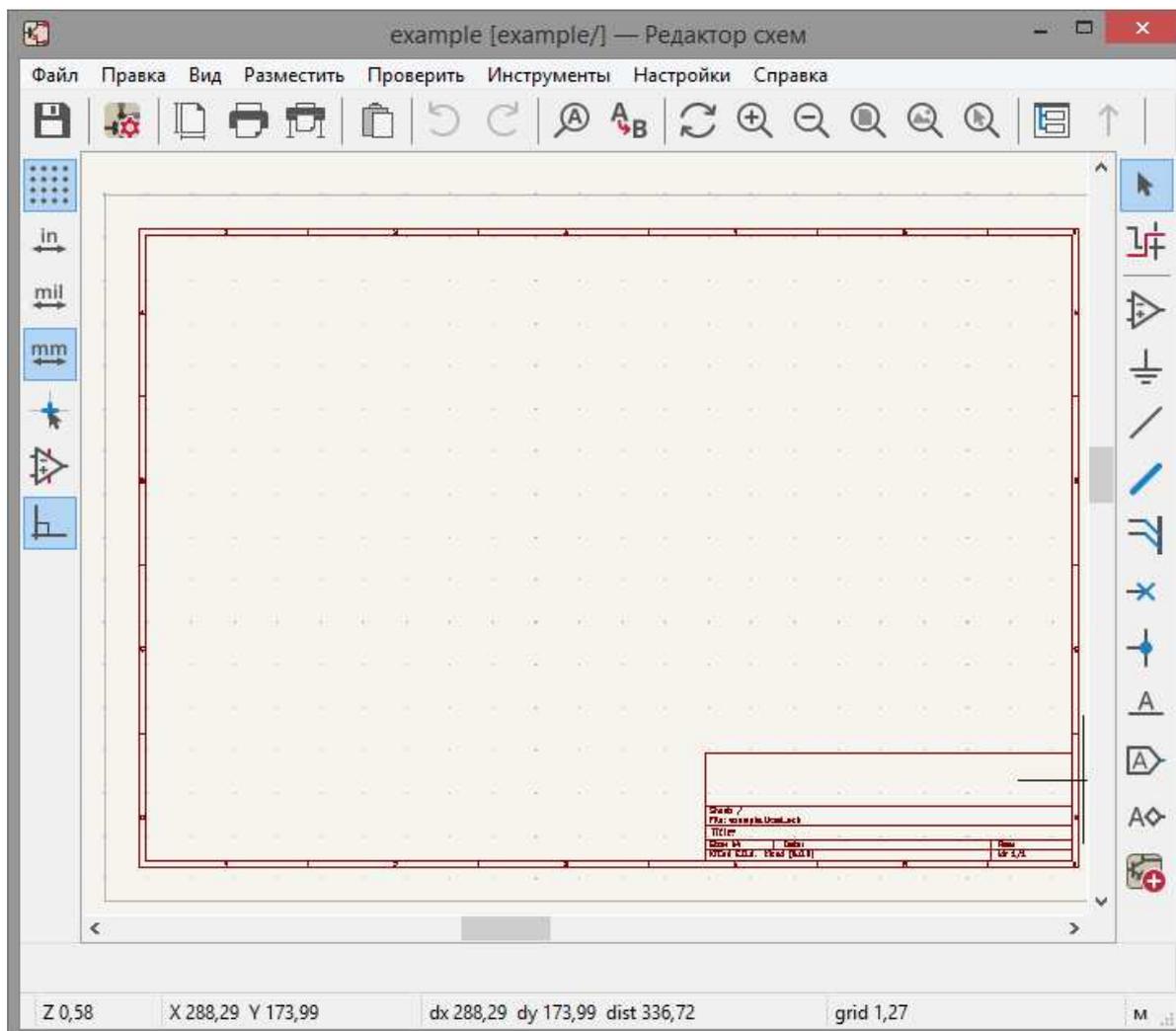


Рис. 6. Редактор схем *KiCAD - Schematic Editor*

Schematic Editor- это графический редактор для разработки принципиальных электрических схем, входящий в состав системы автоматизированного проектирования печатных плат *KiCAD* для операционных систем типа *Linux* и *Windows*. Независимо от используемой операционной системы создаваемые файлы схем полностью совместимы.

Schematic Editor- интегрированная программа: из нее вызываются все функции управления, обслуживания библиотек, рисования и компоновки схемы и перехода к разработке печатной платы. Она допускает иерархическую разработку многостраничных схем.

Schematic Editor работает совместно с графическим редактором проектов печатных плат и трассировки проводников *PCBNEW*, для которого она предоставляет файл *netlist*, описывающий электрические соединения для разработки печатной платы.

Schematic Editor также включает редактор изображений компонент (символов элементов схем) *LibEdit*, который позволяет создавать, редактировать и просматривать компоненты, и поддерживать библиотеки символов (операции импорта, экспорта, добавления и удаления компонент библиотеки).

- Проверку электрических правил проектирования для выявления ошибок и упущений.
- Автоматическое создание спецификации материалов.
- Формировать список цепей для приложений симуляции работы электрических схем, таких как *SPICE*.
- Определение схемы для переноса на макет печатной платы.

Схема, в основном, состоит из компонентов, проводников, мостов, соединений, шин и символов питания. Помимо этого, можно размещать и графические элементы, такие как выводы соединения с шиной, текстовые комментарии и графические линии.

Операции с мышью и выбор. Выбор элементов на холсте редактирования осуществляется с помощью левой кнопки мыши. Щелчок по объекту одним щелчком мыши выделит его, а перетаскивание приведет к выделению поля. При выборе поля слева направо будут выбраны только те элементы, которые полностью находятся внутри поля. При выборе поля справа налево будут выбраны все элементы, которые соприкасаются с полем. Поле выбора слева направо рисуется желтым цветом с курсором, указывающим на исключительный выбор, а поле выбора справа налево рисуется синим цветом с курсором, указывающим на инклюзивный выбор.

Действие выбора можно изменить, удерживая клавиши-модификаторы при щелчке или перетаскивании. Следующие клавиши-модификаторы применяются при щелчке для выбора отдельных элементов (таблица 2).

Таблица 2. Сочетания клавиш мыши и клавиатуры

Клавиши-модификаторы			Действие
для <i>Windows</i>	для <i>Linux</i>	для <i>macOS</i>	Эффект выбора
<i>Shift</i>	<i>Shift</i>	<i>Shift</i>	Добавить элемент в существующую выборку.
<i>Ctrl+Shift</i>	<i>Ctrl+Shift</i>	<i>Cmd+Shift</i>	Удалить элемент из существующего выбора.
<i>long click</i>	<i>long click</i> <i>or Alt</i>	<i>long click</i> <i>or Option</i>	Уточнение выбора из всплывающего меню.
<i>Ctrl</i>	<i>Ctrl</i>	<i>Cmd</i>	Выделить сетку выбранного медного изделия.

Элементы управления левой панели инструментов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Элементы управления левой панели инструментов *Schematic Editor*

Кнопка	Опция
	Включает/ выключает отображение сетки. По умолчанию скрывание сетки отключает привязку сетки. Это поведение можно изменить в разделе «Параметры».
	Отображение/ввод координат и размеров в дюймах, милях или миллиметрах.
	Переключение между полноэкранным режимом и маленьким курсором редактирования (перекрестие).
	Включает / выключает отображение выводов компонентов.
	Переключение между свободным углом и горизонтальным/вертикальным размещением новых проводов, шин и графических линий.

«Горячие» клавиши редактора схем (являются независимыми от ситуации):

? – Help: это сообщение

F1 – увеличение изображения

F2 – уменьшение изображения

F3 – перерисовка экрана

F4 – центрирование изображения

Space – сброс локальных координат

Ctrl Z – откат

Ctrl Y – отмена отката

F5 – следующий поиск

Delete – удаление элемента

Insert – повторение последнего элемента

Tab – перевод блока перемещения в drag-блок

M – переместить компонент

A – добавить компонент

R – вращать компонент или наименование

X – зеркально отобразить компонент относительно оси X

Y – зеркально отобразить компонент относительно оси Y

N – нормальная (нулевая) ориентация компонента

V – редактировать значение компонента

F – редактировать посадочное место компонента

W – начать проводник

Операции редактирования схемы (Таблица 4). Инструменты редактирования схем расположены на правой панели инструментов. Когда инструмент активирован, он остается активным до тех пор, пока не будет выбран другой инструмент или инструмент не будет отменен с помощью клавиши «Esc». Инструмент выделения всегда активируется при отмене любого другого инструмента.

Таблица 4. Инструменты правого вертикального меню

Кнопка	Опция
	Инструмент выбора.
	Выделите сеть, пометив ее провода и этикетки с сетками другим цветом. Если редактор печатных плат также открыт, то медь, соответствующая выбранной сети, также будет выделена.
	Отобразить диалоговое окно выбора символа, чтобы поместить новый символ.

	Отобразить диалоговое окно выбора символа питания, чтобы поместить новый символ питания.
	Разместить проводник.
	Разместить шину.
	Разместить точки входа провода в шину. Эти элементы являются только графическими и не создают соединения, поэтому их не следует использовать для соединения проводов вместе
	Установить флажок "Нет подключения". Эти флажки должны быть размещены на выводах символов, которые не должны быть подсоединены. Флаги "Нет подключения" указывают программе проверки электрических правил на то, что вывод намеренно не подключен, а не является ошибкой.
	Разместить точку соединения. Это соединяет два пересекающихся провода или провод и штифт, которые иногда могут быть неоднозначными без соединения (т.е. если конец провода или штифт непосредственно не соединены с другим концом провода).
	Разместить локальную метку. Локальные метки соединяют элементы, расположенные на одном листе. Для соединений между двумя разными листами используйте глобальные или иерархические метки.
	Разместить глобальную метку. Все глобальные метки с одинаковым именем связаны, даже если они расположены на разных листах.
	Разместить иерархическую метку. Иерархические метки используются для создания связи между вложенной таблицей и родительским листом листа.
	Разместить иерархический вложенный лист. Вы должны указать имя файла для этого вложенного листа.
	Импортировать иерархическую распиновку из вложенного листа. Эта команда может быть выполнена только на иерархических вложенных листах. Он создаст иерархические контакты, соответствующие иерархическим меткам, размещенным на целевом вложенном листе.
	Рисовать линии. Относится к графическим объектам, не является аналогом проводникам или шинам.
	Разместить текстовый комментарий.
	Разместить изображение.
	Удалить выбираемые элементы.

Выбор и размещение условных графических обозначений электро- радиоэлементов. Чтобы загрузить символ в свою схему, вы можете использовать значок нового символа . Диалоговое окно позволяет ввести имя загружаемого символа (рис. 7).

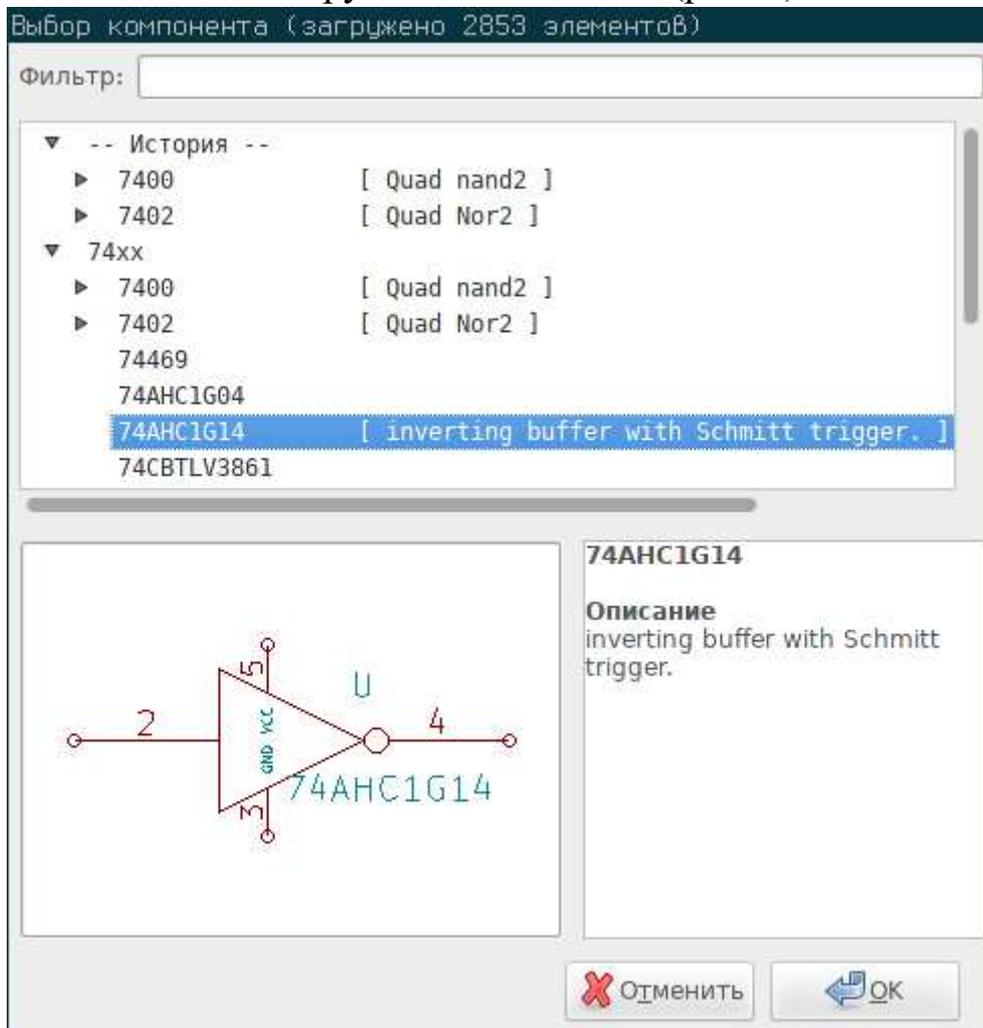


Рис. 7. Диалоговое окно выбора элемента

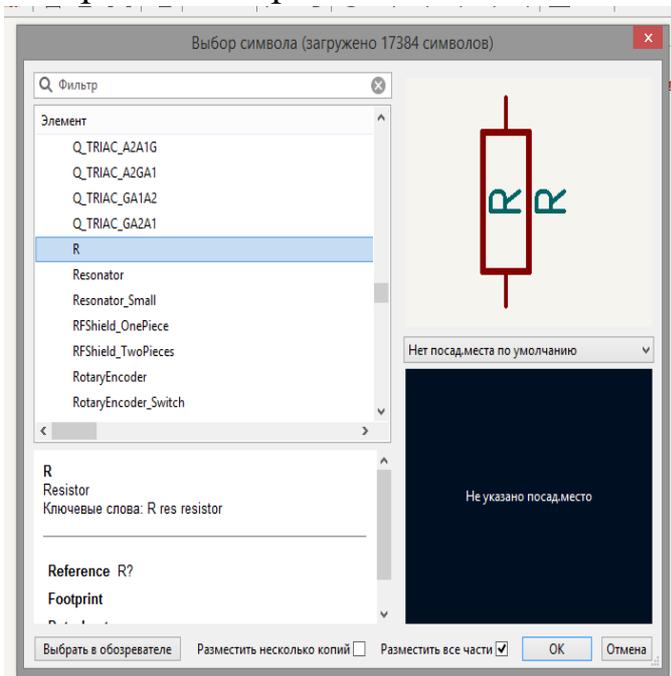
Если для условного графического обозначения элемента имеется соответствующий рисунок контактной площадки по умолчанию, то он будет отображаться в правом нижнем углу. Если для УГО доступно несколько вариантов контактных площадок, то нужную можно выбрать в раскрывающемся меню справа.

После выбора символа для размещения он будет прикреплен к курсору. Щелчок левой кнопкой мыши по нужному месту на схеме помещает символ в схему. Перед размещением символа на схеме вы можете повернуть его, отразить и отредактировать его поля с помощью

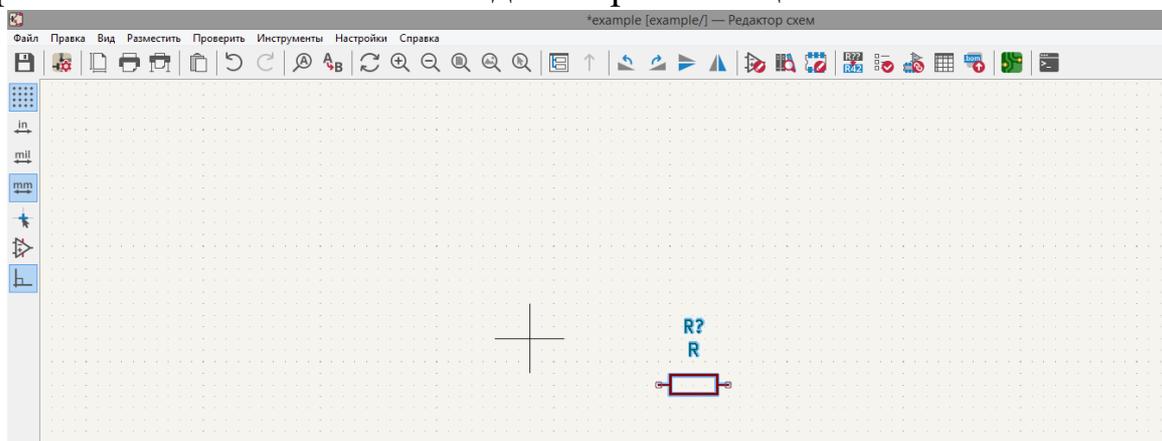
горячих клавиш или контекстного меню, вызываемого правой кнопкой мыши. Эти действия также могут быть выполнены после размещения.

3. Создание схемы электрической принципиальной

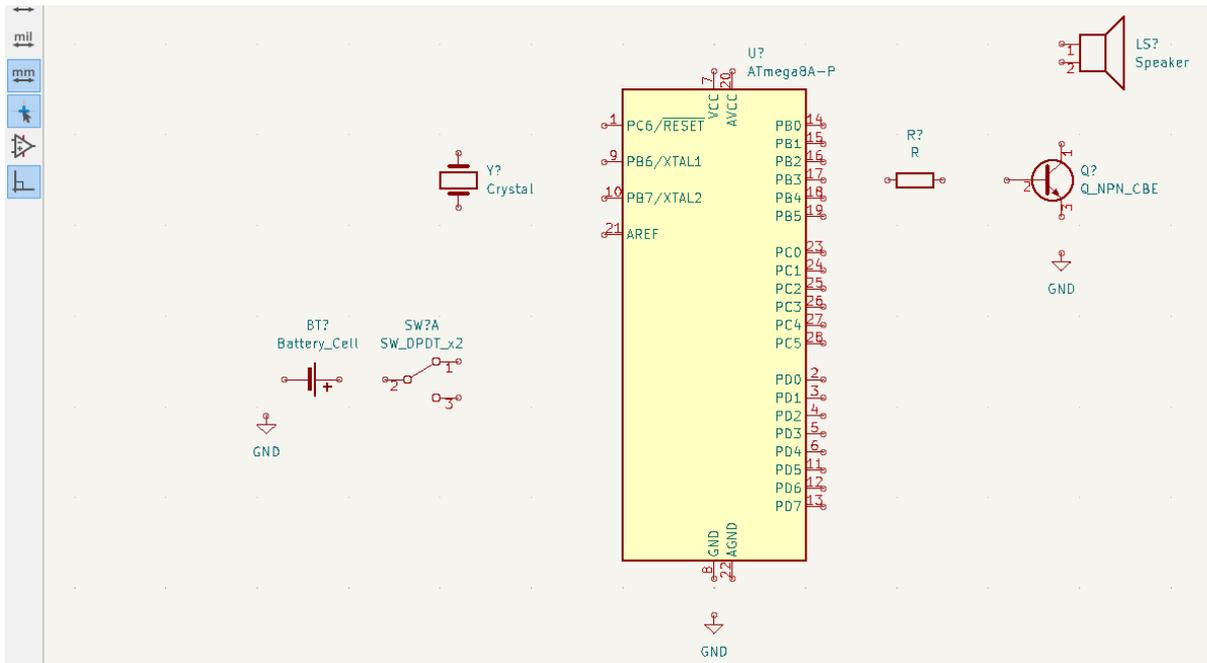
В редакторе схем *Schematic Editor* в правом вертикальном меню нажать значок  и в открывшемся диалоговом окне выбрать нужный компонент, например, резистор (см. схему рис.5). Обычно в САПР печатных плат УГО самых распространенных элементов находятся в библиотеке под названием «*Device*».



Размещаем элемент на рабочем поле, при необходимости разворачиваем его как нам необходимо при помощи клавиши R.

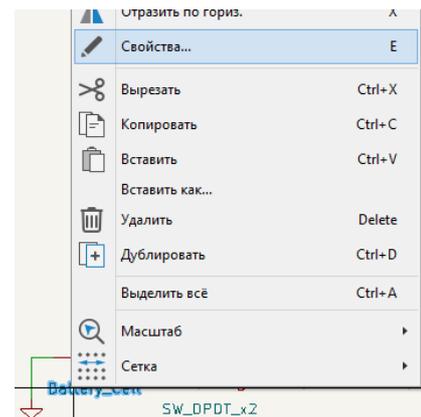


Аналогичным образом располагаем в рабочей области остальные элементы схемы электрической принципиальной.

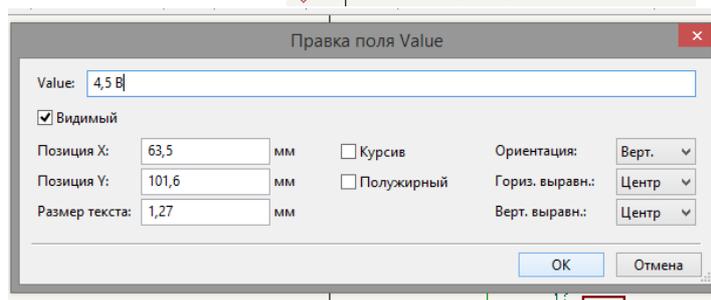


Затем при помощи инструмента  «Разместить проводник» соединяем элементы согласно схеме.

Редактируем свойства компонентов. Для этого на редактируемом тексте щелкаем правой кнопкой мыши и выбираем пункт выпадающего меню «Свойства».



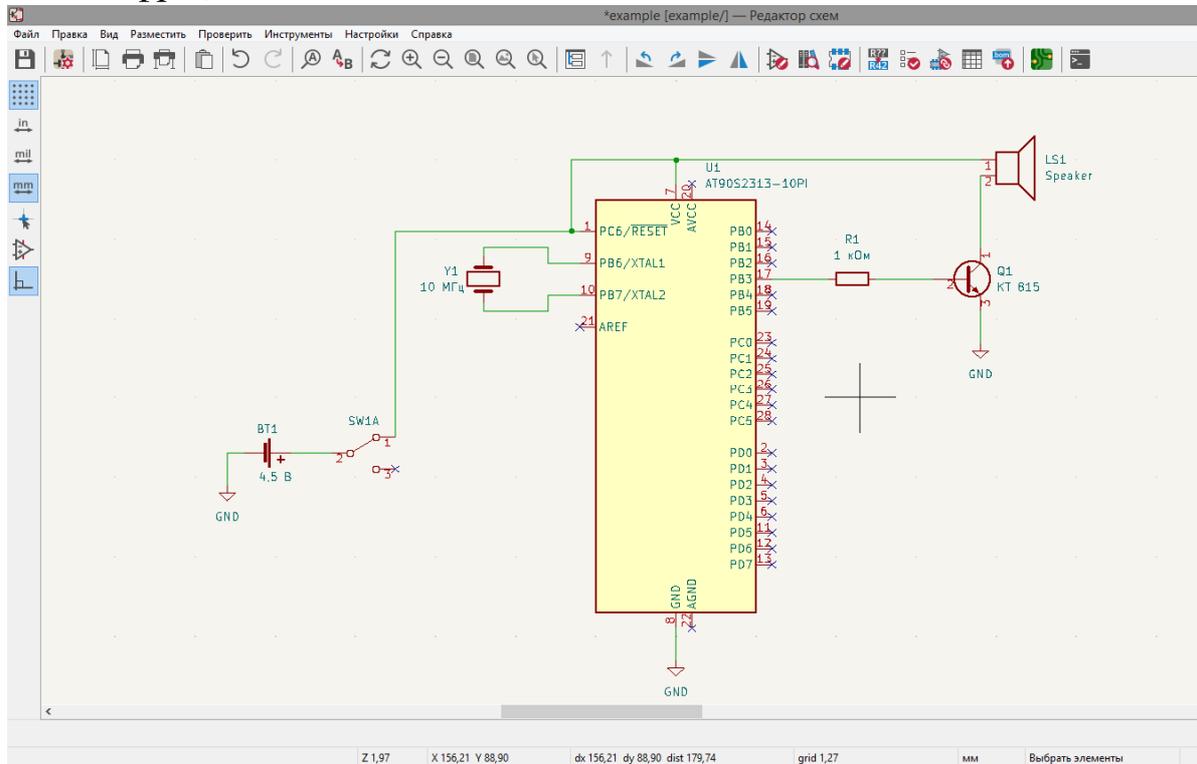
В появившемся окне пишем необходимый текст. Аналогичные действия выполняем в отношении остальных элементов схемы.



Не используемые выводы обозначаем при помощи соответствующего инструмента .

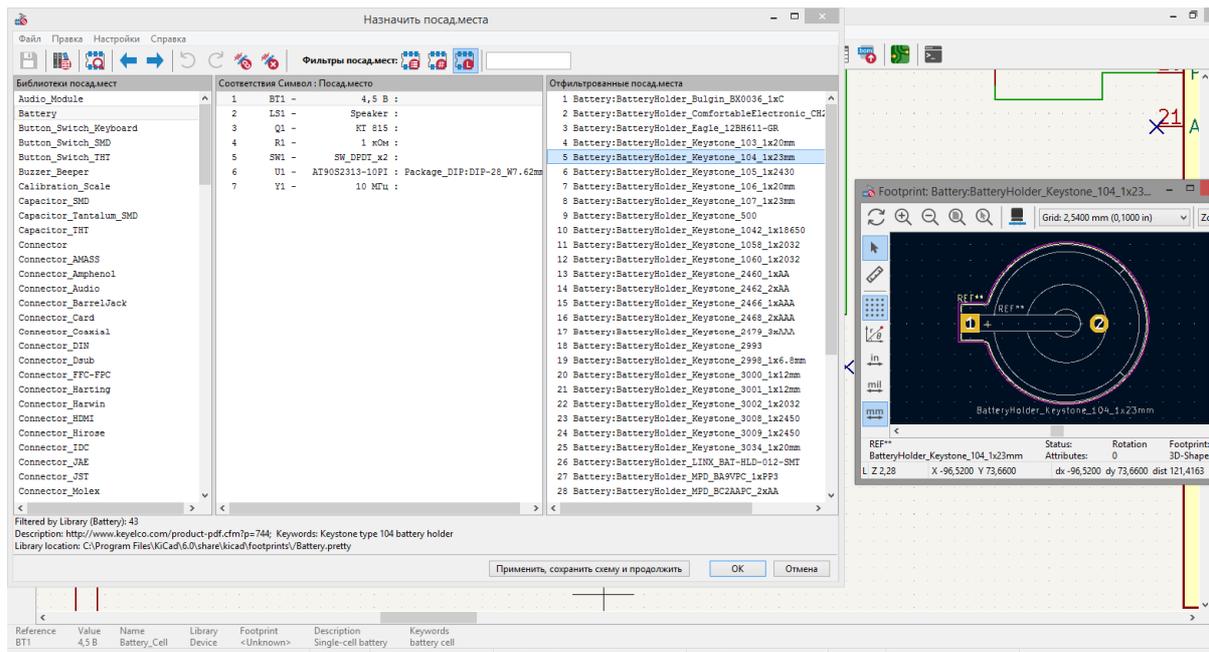
Нажимаем кнопку  «Заполнить обозначения символов схемы» в горизонтальном меню и автоматически в выбранном

направлении компоненты схемы получают порядковые номера (вместо знаков ? возле условных обозначений появляются соответствующие цифры).



Теперь можно выполнить проверку электрических правил (кнопка ). При наличии ошибок – исправить.

Затем нажатием кнопки  запускаем инструмент назначения посадочных мест для того, чтобы связать условные графические обозначения компонентов схемы электрической принципиальной с реальными посадочными местами компонентов. Рисунок посадочного места соответствует реальному виду компонента (виду сверху). Он имеет размеры реального компонента, реальную распиновку, расстояния между выводами, тип контактных площадок и т.д. Так как посадочные места – это фактически образ реальных компонентов на изображении печатной платы в программе, то следует серьезно относиться к процедуре выбора посадочных мест. Оптимальным вариантом решения данного вопроса будет сравнение параметров предлагаемых программой посадочных мест с техническим описанием компонентов проектируемого устройства. При необходимости можно доработать существующее посадочное место или создать его в соответствующей подпрограмме САПР *KiCAD*.



По окончании нажать кнопку «Применить, сохранить схему и продолжить». Схема электрическая принципиальная создана, можно переходить к процессу проектирования печатной платы устройства.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении редактора EESchema.
2. Перечислите функции редактора.
3. Расскажите о назначении элементов головного меню.
4. Расскажите о назначении элементов инструментального меню.
5. Назначение редактора библиотек и компонентов.
6. Для чего необходимо задавать значения выводов компонентов?
7. Для чего создается список соединений?

Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Задание: на основании спроектированной схемы электрической принципиальной разработать печатную плату устройства. В том числе: определить конфигурацию и контуры печатной платы, разместить электронные компоненты, выполнить трассировку проводников.

Общие сведения.

Основные термины и определения.

Согласно ГОСТ Р 53386-2009 «Платы печатные. Термины и определения» Печатная плата (ПП) – это изделие, состоящее из одного или двух проводящих рисунков, расположенных на поверхности основания, или из системы проводящих рисунков, расположенных в объеме и на поверхности основания, соединенных между собой в соответствии с электрической схемой печатного узла, предназначенное для электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нем изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий [5].

Базовыми элементами печатной платы являются: основание ПП, рисунок ПП, проводящий рисунок ПП, не проводящий рисунок ПП.

«Основание печатной платы – это элемент конструкции ПП, на поверхности и (или) в объеме которого размещается система проводящих рисунков печатной платы.

Рисунок печатной платы – это конфигурация, образованная проводниковым и (или) диэлектрическим материалом на печатной плате.

Проводящий рисунок печатной платы – это рисунок печатной платы, образованный проводниковым материалом на основании или в объеме.

Не проводящий рисунок печатной платы - рисунок печатной платы, образованный диэлектрическим материалом основания печатной платы. Проводящий рисунок состоит из печатных проводников, контактных площадок, экранов, металлизированных отверстий, теплоотводящих и других печатных компонентов» [5].

Чаще всего печатные платы могут быть односторонними (проводящий рисунок выполнен на одной стороне основания), двусторонними (проводящий рисунок выполнен на обеих сторонах основания),

многослойными (печатная плата состоит из чередующихся проводящих и непроводящих рисунков, соединенных в соответствии с электрической схемой печатного узла). Реже применяются двухуровневые, рельефные, гибкие, объединительные и печатные платы с металлическим сердечником.

Ввиду того, что интерфейс большинства САПР печатных плат изначально выполняется на английском языке, следует привести соответствие названий типов печатных плат на русском и английском языках (таблица 5).

Таблица 5. Термины и определения в области печатных плат на русском и английском языке

Термин на русском языке (согласно ГОСТ Р 53386-2009)	Термин на английском языке
печатная плата; ПП	<i>printed board; printed circuit board</i>
основание печатной платы	<i>substrate</i>
рисунок печатной платы	<i>pattern</i>
проводящий рисунок печатной платы	<i>conductive pattern</i>
непроводящий рисунок печатной платы	<i>non-conductive pattern</i>
односторонняя печатная плата	<i>single-sided printed board</i>
двусторонняя печатная плата	<i>double-sided printed board</i>
многослойная печатная плата	<i>multilayer printed board</i>
печатный проводник	<i>conductor</i>
печатный контакт	<i>printed contact</i>
печатный компонент	<i>printed component</i>
проводящий слой печатной платы	<i>conductor layer</i>
внутренний слой печатной платы	<i>inner layer</i>
внешний слой печатной платы	<i>exteriority connection</i>
контактная площадка печатной платы	<i>land</i>
концевой печатный контакт	<i>edge board contact</i>
металлизированное отверстие печатной платы	<i>plated hole</i>
сквозное металлизированное отверстие печатной платы	<i>plated-through hole</i>
глухое металлизированное отверстие печатной платы	<i>blind via</i>
неметаллизированное отверстие печатной платы	<i>non-plated through hole</i>
монтажное отверстие печатной платы	<i>component hole</i>

переходное отверстие печатной платы	<i>crossing hole</i>
внутреннее соединение проводящих рисунков	<i>buried via</i>
крепежное отверстие печатной платы	<i>mounting hole</i>
сторона монтажа печатной платы	<i>component side</i>
межслойное соединение печатной платы	<i>interlayer connection</i>
координатная сетка чертежа печатной платы	<i>grid</i>
шаг координатной сетки печатной платы	<i>pitch</i>
класс точности печатной платы	<i>accuracy</i>
ширина печатного проводника печатной платы	<i>conductor width</i>
шаг печатных проводников печатной платы	<i>conductor size</i>
расстояние между печатными проводниками печатной платы	<i>conductor spacing</i>
толщина печатного проводника	<i>conductor thickness</i>
шина печатной платы	<i>bus</i>
ключ печатной платы	<i>key</i>
ориентирующий знак печатной платы	<i>registration mark</i>
ориентирующий паз печатной платы	<i>polarizing slot</i>
маркировка печатной платы	<i>legend</i>

На печатных платах располагаются следующие элементы конструкции:

- печатные проводники (полоски в проводящем рисунке печатной платы);
- печатные контакты (часть проводящего рисунка печатной платы, представляющая собой часть электрического контакта);
- печатные компоненты (электронные компоненты, являющиеся частью проводящего и непроводящего рисунков печатной платы – резисторы, конденсаторы и т.п.);
- контактные площадки (часть проводящего рисунка печатной платы, используемая для электрического подсоединения устанавливаемых изделий);

- монтажные отверстия (отверстие, предназначенное для электрического подсоединения к проводящему рисунку печатной платы выводов компонентов);
- переходные отверстия (металлизированное отверстие печатной платы, предназначенное для электрического соединения проводящих рисунков печатной платы, находящихся на разных проводящих слоях печатной платы).

Параметры и размеры печатных плат.

При проектировании ПП следует иметь в виду, что размеры сторон печатной платы должны быть согласованы с размерами корпусов приборов или несущих конструкций, для которых они предназначены. Кроме того размеры сторон печатной платы, предельные отклонения размеров, перпендикулярность сторон, отклонение толщин и другие параметры должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации (ТЗ или ГОСТ). Требования ГОСТ Р 53429-2009 к основным параметрам и размерам при проектировании печатных плат приведены в таблице [6].

Таблица 6. Основные параметры и размеры при проектировании печатных плат

Параметр	Требования ГОСТ Р 53429-2009
Размеры сторон печатной платы.	Размеры каждой из сторон печатной платы должны быть кратными: <ul style="list-style-type: none"> • 2,5 мм - при длине до 100 мм; • 5,0 мм - при длине до 350 мм; • 10,0 мм - при длине более 350 мм.
Предельные отклонения сопрягаемых размеров.	Не более 12-го качества по ГОСТ 25347.
Предельные отклонения несопрягаемых размеров контура печатной платы.	Не более 14-го качества по ГОСТ 25347.
Отклонение от перпендикулярности сторон прямоугольной печатной.	Не более 0,2 мм на 100 мм длины.
Толщина многослойной печатной платы $H_{п}$, мм	$H_{п} = \sum H_c + (0,75 \dots 0,95) \sum H_{пр}$ <p>где: H_c - толщина слоя МПП, мм; $H_{пр}$ - толщина прокладки с пропиткой, мм.</p>

<p>Предельные отклонения толщины многослойной печатной платы.</p>	<p>Не более:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\pm 0,2$ мм - для МПП толщиной до 1,5 мм; • $\pm 0,3$ мм - для МПП толщиной свыше 1,5 до 3,0 мм; • $\pm 0,5$ мм - для МПП толщиной свыше 3,0 до 4,5 мм; • $\pm 0,65$ мм - для МПП толщиной свыше 4,5 мм. 		
<p>Основной шаг координатной сетки.</p>	<p>По ГОСТ Р 51040-97[7]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,05 мм с предпочтительным шагом (0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25); • 0,50 мм с предпочтительным шагом (0,50; 1,00; 2,50; 3,00; 5,00). <p>По согласованию с заказчиком:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2,54 мм; • 0,635 мм. 		
<p>Диаметры монтажных, переходных металлизированных и неметаллизированных отверстий.</p>	<p>Должны быть выбраны из ряда: 0,05; 0,075; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 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 мм.</p>		
<p>Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий.</p>	<p>Согласно п. 5.3.4 ГОСТ Р 53429-2009</p>		
<p>Номинальные размеры сквозных отверстий под крепежные детали.</p>	<p>По ГОСТ 11284.</p>		
<p>Номинальные размеры элементов проводящего рисунка печатных плат, в мм.</p>	<p>Ширина проводника</p>	<p>Расстояние между проводниками</p>	<p>Гарантийный поясок контактной площадки</p>
1 класс точности			
0,75		0,75	0,30
2 класс точности			
0,45		0,45	0,20
3 класс точности			
0,25		0,25	0,10
4 класс точности			
0,15		0,15	0,05
5 класс точности			
0,10		0,10	0,025
6 класс точности			

	0,075	0,075	0,020
	7 класс точности		
	0,050	0,050	0,015
Наименьший номинальный размер контактной площадки D , мм	$D = (d + \Delta d_{в.о}) + 2b + \Delta t_{в.о} + 2\Delta d_{тр} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{н.о}^2)^{1/2}$ <p>Где:</p> <p>d - диаметр отверстия, мм;</p> <p>$\Delta d_{в.о}$ - верхнее предельное отклонение диаметра отверстия, мм;</p> <p>$\Delta d_{тр}$ - значение подтравливания диэлектрика в отверстии, равное 0,03 мм для МПП и нулю для ОПП и ДПП;</p> <p>b - гарантийный поясок контактной площадки, мм;</p> <p>$\Delta t_{в.о}$ - верхнее предельное отклонение диаметра контактной площадки, мм;</p> <p>$\Delta t_{н.о}$ - нижнее предельное отклонение диаметра контактной площадки, мм;</p> <p>TD - позиционный допуск расположения контактной площадки, мм.</p> <p>T_d - позиционный допуск расположения отверстия, мм.</p>		

Выполнение работы.

Создание и редактирование печатных плат в САПР KiCAD осуществляется в редакторе печатных плат PCBnew. Рекомендуется создавать печатную плату из схемы, созданной в Schematic Editor, но также возможно создание и редактирование печатной платы без схемы.

1. Интерфейс редактора *PCBnew*

Перед тем как приступить непосредственно к созданию платы необходимо ознакомиться с интерфейсом редактора *PCBnew*. Внешний вид интерфейса *PCBnew* представлен на рис.8.

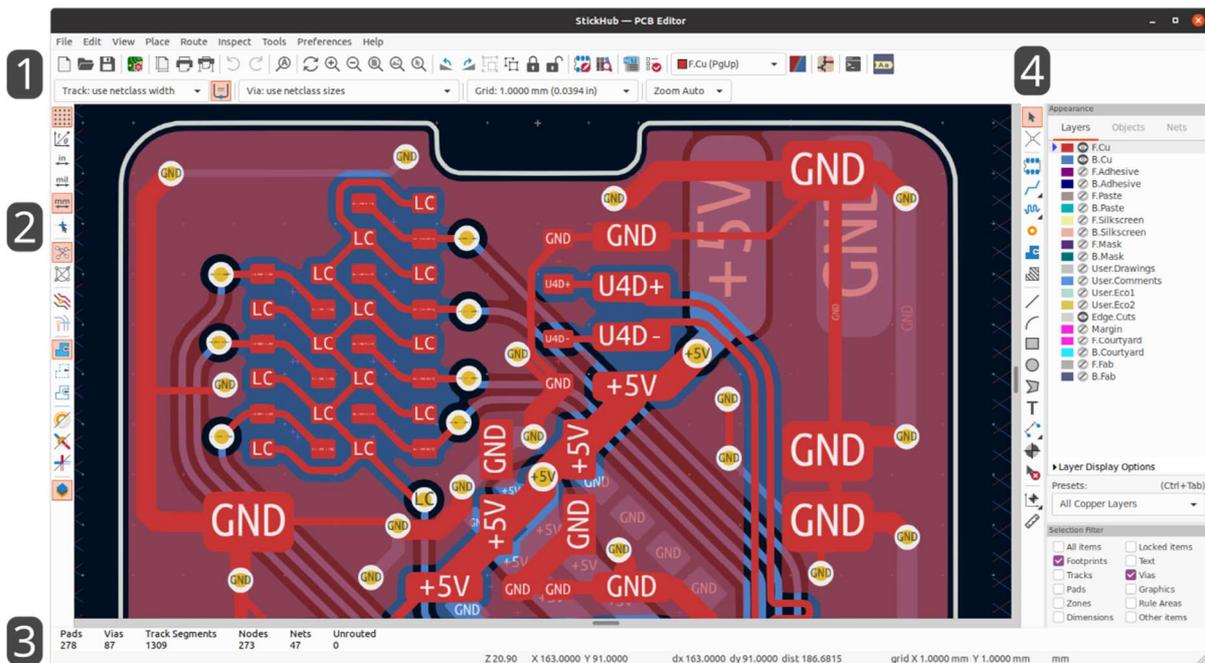


Рис. 8. Основной пользовательский интерфейс *Pcbnew*

Номерами от 1 до 6 обозначены панели инструментов:

- верхние панели инструментов (управление файлами, инструменты масштабирования, инструменты редактирования);
- левая панель инструментов (параметры отображения);
- панель сообщений и строка состояния;
- правая панель инструментов (инструменты рисования и дизайна);
- панель внешнего вида;
- панель фильтра выбора.

Холст редактирования — это вид на проектируемую доску. Вы можете панорамировать и масштабировать различные области доски, а также переворачивать вид, чтобы показать доску снизу. По умолчанию перетаскивание средней или правой кнопкой мыши приводит к панорамированию вида холста, а прокрутка колесика мыши увеличивает или уменьшает масштаб вида.

Текущее положение курсора отображается в нижней части окна (X и Y), вместе с текущим коэффициентом масштабирования (Z), относительным положением курсора (dx , dy и $dist$), настройками сетки и единицами отображения.

Относительные координаты можно обнулить, нажав «Пробел». Это полезно для измерения расстояния между двумя точками или выравнивания объектов.

Слои в *Pcbnew* представляют собой физические медные слои на плате, а также графические слои, используемые для определения таких вещей, как шелкография, паяльная маска и края платы. В редакторе всегда активен один слой. Активный слой рисуется поверх других слоев и будет слоем, назначенным вновь созданным объектам. Активный слой указан в раскрывающемся списке выбора слоя на верхней панели инструментов, а также выделен на панели внешнего вида. Чтобы изменить активный слой, вы можете щелкнуть левой кнопкой мыши имя слоя на панели внешнего вида, использовать раскрывающийся селектор слоя на верхней панели инструментов или использовать горячую клавишу. Слои можно скрыть, чтобы упростить вид доски. Вы можете скрыть слой, даже если он является активным слоем.

Левая панель инструментов содержит клавиши для изменения отображения элементов в *Pcbnew* (табл. 7).

Таблица 7. Элементы управления отображением на левой панели инструментов

Кнопка	Опция
	Включает/выключает отображение сетки. Примечание. По умолчанию скрытие сетки отключает привязку к сетке. Это поведение можно изменить в разделе «Параметры отображения» в настройках.
	Переключение между отображением полярных и декартовых координат в строке состояния.
	Отображение/ввод координат и размеров в дюймах, милах или миллиметрах.
	Переключение между полноэкранным и маленьким курсором редактирования (перекрестие).
	Включает/выключает отображение ratsnest.
	Переключение между прямыми и изогнутыми линиями крыльчатки.

	<p>Переключает режим отображения неактивного слоя между Обычный и Тусклый.</p> <p>Примечание: эта кнопка будет подсвечена, если режим отображения неактивного слоя — «Тусклый» или «Скрыть». В обоих случаях нажатие кнопки изменит режим отображения слоя на обычный. Доступ к режиму «Скрыть» можно получить только с помощью элементов управления на панели «Внешний вид» или с помощью горячей клавиши <i>Ctrl+H</i>.</p>
	<p>Когда сеть выбрана для выделения, включает или выключает выделение.</p> <p>Примечание: эта кнопка будет отключена, если ни одна цепь не выделена. Чтобы выделить сеть, используйте горячую клавишу ` , щелкните правой кнопкой мыши любой медный объект в сети и выберите «Выделить сеть» в меню «Инструменты сети» или щелкните правой кнопкой мыши сеть в списке на вкладке «Сети» панели «Внешний вид».</p>
	<p>Показать заполненные зоны.</p>
	<p>Показывать только контуры зон.</p>
	<p>Отображение закрашенных зон в виде контуров.</p>
	<p>Переключает отображение контактных площадок между заполненным режимом и режимом контура.</p>
	<p>Переключает отображение переходных отверстий между заполненным режимом и режимом контура.</p>
	<p>Переключает отображение дорожек между заполненным и контурным режимами.</p>
	<p>Отображает или скрывает панели «Внешний вид» и «Фильтр выбора» в правой части редактора.</p>

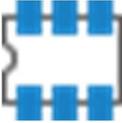
Инструменты размещения и рисования (таблица 8) расположены на правой панели инструментов. Когда инструмент активирован, он остается активным до тех пор, пока не будет выбран другой инстру-

мент или инструмент не будет отменен с помощью клавиши «Esc». Инструмент выбора всегда активируется при отмене любого другого инструмента.

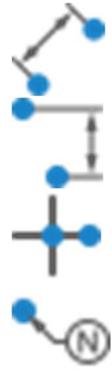
Некоторые кнопки панели инструментов имеют более одного инструмента, доступного в палитре. Эти инструменты обозначены маленькой стрелкой в правом нижнем углу кнопки: .

Чтобы отобразить палитру, вы можете щелкнуть и удерживать кнопку мыши на инструменте или щелкнуть и перетащить мышью. Палитра будет отображать последний использованный инструмент, когда она закрыта.

Таблица 8. Инструменты размещения и рисования редактора PCBnew

Кнопка	Опция
	Инструмент выделения (инструмент по умолчанию).
	Инструмент <i>Local ratsnest</i> : когда <i>ratsnest</i> платы скрыт, выбор посадочных мест с помощью этого инструмента покажет <i>ratsnest</i> только для выбранного посадочного места. Повторный выбор того же посадочного места скроет его крысиное гнездо. Локальная настройка <i>ratsnest</i> для каждого посадочного места останется в силе даже после того, как локальный <i>ratsnest</i> перестанет быть активным.
	Инструмент размещения посадочного места: нажмите на доску, чтобы открыть окно выбора посадочного места, затем нажмите еще раз после выбора посадочного места, чтобы подтвердить его местоположение.
	Пути маршрута / дифференциальные пары маршрута: Эти инструменты активируют интерактивный маршрут и позволяют размещать треки и переходы. Интерактивный маршрутизатор более подробно описан в разделе «Дорожки маршрутизации» ниже.
	Настройка длины: Эти инструменты позволяют настраивать длину отдельных дорожек или длину или перекос дифференциальных пар после того, как они были разведены. Подробнее см. в разделе Маршрутизация дорожек.

	
	<p>Добавить переходы: позволяет размещать переходы без маршрутизации дорожек.</p> <p>Переходные отверстия, размещенные поверх дорожек с помощью этого инструмента, возьмут на себя цепь ближайшего сегмента дорожки и станут частью этой дорожки (цепь переходных отверстий будет обновлена, если будут обновлены контактные площадки, подключенные к дорожкам).</p> <p>Переходные отверстия, размещенные где-либо еще, будут присоединены к сети медной зоны в этом месте, если таковая существует. Эти переходные отверстия не будут автоматически принимать новую сеть, если сеть медной зоны будет изменена.</p>
	<p>Добавить заполненную зону: нажмите, чтобы установить начальную точку зоны, затем настройте ее свойства перед рисованием остальной части контура зоны. Свойства зоны более подробно описаны ниже.</p>
	<p>Добавить область правил: области правил, ранее известные как запретные зоны, могут ограничивать размещение элементов и заполнение зон, а также могут определять именованные области, к которым применяются определенные правила пользовательского дизайна.</p>
	<p>Рисовать линии.</p> <p>Примечание. Линии являются графическими объектами и не совпадают с дорожками, размещаемыми с помощью инструмента «Маршрутные дорожки». Графические объекты не могут быть назначены цепи.</p>
	<p>Рисование дуг: выберите центральную точку дуги, затем начальную и конечную точки.</p>
	<p>Рисовать прямоугольники. Прямоугольники могут быть заполнены или контуры.</p>
	<p>Рисовать круги. Круги могут быть заполнены или контуры.</p>

	<p>Рисовать графические многоугольники. Полигоны могут быть заполнены или очерчены. Примечание. Залитые графические полигоны — это не то же самое, что закрашенные зоны: графические полигоны не могут быть назначены сети и не сохраняют зазоры от других элементов.</p>
	<p>Добавить текст.</p>
	<p>Добавить размеры. Типы измерений более подробно описаны ниже.</p>
	<p>Добавить метку выравнивания слоя.</p>
	<p>Инструмент удаления: щелкните объекты, чтобы удалить их.</p>
	<p>Установить начальную точку сверления/размещения. Используется для производственных выходов.</p>
	<p>Установить начало сетки.</p>

2. Начало работы в *PCBnew*

Прежде чем приступить к проектированию платы, используйте диалоговое окно «*Board Setup*» для настройки основных параметров

платы. Чтобы открыть «*Board Setup*», щелкните значок  на верхней панели инструментов или выберите «*Board Setup...*» в меню «Файл».

Есть два раздела *Board Setup*, которые используются для настройки стека и слоев платы. Раздел «Слой редактора плат» используется для включения или отключения технических (не медных) слоев, а также для присвоения пользовательских имен слоям, если это необ-

ходимо. Раздел *Physical Stackup* используется для настройки количества медных слоев, а также физических параметров медных и диэлектрических слоев, таких как толщина и тип материала (рис. 9).

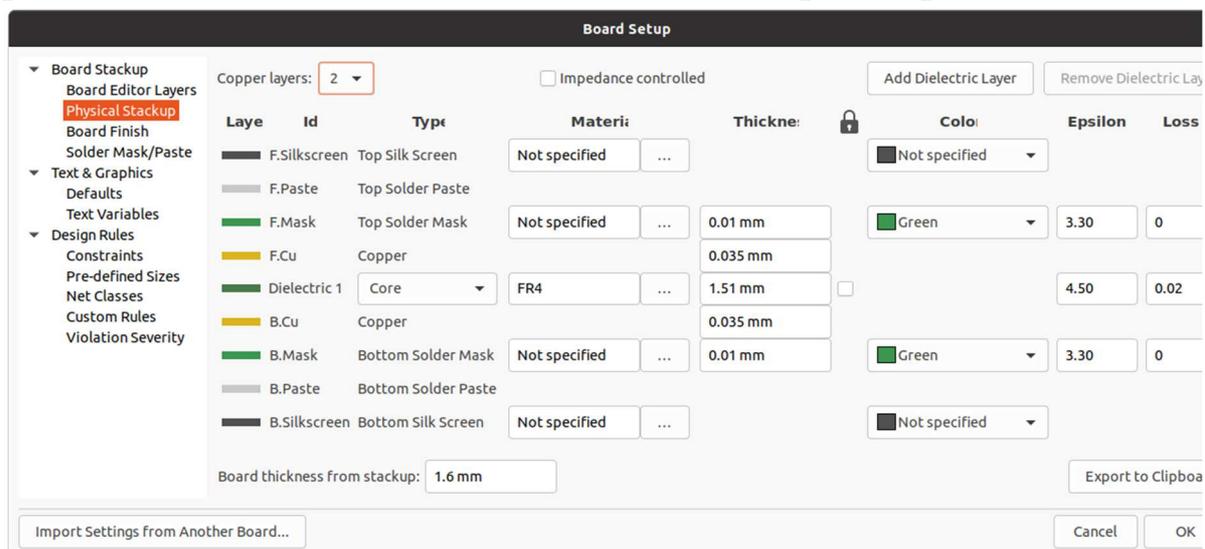


Рис. 9. Окно настройки параметров платы

Установите количество медных слоев «2» в верхнем левом углу, а затем при желании введите физические параметры медных слоев («*B.Cu*» толщина медного слоя, которая будет равна высоте проводника/дорожки печатной платы). Эти параметры можно оставить со значениями по умолчанию, но обратите внимание, что значение толщины платы (*Boardthickness*) будет использоваться при экспорте 3D-модели платы. Если вы планируете использовать эту функцию, рекомендуется убедиться, что толщина стека правильная. Далее, при желании, используйте раздел «*Layers Editor - Board Editor*» (рис.10), чтобы переименовать слои или скрыть немедные слои, которые вы не будете использовать в дизайне. Например, если вы не будете использовать заднюю шелкографию в дизайне, снимите флажок рядом со «*B.Silkscreen*»слоем.

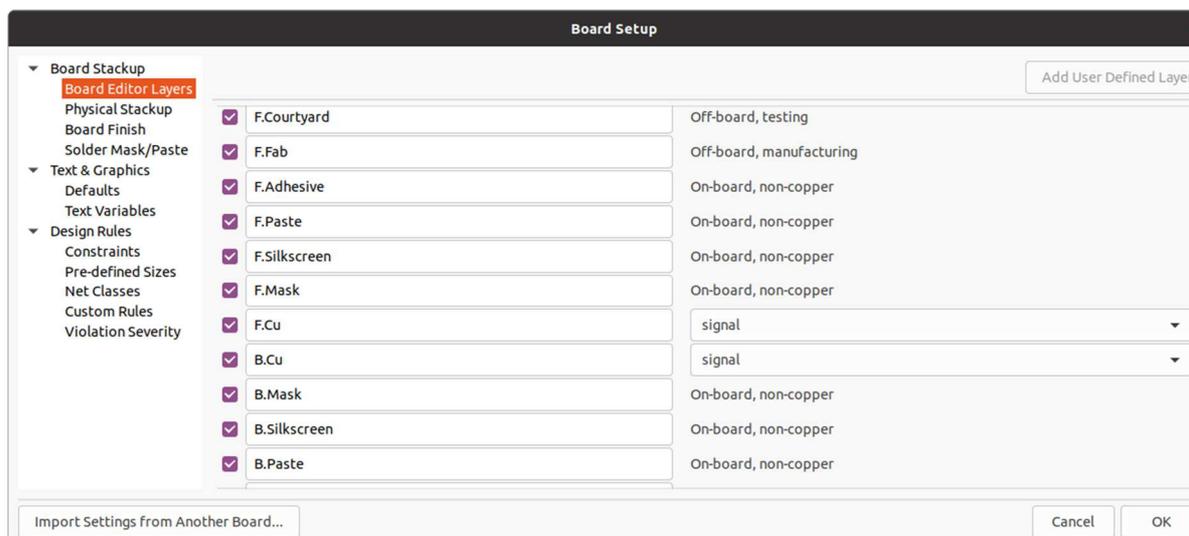


Рис.10. Окно настройки слоев платы.

Далее следует настроить правила проектирования, которые будут учитываться системой при размещении компонентов, дорожек, контактных площадок и т.п. Правила проектирования можно изменить в любое время, но рекомендуется установить все известные правила проектирования в начале процесса проектирования платы. Правила проектирования стоит устанавливать в соответствии с действующим стандартом на проектирование (ГОСТ) с учетом класса точности печатной платы, указанном в задании на курсовое проектирование. Основные правила проектирования настраиваются в разделе «*Constraints*» диалогового окна «*Board Setup*». Ограничения в этом разделе применяются ко всей плате и должны быть установлены на значения, рекомендованные производителем вашей платы. Любое установленное здесь минимальное значение является абсолютным минимумом и не может быть переопределено более конкретным правилом проектирования. Например, если вам нужно, чтобы зазор между медью на одной части платы был 0,2 мм, а на остальной части 0,3 мм, вы должны ввести 0,2 мм в качестве минимального зазора между медью в разделе «*Constraints*» и использовать класс цепей или пользовательское правило, чтобы установить большее значение (зазор 0,3мм). Внешний вид окна настроек правил проектирования приведен на рис.11.

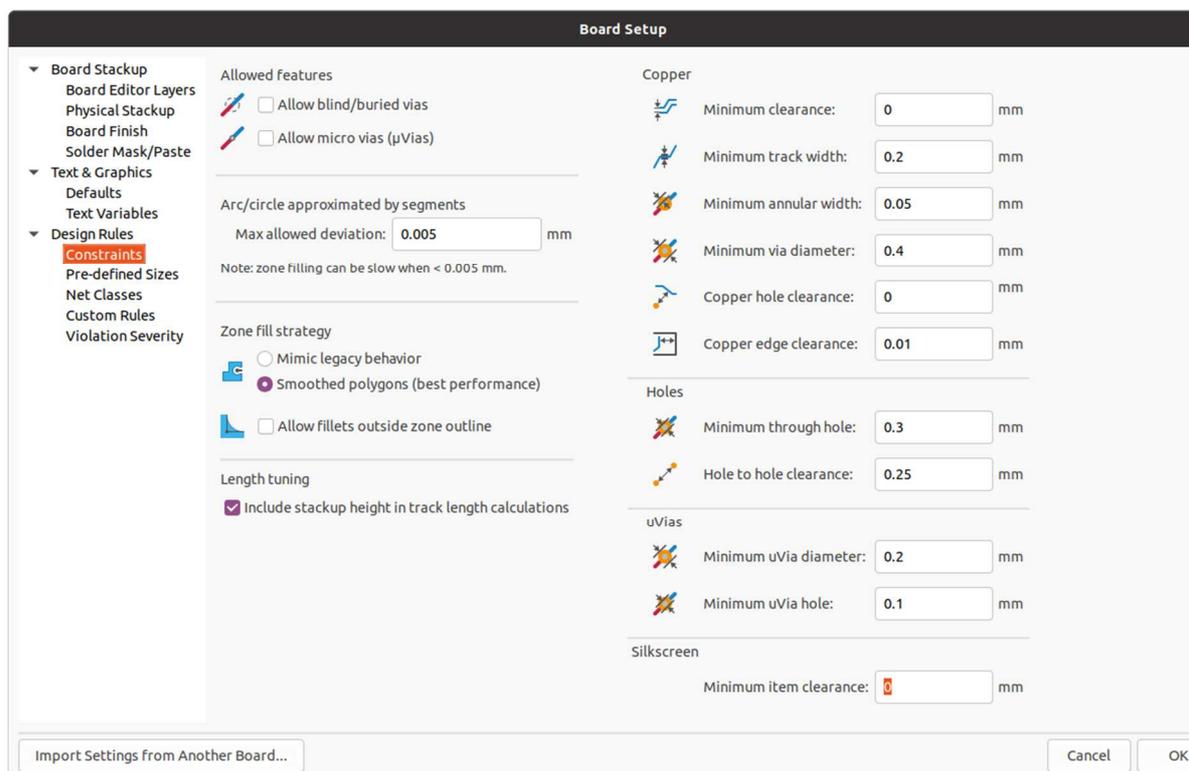


Рис.11. Окно настройки правил проектирования.

Помимо установки минимальных зазоров, здесь можно настроить ряд функций:

- Разрешить слепые/скрытые переходы. (Этот параметр должен быть включен, прежде чем вы сможете размещать глухие или скрытые переходные отверстия с помощью маршрутизатора. Глухие переходные отверстия представляют собой механически просверленные переходные отверстия, которые начинаются на одном из внешних медных слоев, но заканчиваются на одном из внутренних слоев. Скрытые переходные отверстия представляют собой механически просверленные переходные отверстия, которые начинаются и заканчиваются во внутренних медных слоях.).
- Разрешить микро переходы. (Этот параметр должен быть включен, прежде чем вы сможете размещать микроотверстия с помощью маршрутизатора. Микроотверстия обычно представляют собой отверстия, просверленные лазером, которые соединяют внешний медный слой с соседним внутренним слоем. *KiCAD* поддерживает отдельное ограничение размера для микроотверстий, поскольку они обычно

могут быть меньше, чем механически просверленные отверстия.).

- Дуга/окружность, аппроксимированная сегментами. (в некоторых ситуациях *KiCAD* должен использовать серию сегментов прямой линии для аппроксимации круглых форм, таких как дуги и окружности. Этот параметр управляет максимальной ошибкой, допускаемой этим приближением: другими словами, максимальным расстоянием между точкой на одном из этих сегментов линии и истинной формой дуги или окружности. Установка меньшего значения, чем значение по умолчанию 0,005 мм, приведет к более плавным формам, но может быть очень медленным на больших платах. Значение по умолчанию обычно приводит к ошибке аппроксимации дуги, которая не обнаруживается в изготовленной плате из-за производственных допусков).
- Стратегия заполнения зоны. (Алгоритм заполнения зоны *KiCAD* был улучшен, чтобы обеспечить лучшие результаты и более высокую производительность. Новый алгоритм дает несколько отличные результаты от старого алгоритма, поэтому этот параметр позволяет сохранить старое поведение, чтобы предотвратить создание разных выходных данных *Gerber* при открытии старого проекта в последней версии *KiCAD*. Мы рекомендуем использовать режим «*Smoothed Polygons*» для всех новых дизайнов.).
- Разрешить скругления вне контура зоны. (Зоны могут иметь скругления (закругленные углы), добавленные в диалоговом окне «Свойства зоны». По умолчанию никакая медь зоны, включая скругления, не допускается за пределами контура зоны. Фактически это означает, что внутренние углы контура зоны не будут скруглены, даже если скругление настроено. При включении этого параметра внутренние углы контура зоны будут скруглены, даже если это приведет к тому, что медь из зоны выйдет за пределы контура зоны.).
- Включить высоту штабеля в расчеты длины пути. (По умолчанию высота стека используется для расчета дополнительной длины дорожки, которая проходит через переходы от

одного слоя к другому. Этот расчет основан на правильной настройке высоты стопки плат. В некоторых ситуациях предпочтительнее игнорировать высоту переходных отверстий и просто вычислять длину дорожки, предполагая, что переходные отверстия не добавляют длины. При отключении этого параметра длина переходного отверстия будет исключена из расчетов длины дорожки.) [8].

3. Проектирование печатной платы

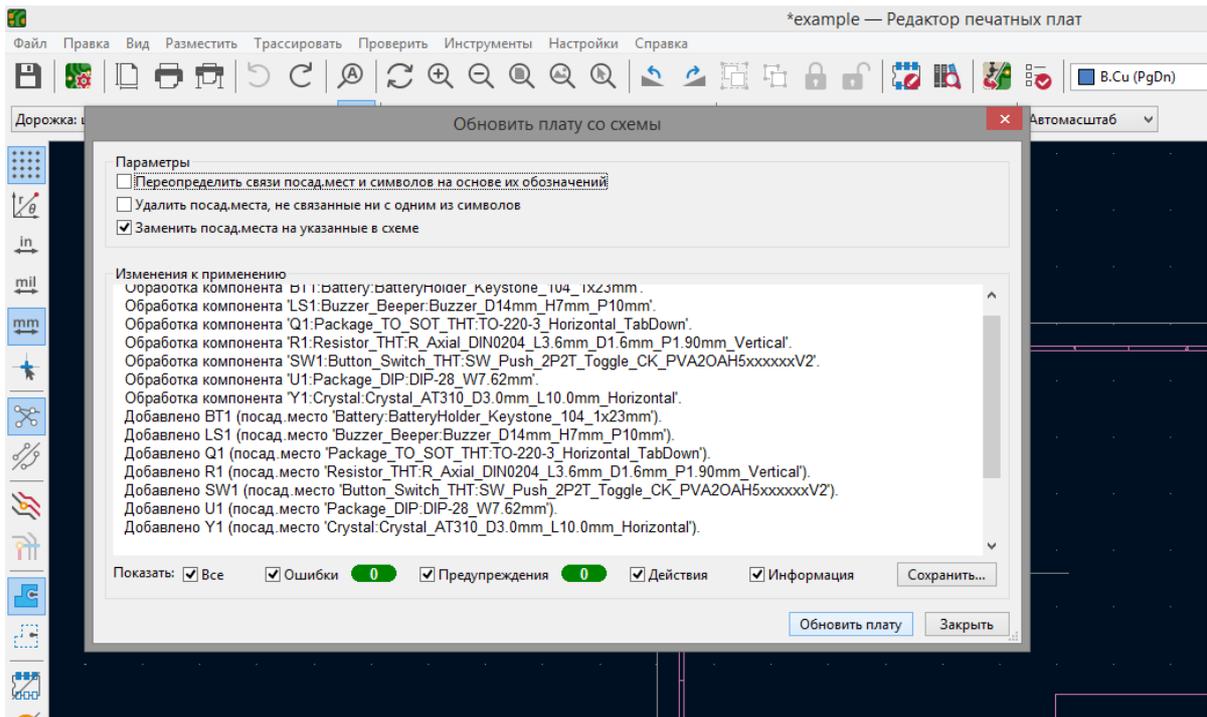
Создание платы из схемы — рекомендуемый рабочий процесс для *KiCAD*. Когда вы создаете новый проект, *KiCAD* создаст пустой файл платы с тем же именем, что и у проекта. Чтобы начать проектирование платы после создания схемы, просто откройте файл платы. Вы можете сделать это либо из менеджера проекта *KiCAD*, либо, нажав кнопку «Открыть плату в редакторе платы» в редакторе схем. Чтобы импортировать информацию о проекте схемы в редактор платы, включая посадочные места и соединения цепей, используйте действие *Tools* → *Update Schematic from PCB...* (или клавишу *F8*). Вы



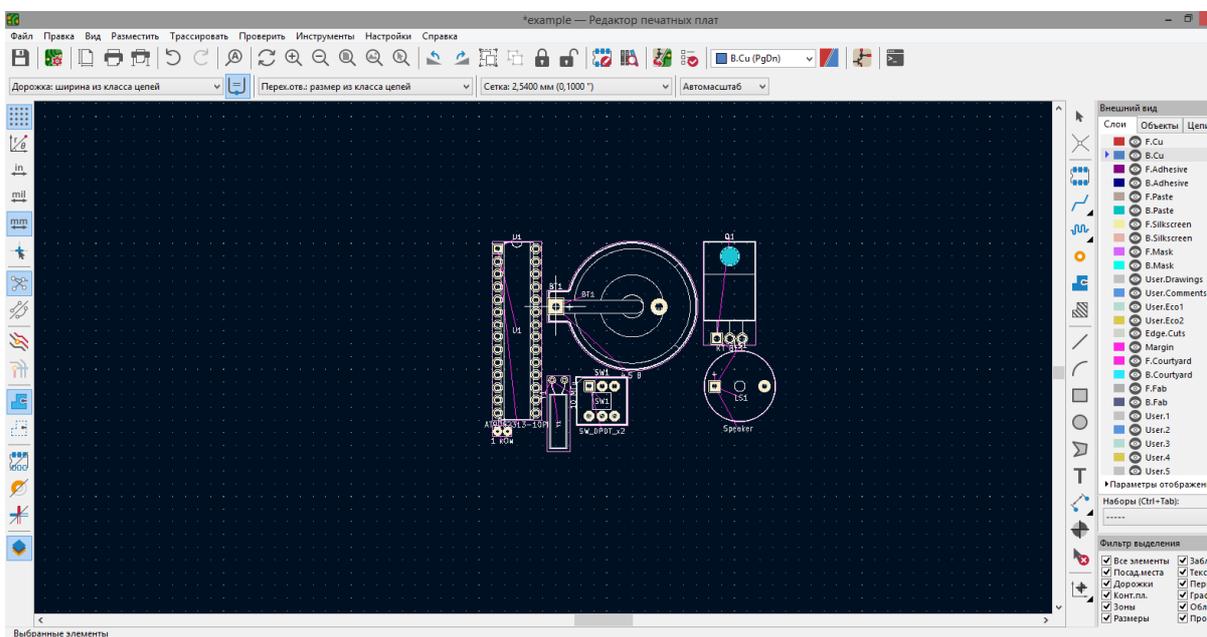
также можете использовать значок на верхней панели инструментов.

Обновить плату из схемы — это предпочтительный способ переноса проектной информации из схемы в плату. В старых версиях *KiCAD* аналогичный процесс заключался в экспорте списка соединений из редактора схем и импорте его в редактор плат. Больше нет необходимости использовать файл списка соединений.

При обновлении платы появится окно с информацией о схеме (ошибки соединений, замечания и т.д.). Нажмите «Обновить плату», если ошибок нет — нажмите «Заккрыть».

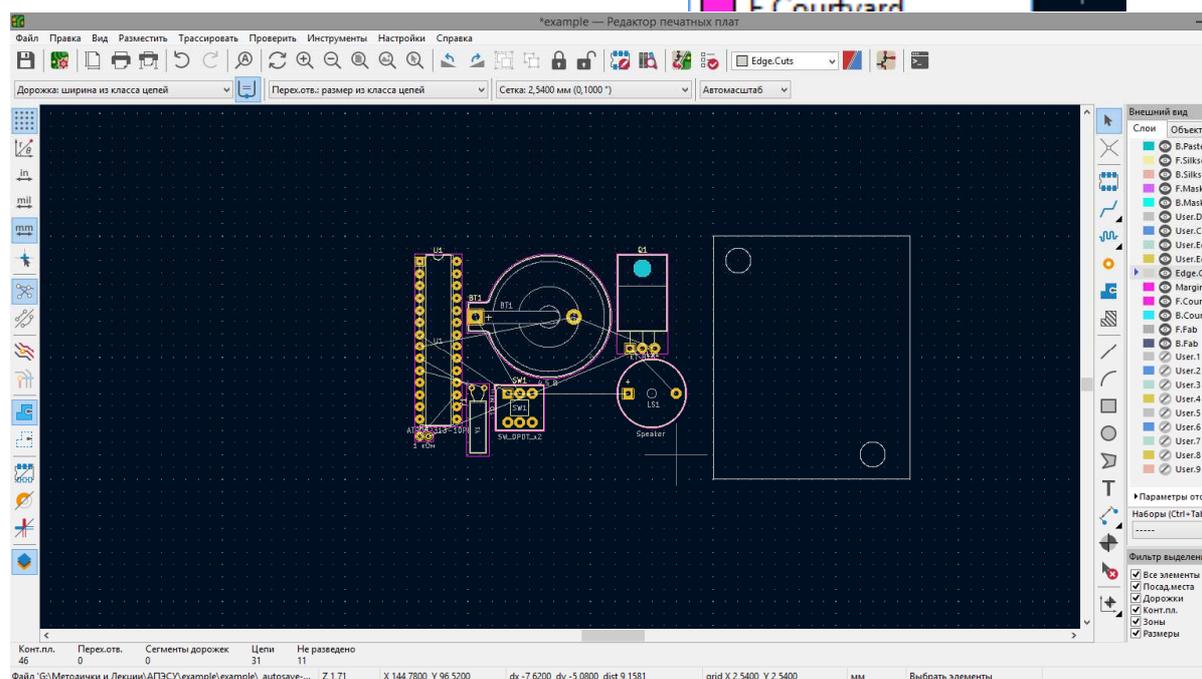
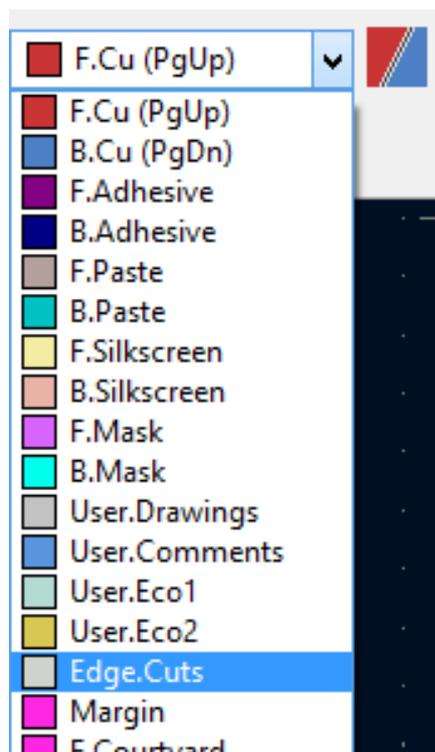


На холсте редактора появятся изображения корпусов электро-радиоэлементов, выбранные при сопоставлении посадочных мест и УГО элементов при проектировании схемы электрической принципиальной.



После щелчка левой кнопкой мыши произойдет размещение элементов в выбранной области. Желательно разместить элементы в углу холста, чтобы в центре осталось место для отрисовки контура печатной платы.

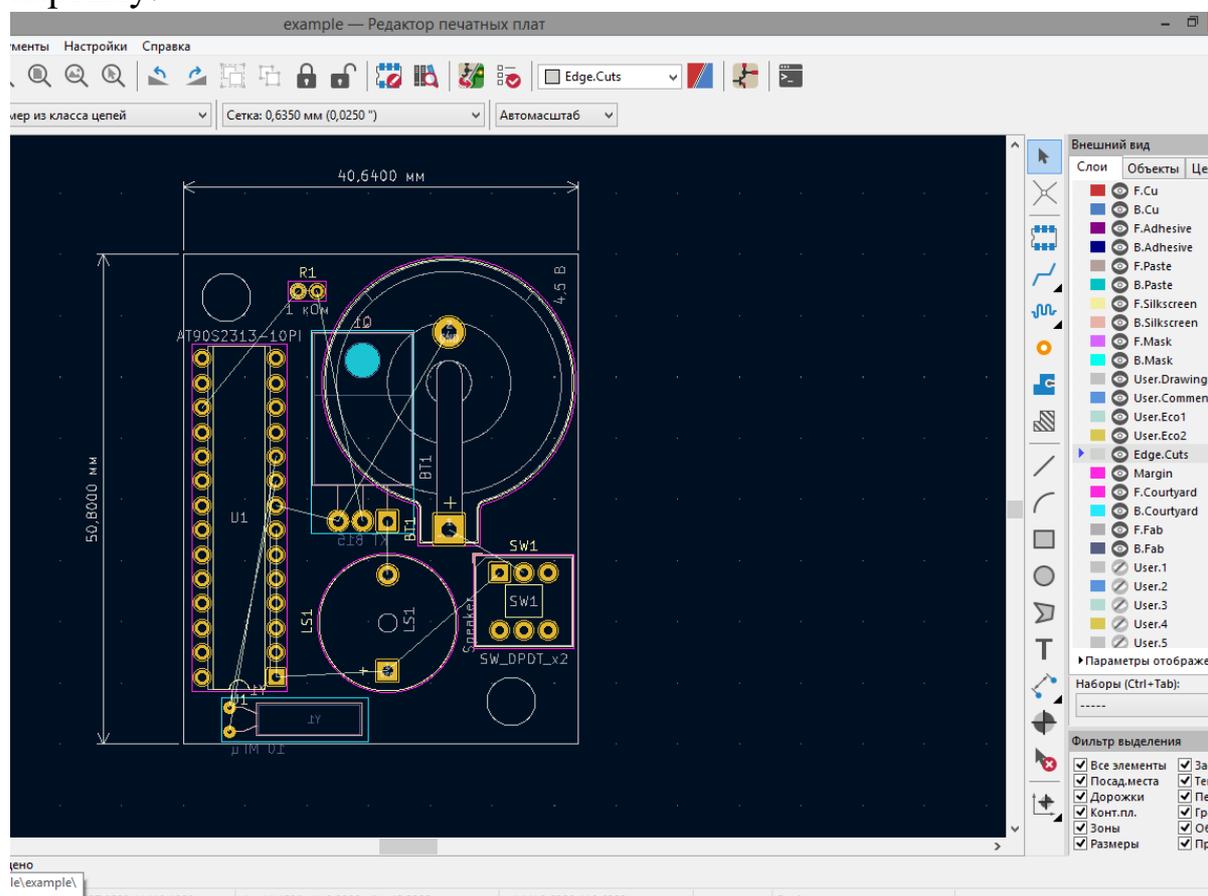
Переключите слой на «*Edge.Cuts*» («Контур Платы»), чтобы начертить инструментами рисования контур печатной платы согласно заданию на проектирование. Не забывайте соблюдать требования ГОСТ при выборе размеров сторон печатной платы.



Если габаритные размеры печатной платы оказались меньше чем место, занимаемое электронными компонентами платы, то их следует размещать на двух сторонах платы, как и проводящие дорожки. По умолчанию все элементы расположены на верхней стороне проектируемой платы. Для того чтобы переместить компонент на противоположную сторону платы, нужно его выбрать и нажать клавишу «*F*» (или щелкнуть на компоненте правой кнопкой мыши и

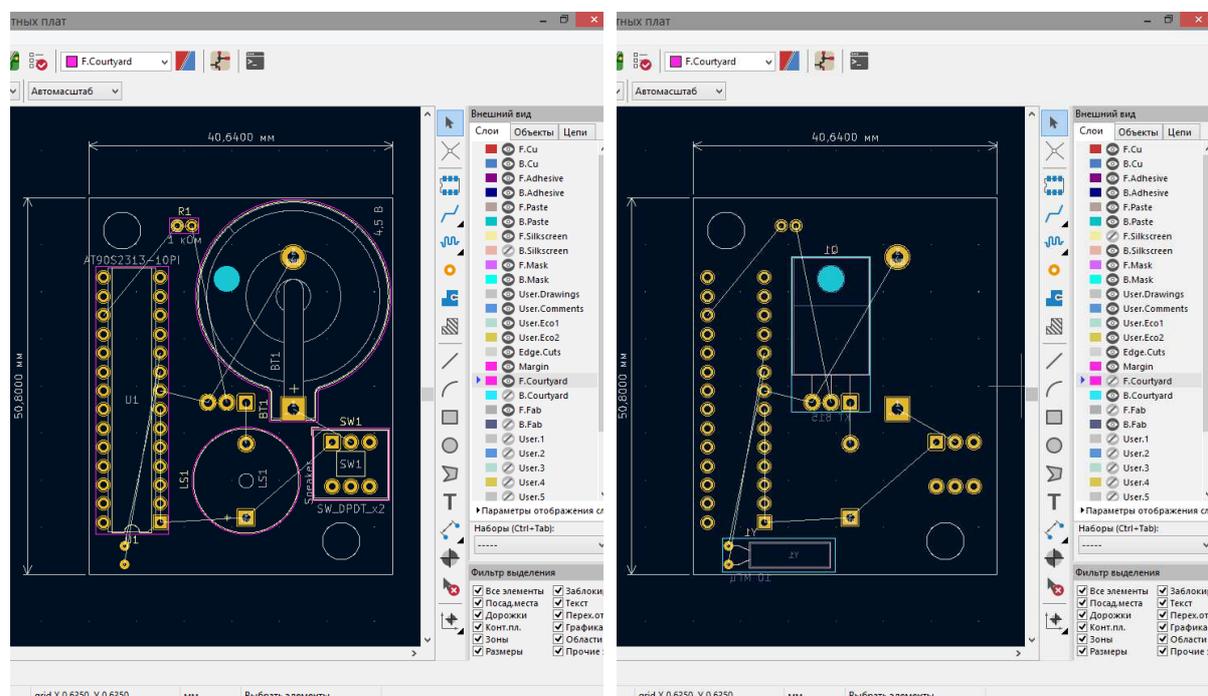
выбрать соответствующее действие). Также при отображении компонентов их электрические контакты схематически соединены тонкими прямыми линиями в соответствии с электрической схемой, эти соединения условные и не учитывается их взаимное пересечение. При размещении компонентов следует учитывать конструктивные требования к расстановке элементов на плате (разъемы, кнопки, индикаторы и т.д.), электрические требования (размещение сигнальных цепей как можно дальше от цепей питания) и стараться добиться наименьшей длины условных линий электрических связей и их пересечения – это упростит процесс трассировки электрических проводников в дальнейшем.

В результате размещения компонентов получим следующую картину:



Как видно на рисунке – компоненты размещены с учетом требований по минимизации длины и количества пересечений линий электрических связей. На первый взгляд может показаться, что компоненты (их схематические изображения) накладываются друг на друга, но на самом деле это не так. Некоторые элементы размещены

на обратной стороне печатной платы (на изображении их контуры отрисовываются голубым цветом, на верхней стороне – фиолетовым). Если оставить отображение компонентов только одной из сторон печатной платы, то получим следующие изображения верхнего и нижнего слоев печатной платы соответственно.



Далее выполняется трассировка электрических проводников. Для ручной трассировки или исправления результатов авто трассировки необходимо выбрать медный слой, в котором будет проводиться электрическое соединение и выбрать соответствующий инструмент в правом меню – «Трассировать дорожки».

В *KiCAD* есть интерактивный маршрутизатор, который:

- Обеспечивает ручную или управляемую (полуавтоматическую) разводку одиночных и дифференциальных пар проводящих дорожек.
- Позволяет модифицировать существующие конструкции:
- Перенаправление существующих дорожек при их перетаскивании
- Перенаправление дорожек, прикрепленных к площадкам посадочных мест, при перетаскивании посадочного места
- Позволяет настраивать длину дорожек и переком дифференциальных пар (фазу) путем вставки змеевидных форм

настройки для конструкций с жесткими требованиями по времени.

По умолчанию маршрутизатор соблюдает настроенные правила проектирования при размещении дорожек: размер (ширина) новых дорожек будет браться из правил проектирования, а маршрутизатор будет учитывать зазор между медными проводами, установленный в правилах проектирования, при определении того, где могут располагаться новые дорожки и переходные отверстия. быть помещенным. При желании это поведение можно отключить, используя режим маршрутизатора «*HighlightCollisions*» и включив параметр «*Allow DRC Violations*» в настройках маршрутизатора (см. ниже).

Маршрутизатор имеет три режима, которые можно выбрать в любой момент. Режим маршрутизации используется для маршрутизации новых дорожек, а также при перетаскивании существующих дорожек с помощью команды «*Drag*» (горячая клавиша «*D*»). Эти режимы:

- ***Highlight Collisions***: в этом режиме большинство функций маршрутизатора отключены, а маршрутизация выполняется полностью вручную. При маршрутизации коллизии (нарушения зазоров) будут выделены зеленым цветом, а вновь проложенные пути не могут быть зафиксированы на месте в случае коллизии, если только не включена опция «Разрешить нарушения *DRC*». В этом режиме одновременно может быть размещено до двух сегментов пути (например, один горизонтальный и один диагональный сегмент).
- ***Shove***: в этом режиме прокладываемая дорожка будет обходить препятствия, которые нельзя переместить (например, контактные площадки и заблокированные дорожки/переходные отверстия), и «отталкивать» препятствия, которые можно убрать с пути. Маршрутизатор предотвращает нарушения *DRC* в этом режиме: если нет способа проложить маршрут к позиции курсора, не нарушающей *DRC*, новые дорожки создаваться не будут.
- ***Walk Around***: в этом режиме маршрутизатор ведет себя так же, как и в режиме *Shove*, за исключением того, что никакие препятствия не удаляются с пути.

Какой режим использовать, зависит от предпочтений. Рекомендуется использовать режим *Shove* для наиболее эффективной маршрутизации или режим *Walk Around*, если вы не хотите, чтобы маршрутизатор модифицировал треки, которые не трассируются. Обратите внимание, что в режимах *Shove* и *Walk Around* всегда создаются горизонтальные, вертикальные и 45-градусные (*H/V/45*) сегменты пути. Если вам нужно проложить треки под углами, отличными от *H/V/45*, вы должны использовать режим *Highlight Collisions* и включить параметр *Free Angle Mode* в диалоговом окне *Interactive Router Settings*.

Существует пять основных функций маршрутизации: маршрутизация одной дорожки, маршрутизация дифференциальной пары, настройка длины одиночной дорожки, настройка длины дифференциальной пары и настройка перегиба дифференциальной пары. Все они присутствуют как в раскрывающемся меню Маршрут (отдельно) на верхней панели инструментов, так и на панели инструментов рисования в виде двух перегруженных значков на панели инструментов рисования справа. Использование перегруженных иконок описано выше. Один предназначен для двух функций *Route*, а другой — для трех функций *Tune*. Кроме того, меню *Route* позволяет выбрать *Set Layer Pair* и *Interactive Router Settings*.

Чтобы проложить дорожки, щелкните значок «Маршрут трасс»  (на панели инструментов рисования или на верхней панели инструментов в разделе «Маршрут») или используйте горячую клавишу «X». Щелкните начальное местоположение, чтобы выбрать сеть для маршрутизации и начать маршрутизацию. Прокладываемая сеть будет автоматически выделена, а допустимый зазор для сети будет обозначен серым контуром вокруг прокладываемых дорожек. Контур зазора можно отключить, изменив параметр «Контур зазора» в разделе «Параметры отображения» диалогового окна «Установки».

Маршрутизатор *KiCAD* пытается автоматически выбрать наилучшую позицию на основе ряда факторов. Как правило, маршрутизатор пытается свести к минимуму количество поворотов на маршруте и по возможности избегает «плохих» поворотов, таких как

острые углы. При трассировке от площадки или к ней *KiCAD* выбирает положение, при котором трасса совпадает с самым длинным краем площадки.

В некоторых случаях *KiCAD* не может правильно определить предполагаемую позу. Чтобы изменить положение дорожки во время трассировки, используйте команду «Переключить положение дорожки» (горячая клавиша «/»).

В ситуациях, когда нет очевидного «лучшего» положения (например, при начале маршрута из перехода), *KiCAD* будет использовать движение курсора мыши для выбора положения. Если вы хотите, чтобы маршрут начинался с прямого (горизонтального или вертикального) сегмента, переместите мышь от начального местоположения в основном в горизонтальном или вертикальном направлении. Если вы хотите, чтобы маршрут начинался по диагонали, двигайтесь в диагональном направлении. Как только курсор окажется на достаточном расстоянии от начального положения трассировки, положение «заблокируется» и больше не будет меняться, пока курсор не будет возвращен в начальное положение.

При маршрутизации дорожек переключение слоев будет вставлять сквозное отверстие в конце текущей (нефиксированной) дорожки. Как только вы разместите переход, трассировка продолжится на новом слое. Есть несколько способов выбрать новый слой и вставить переход:

Используя горячую клавишу, чтобы выбрать определенный слой, например, «PgUp» чтобы выбрать «F.Cu» или «PgDn» выбрать «B.Cu».

С помощью горячих клавиш «следующий слой» или «предыдущий слой» («+» и «-»).

С помощью горячей клавиши «Place Via» («V»), которая переключится на следующий слой в активной паре слоев.

С помощью действия «Select Layer and Place Through» (горячая клавиша «<»), которое откроет диалоговое окно для выбора целевого слоя.

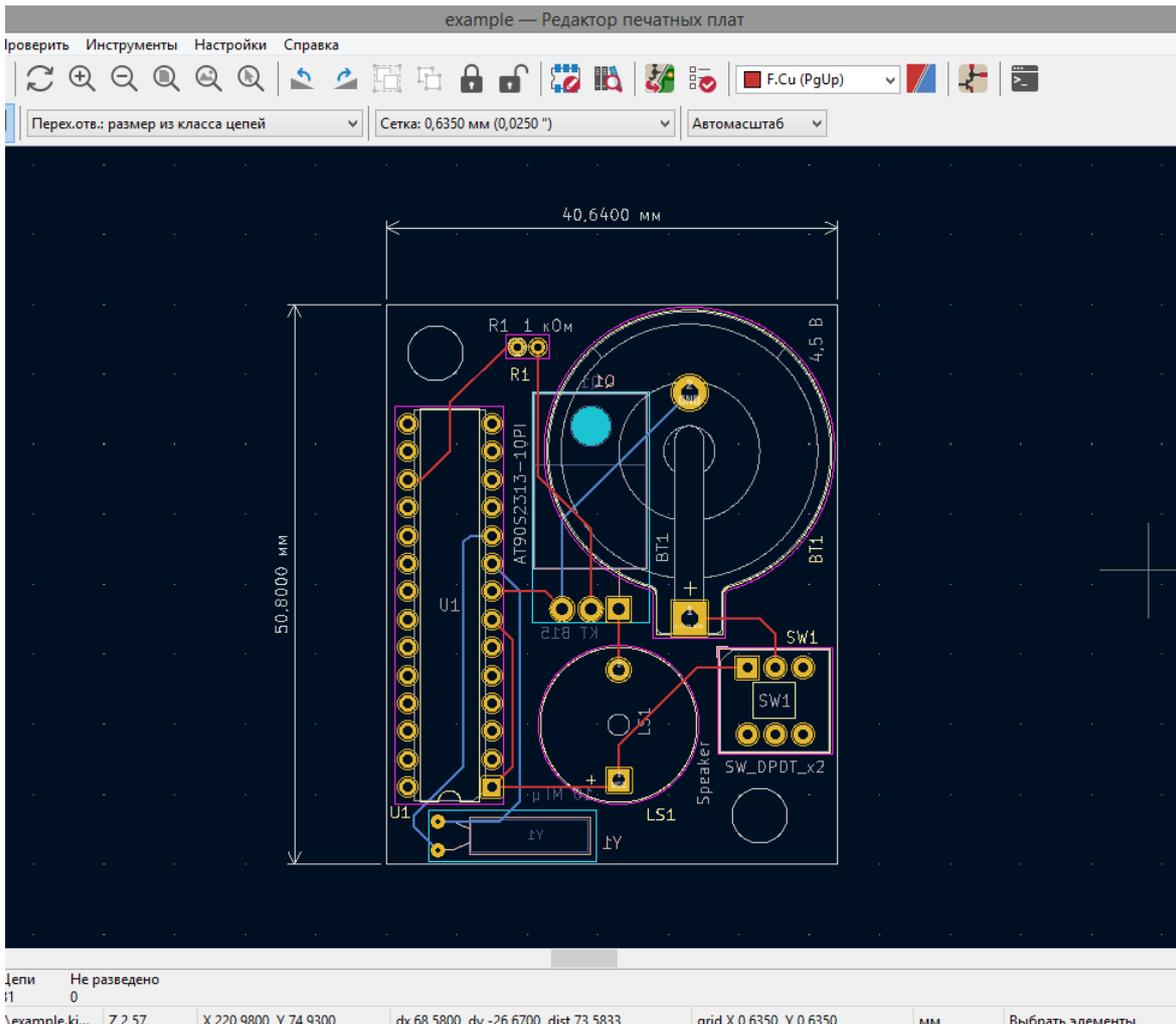
Размер переходного отверстия будет взят из активной настройки размера переходного отверстия, доступ к которой можно получить из раскрывающегося списка на верхней панели инструментов или с помощью горячих клавиш «Увеличить размер переходного

отверстия» («'») и «Уменьшить размер переходного отверстия» («\»). Подобно ширине дорожки, когда для размера переходного отверстия установлено значение «использовать размеры классов цепей», будут использоваться размеры переходных отверстий, настроенные в разделе «Классы цепей» в настройках платы (если это не переопределено пользовательским правилом проектирования).

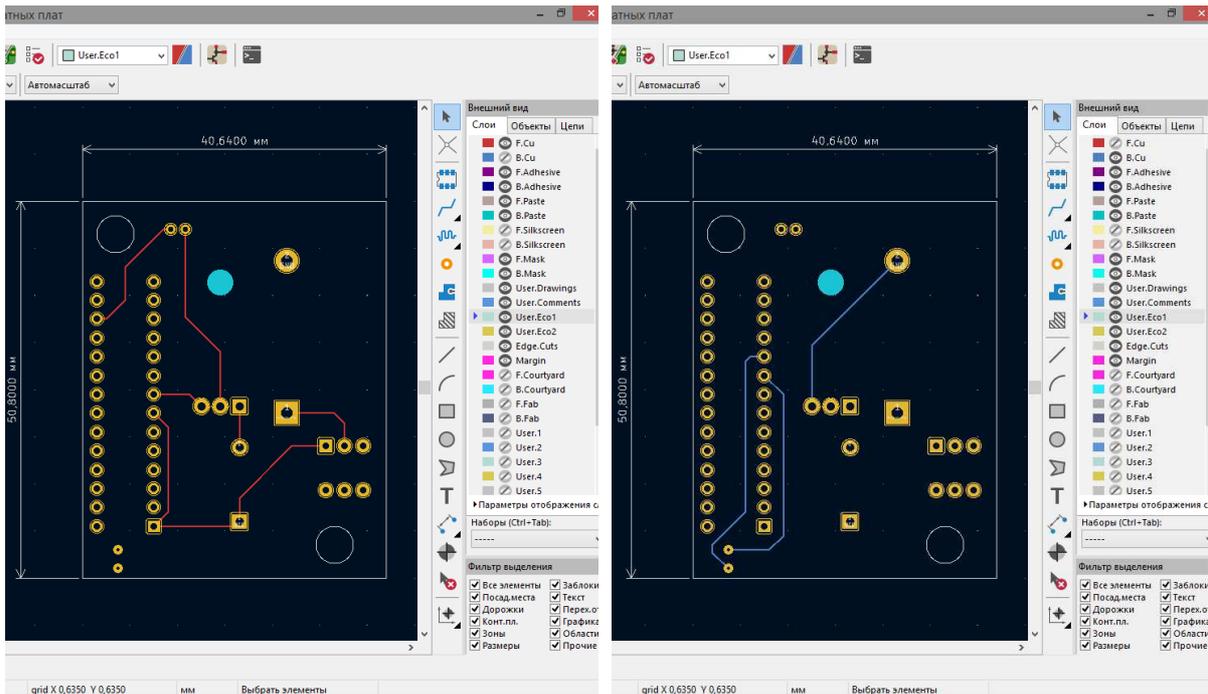
Если в разделе *Constraints* диалогового окна *Board Setup* включены микропереходы или глухие/скрытые переходы, эти переходы можно размещать при трассировке. Используйте горячую клавишу «*Ctrl+V*», чтобы разместить микропереход, и «*Alt+ Shift+V*», чтобы разместить слепой/скрытый переход. Микроотверстия можно размещать только таким образом, чтобы они соединяли один из внешних медных слоев с соседним слоем. Глухие/скрытые переходы могут быть размещены на любом слое.

Переходные отверстия, размещаемые маршрутизатором, считаются частью маршрутизируемого пути. Это означает, что сеть переходных отверстий может обновляться автоматически (точно так же, как и цепи дорожек), например, при обновлении платы из схемы изменяется имя цепи дорожки. В некоторых случаях это может быть нежелательно, например, при создании сквозных отверстий. Автоматическое обновление сетей переходов можно отключить для конкретных переходов, сняв флажок «автоматически обновлять через сети» в диалоговом окне свойств переходов. Переходные отверстия, размещенные с помощью инструмента «Добавить отдельно стоящие переходные отверстия», создаются с отключенным параметром.

После выполнения трассировки проектируемая печатная плата будет выглядеть следующим образом:

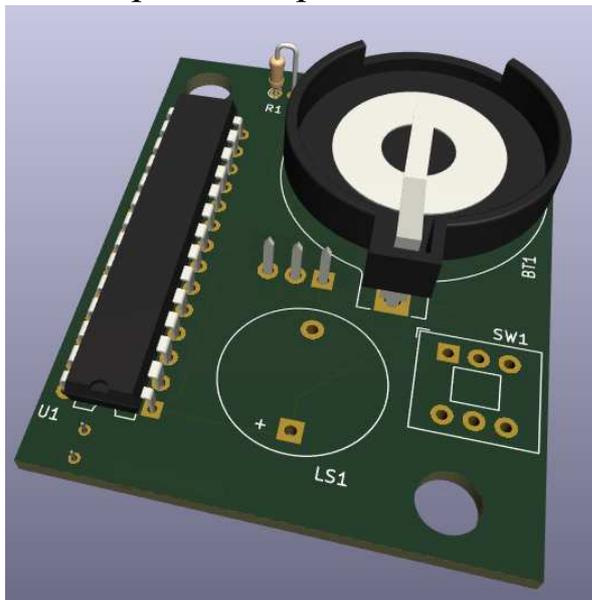


Или верхний и нижний медные слои (стороны печатной платы) отдельно:

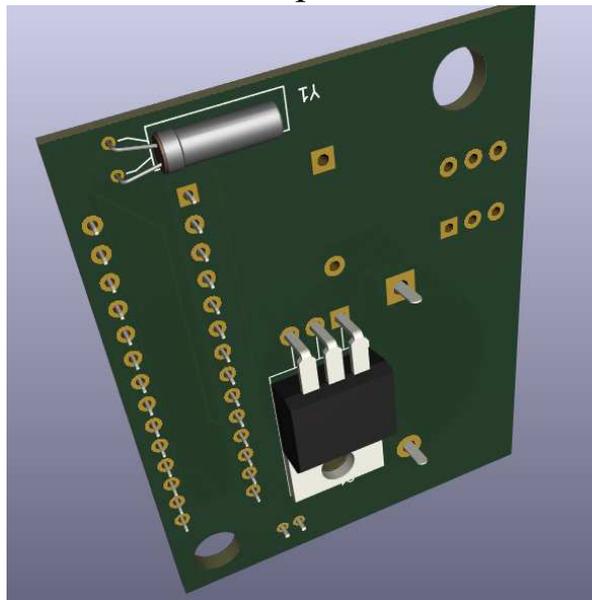


Также можно посмотреть результат проектирования в 3D режиме.

Верхняя сторона платы:



Нижняя сторона платы:



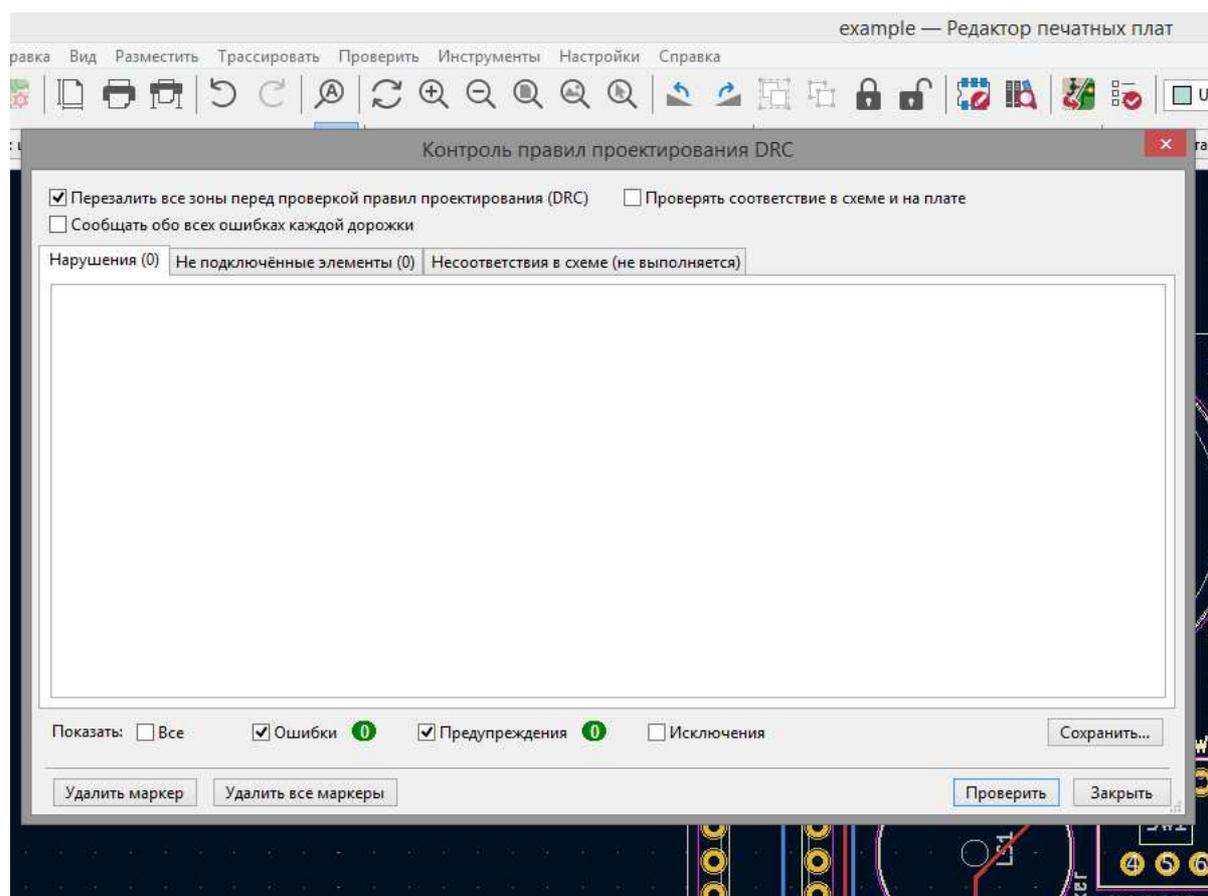
После маршрутизации дорожек их можно изменить, переместив или перетаскив, или удалив и перенаправив. Когда выбран один сегмент пути, «*U*» можно использовать горячую клавишу, чтобы расширить выбор на все соединенные сегменты пути. Первое нажатие «*U*» выберет сегменты дорожки между ближайшими соединениями с контактными площадками или переходными отверстиями. Второе нажатие «*U*» снова расширит выбор, чтобы включить все сегменты трека, связанные с выбранным треком на всех слоях. Выбор дорожек с помощью этой техники можно использовать для быстрого удаления всей разводимой цепи.

Существуют две разные команды перетаскивания, которые можно использовать для изменения сегмента дорожки. Команда «*Drag*» (режим 45 градусов), горячая клавиша «*D*», используется для перетаскивания дорожек с помощью маршрутизатора. Если режим маршрутизатора установлен на «*Shove*», перетаскивание с помощью этой команды приведет к перемещению ближайших дорожек. Если режим маршрутизатора установлен на «Обход», перетаскивание с помощью этой команды будет обходить препятствия или останавливаться на них. Команда «*Drag Free Angle*», горячая клавиша «*G*», используется для разделения сегмента дорожки на две части и перетаскивания нового угла в любое место. «*Drag Free Angle*» ведет себя как

режим маршрутизатора «*Highlight Collisions*»: препятствия не будут обходить или толкать, а только подсвечивать.

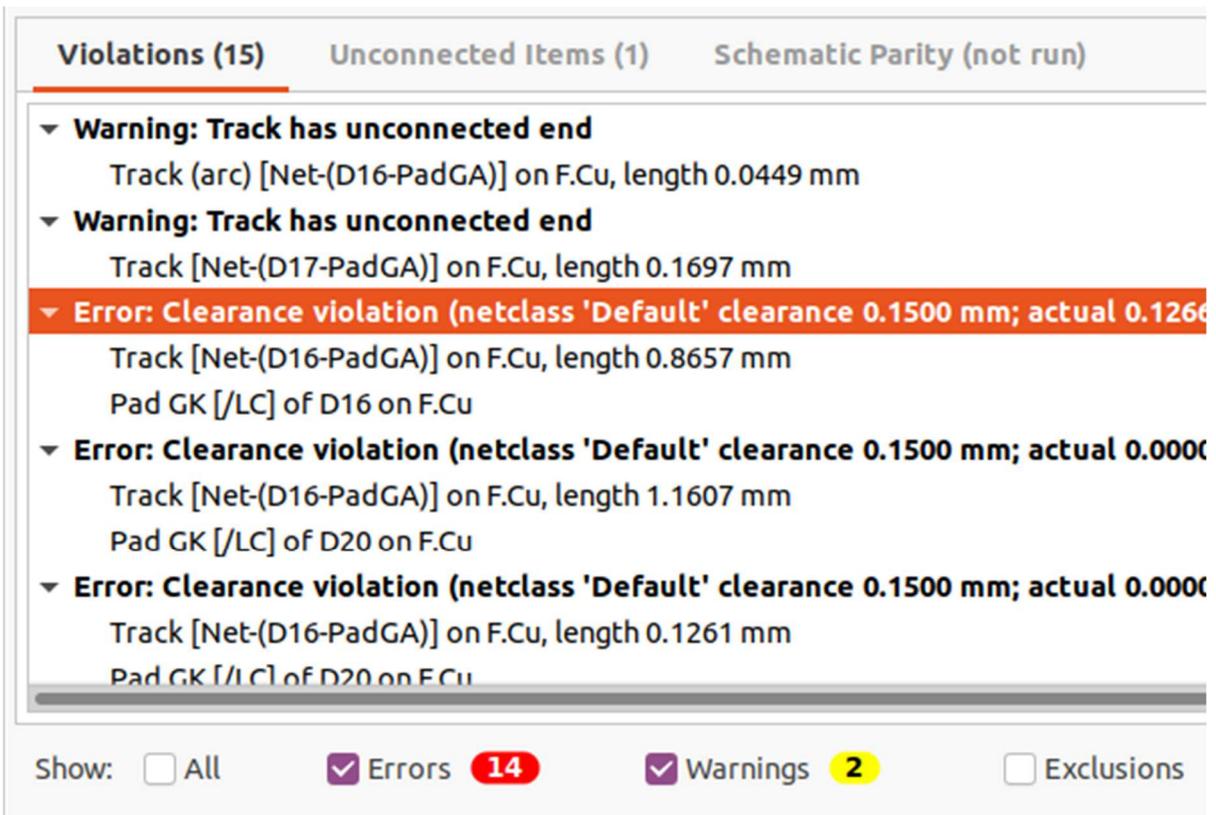
Далее следует выполнить проверку правил проектирования. Средство проверки правил проектирования используется для проверки того, что печатная плата соответствует всем требованиям, установленным в диалоговом окне «Настройка платы», и что все контактные площадки подключены в соответствии со списком соединений или схемой. *KiCAD* может автоматически предотвращать некоторые нарушения правил проектирования при прокладке дорожек, но многие другие нельзя предотвратить автоматически. Это означает, что перед созданием производственных файлов для печатной платы важно использовать средство проверки правил проектирования.

Чтобы использовать средство проверки правил проектирования, щелкните значок  на верхней панели инструментов или выберите «Проверка правил проектирования» в меню «Проверка».



Проверка соответствия между платой и схемой: если эта функция включена, средство проверки правил проектирования будет проверять различия между схемой и платой в дополнение к проверке правил проектирования платы. Этот параметр не действует при запуске редактора плат в автономном режиме.

После запуска *DRC* любые нарушения будут показаны в центральной части окна *DRC Control*. Нарушения правил, несвязанные элементы и различия между схемой и платой отображаются на трех разных вкладках. Элементы управления под списком нарушений можно использовать для отображения или скрытия нарушений в зависимости от их серьезности. Файл отчета в текстовом формате можно создать после запуска *DRC* с помощью кнопки Сохранить.

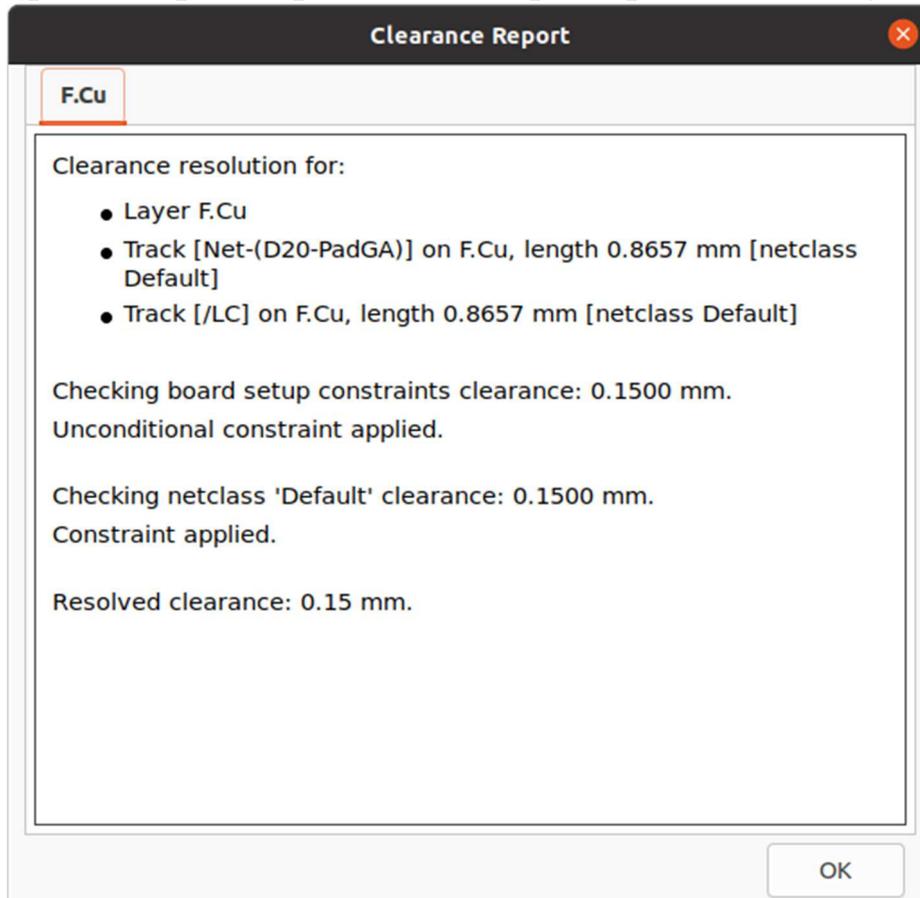


Каждое нарушение затрагивает один или несколько объектов на печатной плате. В списке нарушений причастные объекты указаны под нарушением. Щелкнув по нарушению в списке, окно редактора плат переместится так, чтобы затронутая область оказалась в центре. При нажатии на один из объектов, связанных с нарушением, этот объект будет выделен.

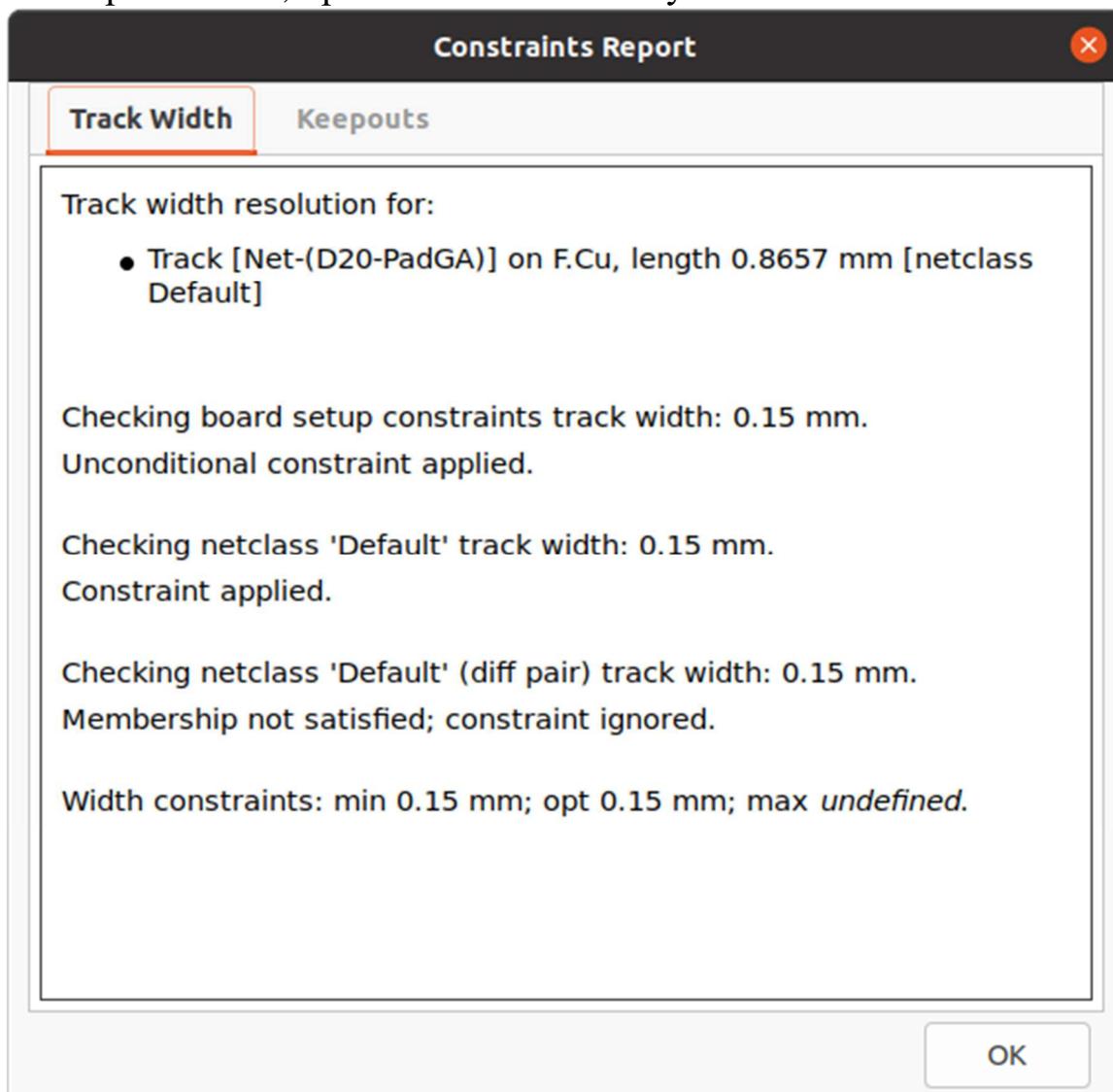
Если щелкнуть правой кнопкой мыши нарушение в представлении списка, откроется контекстное меню с дополнительными действиями, включая исключение выбранного нарушения. Исключенные нарушения скрыты, если не установлен флажок «Исключения» в нижней части окна «Управление DRC». Исключенные нарушения записываются между запусками средства проверки правил проектирования.

Инструменты разрешения зазоров и зависимостей позволяют проверить, какие правила зазоров и ограничений конструкции применяются к выбранным элементам. Эти инструменты могут помочь при проектировании печатных плат со сложными правилами проектирования, когда не всегда ясно, какие правила применяются к объекту.

Чтобы проверить правила зазора, которые применяются между двумя объектами, выберите оба объекта и выберите «Разрешение зазора» в меню «Проверка». Диалоговое окно *Clearance Report* покажет требуемый зазор между объектами на каждом медном слое, а также правила проектирования, которые привели к этому зазору.



Чтобы проверить проектные ограничения, применимые к объекту, выберите его и выберите «Разрешение ограничений» в меню «Проверить». Диалоговое окно «Отчет об ограничениях» покажет все ограничения, применимые к объекту.



После того как все проверки разработанной печатной платы выполнены можно переходить к следующему этапу работы – оформлению конструкторской документации.

Контрольные вопросы

1. Каковы возможности редактора печатных плат?
2. Для чего предназначен редактор PCBnew?
3. Назовите основные требования при размещении элементов на печатной плате.
4. Перечислите основные требования к размещению проводников на печатной плате.
5. Назовите требования к монтажным и переходным отверстиям на ПП.
6. Исходя из чего выбирается ширина проводящих дорожек ПП?
7. Перечислите виды монтажа электрорадиоэлементов на ПП.

Глава 4. ОФОРМЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

Задание: на основании модели разработанной печатной платы устройства сгенерировать файлы необходимые для производства ПП, оформить необходимую конструкторскую документацию: базовый сборочный чертеж, базовая спецификация, чертежи исполнений (отверстия и их размеры, проводящий рисунок каждого слоя), схема электрическая принципиальная.

Общие сведения.

Комплектность конструкторских документов (КД) на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП) и многослойные (МПП) печатные платы, а также требования по их выполнению при автоматизированном проектировании и изготовлении устанавливается ГОСТ 2.123-93. Некоторые виды из номенклатуры конструкторских документов приведены в таблице 9 [9].

Таблица 9. Номенклатура конструкторских документов на ПП.

Наименование документа	Содержание документа
Чертеж детали (заготовки)	Изображение ПП, материалы, габаритные размеры отверстий и т. д.
Базовый сборочный чертеж	Постоянные данные, общие для всех исполнений типоразмера(изображение ПП, размеры, технические требования, постоянная часть проводящего рисунка, номера позиций).
Чертеж исполнения детали	Переменные данные, относящиеся к конкретному исполнению (изображение ПП отверстия и их размеры, технические требования, проводящий рисунок и т. д.). Выполняется на каждое исполнение проводящего слоя печатной платы.
Базовая спецификация	По ГОСТ 2.113, ГОСТ 2.106, ГОСТ 2.417
Данные сверления	Информация о координатах расположения диаметра и количества отверстий ПП

Установленная ГОСТ 2.123-93 номенклатура конструкторских документов может дополняться в зависимости от характера, назначения и конструктивно-технологического варианта изготовления, в

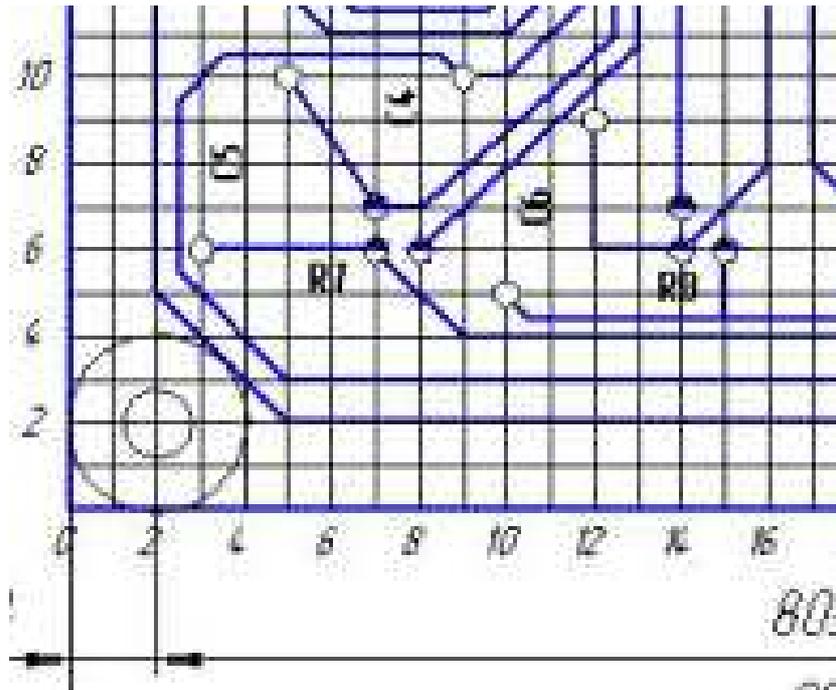
также от технического оснащения автоматизированных систем проектирования и изготовления ПП. В состав комплекта конструкторских документов на ПП допускается включать программные документы, полученные в результате автоматизированного проектирования и необходимые для производства ПП.

В состав постоянных данных, помещаемых на базовом чертеже, могут быть включены:

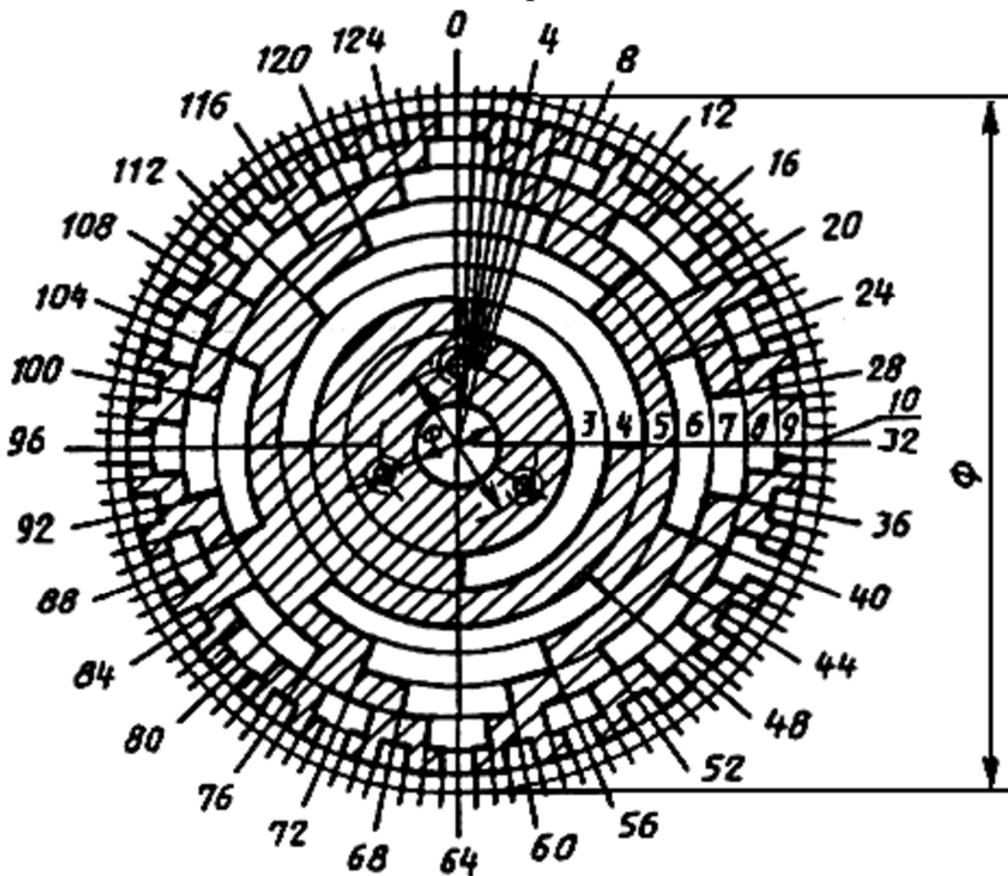
- изображение ПП;
- размеры и прочие указания для механической обработки;
- указания о материале;
- разметка для установки электрического соединителя;
- крепежные отверстия для установки ПП в сборочной единице;
- контрольные элементы (для контроля и проведения испытаний ПП);
- технические требования;
- проводящий рисунок;
- маркировка позиционных обозначений электрорадиоизделий.

Чертежи печатных плат должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и ГОСТ 2.417-91. Чертежи печатных плат должны иметь наименование «Плата печатная» [10].

На чертеже печатной платы размеры могут быть указаны несколькими способами (рис. 12).



а) Указание размеров нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат



б) Указание размеров нанесением координатной сетки в полярной системе координат

Рис. 12. Варианты указания размеров на чертежах печатных плат

Кроме того, размеры на чертеже ПП могут указываться комбинированным способом при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат, а также в виде таблицы координат элементов проводящего рисунка (проводников, контактных площадок и т.п.).

При нанесении размеров с помощью координатной сетки линии сетки должны нумероваться. Шаг нумерации определяется конструктивно с учетом насыщенности и масштаба изображения (рис. 13) и может быть выражен в миллиметрах или в количестве линий сетки.

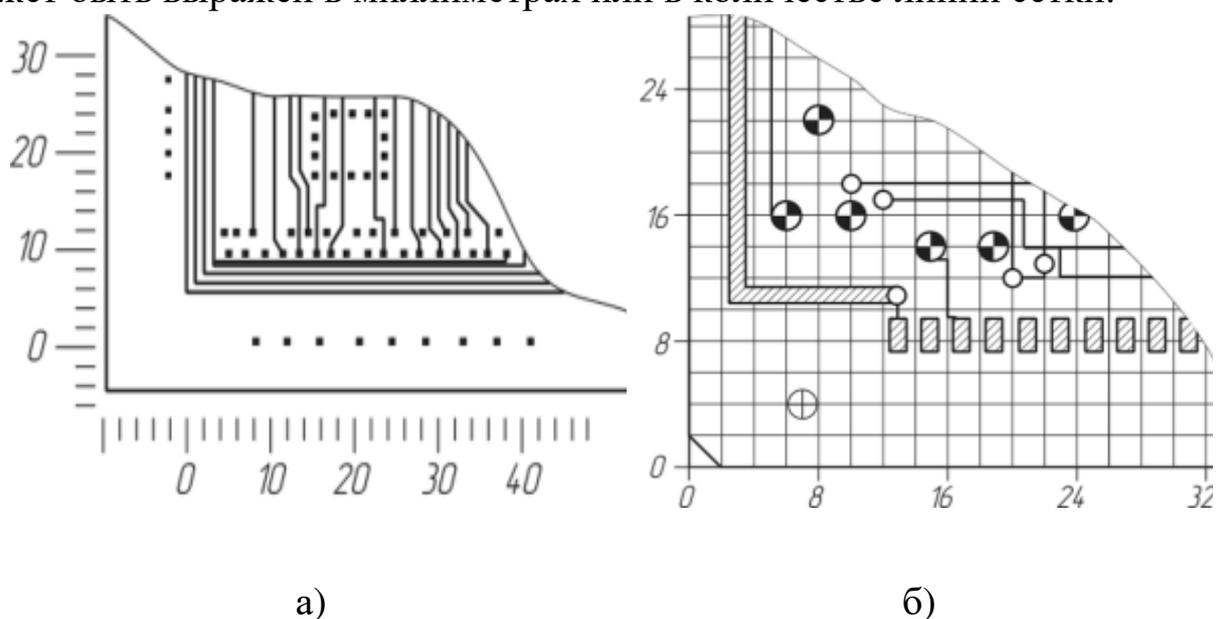


Рис. 13. Нанесение размеров с помощью координатной сетки: в миллиметрах (а) и количеством линий сетки (б)

Координатную сетку в зависимости от способа выполнения документации следует наносить на все поле чертежа (рис. 13) или на часть поверхности печатной платы, или рисками по периметру контура печатной платы (рис. 12а). Допускается риски наносить по периметру контура печатной платы (рис. 12а) или на некотором расстоянии от него [10].

Основной шаг координатной сетки в прямоугольной системе координат должен быть 2,5 мм. При использовании шага координатной сетки менее основного следует применять шаг, равный 1,25 мм или 0,625 мм [11].

За начало отсчета в прямоугольной системе координат на главном виде чертежа печатной платы следует принимать:

- центр крайнего левого или правого нижнего отверстия (рис. 12);
- левый или правый нижний угол печатной платы (рис. 13а);
- левую или правую нижнюю точку, образованную линиями построения (рис. 13б).

Для нанесения размеров, обозначений шероховатости поверхности и т.п. допускается приводить на чертеже дополнительный вид, на котором рисунок печатной платы следует изображать частично.

Отверстия, близкие по диаметру, изображают окружностью одного диаметра с обязательным указанием условного знака в соответствии с ГОСТ 2.307-2011 (рис. 14) [12].

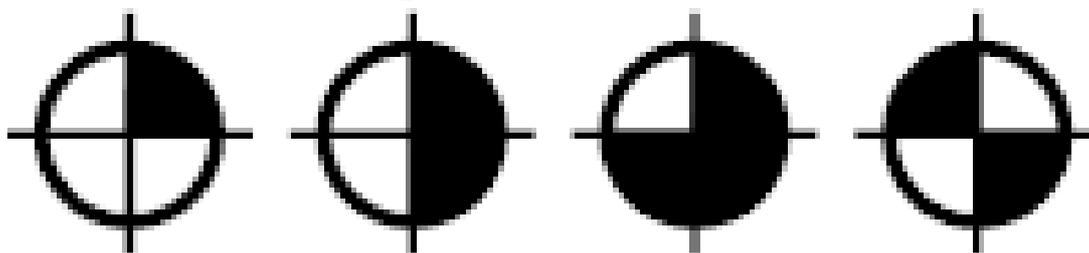


Рис. 14. Условные знаки обозначения групп отверстий с одинаковым диаметром

Диаметр отверстия, его условный знак, диаметр контактной площадки, наличие металлизации, количество отверстий следует объединять в таблицу (таблица 10).

Таблица 10. Оформление таблицы отверстий.

Условное обозначение отверстий	Диаметры отверстий, мм	Наличие металлизации в отверстиях	Диаметры контактных площадок, мм	Количество отверстий
	0,5	есть	2,0	32
	0,8	есть	3,0	21
	1,0	есть	3,0	16
	1,2	есть	4,0	22
	2,0	нет	4,0	8

Чертежи печатной платы рекомендуется выполнять в САПР Компас, так как данная САПР позволяет оформлять всю конструкторскую документацию согласно действующим государственным стандартам.

Вид оформленного чертежа печатной платы показан на рис. 15.

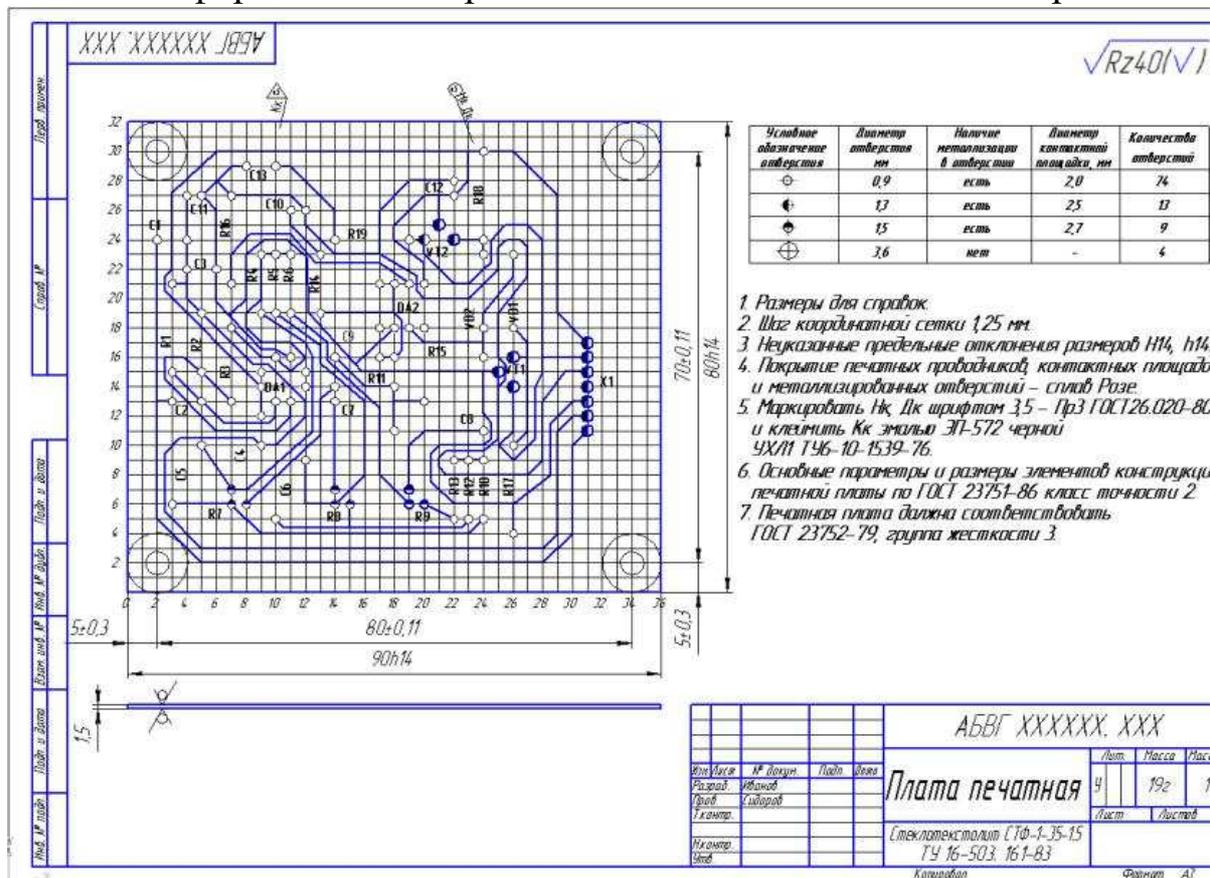


Рис. 15. Чертеж печатной платы

Выполнение работы.

KiCad может создавать и экспортировать файлы в различных форматах, необходимых для автоматизированного производства печатных плат и взаимодействия с внешним программным обеспечением. Эта функция доступна в меню «Файл» в нескольких разделах. Раздел «Файлы для производства» («*Fabrication Outputs*») содержит наиболее распространенные операции, необходимые для подготовки печатной платы к изготовлению. Раздел «Экспорт» содержит инструменты для создания файлов, которые могут быть прочитаны внешним программным обеспечением. Функция «Чертить» («*Plot*») позволяет экспортировать 2D-чертежи печатной платы в различные форматы. Функция печати позволяет отправить изображение печатной платы на 2D-принтер.

1. Файлы для производства печатных плат

KiCad использует файлы *Gerber* в качестве основного формата чертежей для производства печатных плат. Чтобы создать файлы *Gerber*, откройте диалоговое окно «Чертить» в меню «Файл». Откроется диалоговое окно «Чертить» («*Plot*»), позволяющее настроить и сгенерировать файлы *Gerber* (рис. 16).

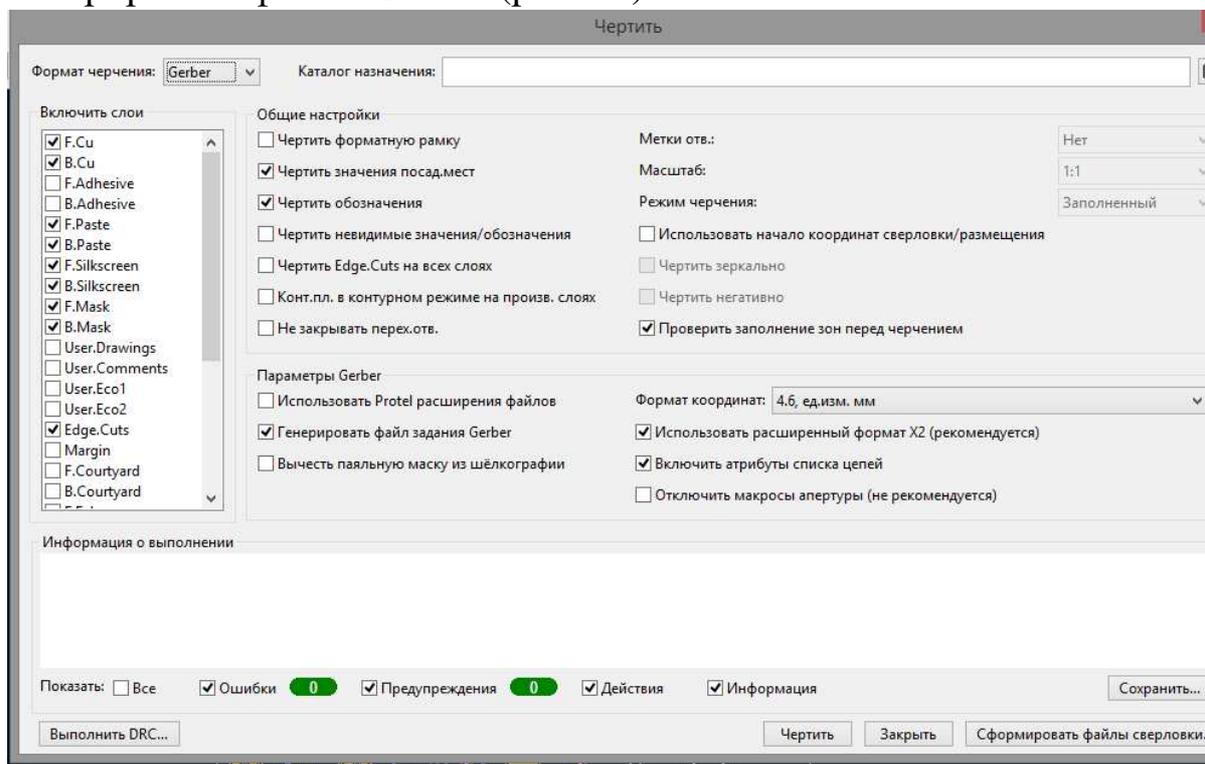


Рис. 16. Диалоговое окно режима «Черчения»

Для подготовки файлов производства доступны следующие инструменты:

- Включить слои: убедитесь, что каждый слой, используемый на вашей плате, включен в список. Отключенные слои не будут отображаться.
- Выходной каталог: укажите место для сохранения файлов плат. Если это относительный путь, он создается относительно каталога проекта.
- Граница печати и основная надпись: если этот параметр включен, граница чертежного листа и основная надпись будут нанесены на каждый слой. Обычно это следует отключать при построении файлов *Gerber*.

- Отображать значения посадочного места: если этот параметр включен, поле «Значение» каждого посадочного места будет отображаться на любом слое, на котором оно существует (если только видимость поля не отключена для определенного посадочного места).
- Отображение позиционных обозначений: если эта функция включена, поле позиционного обозначения каждого посадочного места будет отображаться на любом слое, на котором оно существует (если только видимость поля не отключена для определенного посадочного места).
- Принудительное построение невидимых значений/ссылок: если этот параметр включен, все значения посадочных мест и позиционные обозначения будут нанесены на плату, даже если для некоторых из этих полей отключена видимость поля.
- «*Plot Edge.Cuts*» на всех слоях: если этот параметр включен, слой «*Edge.Cuts*» (контур платы) будет добавлен ко всем остальным слоям.
- Площадки эскизов на слоях производителя: если этот параметр включен, площадки посадочных мест на слоях производителя (*F.Fab*, *B.Fab*) будут отображаться как незаполненные контуры, а не заполненные формы.
- Метки сверления: для форматов печати, отличных от *Gerber*, метки могут быть нанесены в месте расположения всех просверленных отверстий. Метки сверления могут быть созданы с фактическим размером (диаметром) готового отверстия или с меньшим размером.
- Масштаб: Для форматов файлов плат, поддерживающих масштабирование, отличное от 1:1, можно задать масштаб в файле. Параметр «Автоматическое масштабирование» масштабирует график в соответствии с указанным размером страницы.
- Режим черчения: для некоторых форматов плат закрашенные фигуры могут отображаться только как контуры (режим эскиза).
- Использовать исходную точку файла сверления/размещения: если эта функция включена, исходная точка координат

для графических файлов будет исходной точкой файла сверления/размещения, заданной в редакторе платы. Когда отключено, началом координат будет абсолютное начало координат (верхний левый угол рабочего листа).

KiCad может создавать файлы сверления с ЧПУ, необходимые для большинства процессов производства печатных плат, в формате *Excellon* или *Gerber X2*. *KiCad* также может генерировать карту сверления: графическое изображение платы, показывающее места сверления. Выберите опцию «Файл сверловки» («*Generate Drill Files*») в меню «Файлы для производства» («*Fabrication Outputs*»), чтобы открыть диалоговое окно (рис. 17).

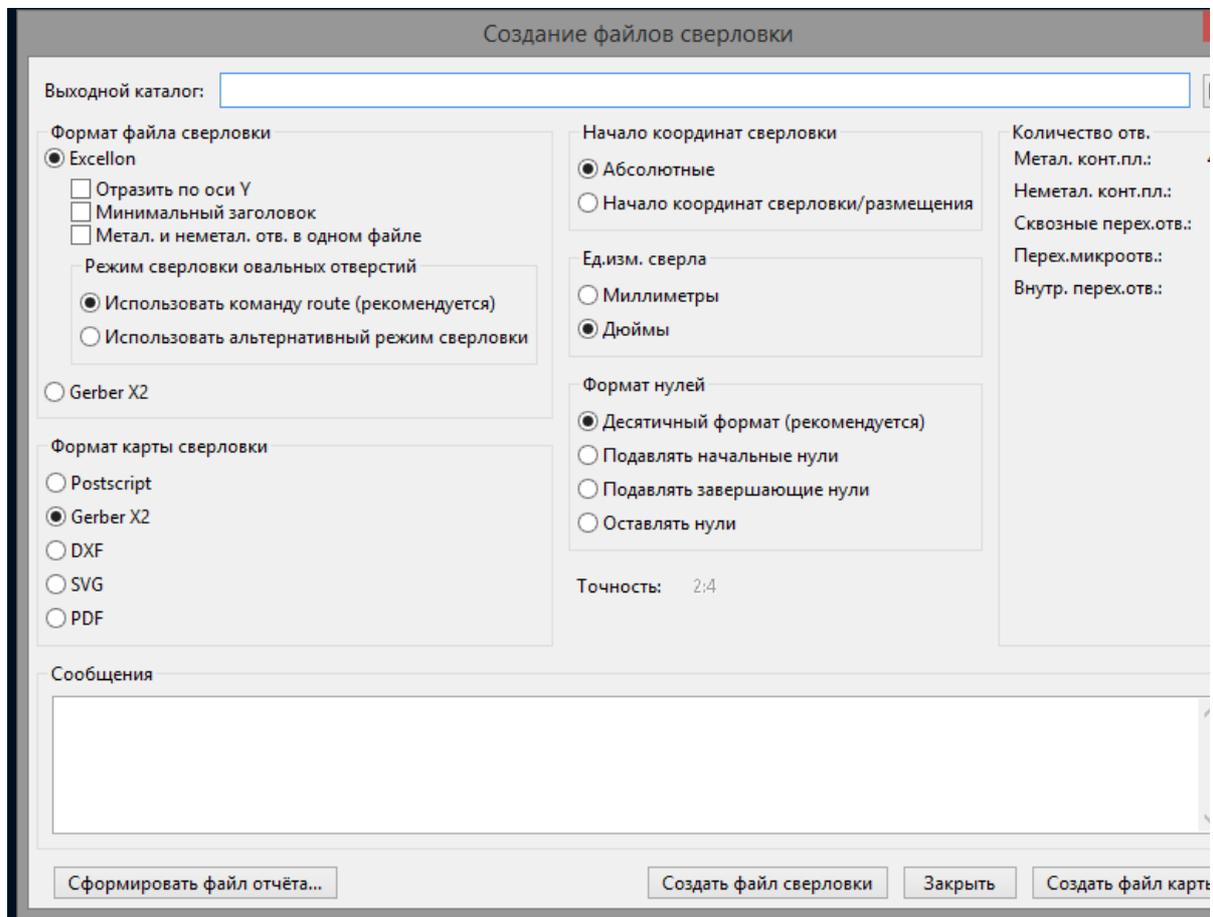


Рис. 17. Диалоговое окно создания файла сверловки

Для подготовки файлов сверления отверстий доступны следующие инструменты:

- Выходная папка: выберите папку для сохранения сгенерированных файлов сверления и карты. Если введен относительный путь, он будет относиться к каталогу проекта.
- Формат файла сверления: выберите, следует ли создавать файлы сверления *Excellon* (требуется большинством производителей печатных плат) или файлы *Gerber X2*.
- Зеркально отразить ось *Y*: для файлов *Excellon* выберите, следует ли отражать координату оси *Y*. Этот параметр, как правило, не следует использовать при наличии печатных плат, изготовленных третьей стороной, и он предоставляется для удобства пользователей, которые самостоятельно изготавливают печатные платы.
- Минимальный заголовок: для файлов *Excellon* выберите, следует ли выводить минимальный заголовок, а не полный заголовок файла.
- *PTH* и *NPTH* в одном файле: по умолчанию отверстия с покрытием и отверстия без покрытия создаются в двух разных файлах *Excellon*. Если эта опция включена, оба будут объединены в один файл.
- Режим сверления овальных отверстий: управляет представлением овальных отверстий в файле сверления *Excellon*. Настройка по умолчанию «Использовать команду маршрута» подходит для большинства производителей.
- Формат файла карты: выберите выходной формат для построения карты сверления.
- Начало сверления: выберите начало координат для файлов сверления. Абсолют будет использовать исходную точку страницы в левом верхнем углу. Исходная точка файла сверления/размещения будет использовать исходную точку, указанную в проекте платы.
- Единицы сверления: выберите единицы измерения координат и размеров сверления.
- Формат нулей: управляет форматированием чисел в файле детализации *Excellon*.

После выполнения необходимых настроек сгенерируйте отдельные файлы в формате *Gerber* для каждой стороны печатной платы, а также файл сверления отверстий.

2. Подготовка оформления конструкторской документации

При оформлении чертежей печатной платы, спецификации и схемы электрической принципиальной рекомендуется использовать САПР Компас. Данный САПР изначально реализует оформление конструкторской документации в соответствии с Российскими государственными стандартами. Кроме того САПР Компас располагает гораздо более удобными и эффективными инструментами построения и оформления (размеры, отклонения шероховатость и т.д.).

Для того чтобы перенести чертежи печатной платы в САПР Компас воспользуйтесь инструментом «Чертить» в меню «Файл». В качестве типа файла выберите *DXF* формат.

Укажите необходимые слои, которые должны быть отображены на чертежах, выберите каталог, куда будут сохраняться файлы, и нажмите «Чертить». После этого созданные файлы с расширением *.dxf* можно открыть в САПР Компас.

Для сохранения схемы электрической принципиальной в формате *.dxf* необходимо также воспользоваться инструментом «Чертить» в меню «Файл» в редакторе схем *Schematic Editor*.

3. Оформление чертежа схемы электрической принципиальной

Чертеж схемы электрической принципиальной выполняется в соответствии с ГОСТ 2.702-2011. При использовании САПР печатных плат часто встречается ситуация, когда имеющиеся в библиотеке программы условные графические обозначения электро- радиоэлементов не соответствуют отечественным стандартам. Для решения данной проблемы можно воспользоваться встроенным редактором символов и привести УГО элемента к ГОСТ, или выполнить это действие в САПР Компас при оформлении чертежа. Условные графические обозначения электро- радиоэлементов согласно ГОСТ 2.702-2011 приведены в таблице 1 главы 2.

4. Оформление чертежей печатной платы

Для проектируемой печатной платы необходимо оформить следующие чертежи:

- сборочный чертеж;
- чертеж проводящих дорожек верхнего слоя печатной платы;
- чертеж проводящих дорожек нижнего слоя печатной платы;

- чертеж расположения контактных и переходных отверстий.

Данные чертежи оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.417-91 (приведены в Главе 4 данных методических указаний).

К сборочному чертежу необходимо также составить спецификацию (перечень элементов, оформляемый в виде таблицы по ГОСТ 2.701).

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные проектные документы при подготовке конструкторской документации на печатные платы.

2. Правила выполнения сборочных чертежей печатных плат.

3. Правила выполнения детализованных чертежей печатных плат.

4. Какими документами регламентируется состав конструкторской документации на печатные платы?

5. В каких документах содержатся требования к выполнению чертежей печатных плат?

6. Как могут наноситься размеры на чертеже печатной платы?

7. Где начинается нумерация линий координатной сетки?

8. Как изображаются металлизированные проводники и указывается их ширина?

ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Текстовая часть курсового проекта выполняется в виде пояснительной записки (ПЗ), которая обязательно должна содержать следующие элементы:

- титульный лист;
- задание на проектированное с визами преподавателя и заведующего кафедрой;
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Параметры текста и форматирования пояснительной записки:

- шрифт Times New Roman, обычный;
- цвет: черный;
- размер 14 п;
- выравнивание текста – по ширине;
- межстрочный интервал – полуторный;
- красная строка (абзацный отступ) – 1,25 см;
- отступы и интервалы в тексте – 0 см.

Номера страниц проставляют арабскими цифрами, внизу по центру тем же шрифтом и размером, что и основной текст. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц ПЗ. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

В содержании отображаются разделы пояснительной записки. Названия разделов ПЗ должны соответствовать названиям разделов данных методических указаний.

Перед вставкой рисунка обязательно должна быть ссылка на него в тексте, под рисунком располагается подпись, после рисунка – пустая строка.

Таблицы нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией, название таблицы следует помещать над таблицей слева без абзацного отступа в одну строку с ее номером через «тире». Как и у рисунка, до вставки таблицы нужно дать ссылку на нее.

Список использованных источников приводится в конце ПЗ. Источники в списке следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте пояснительной записки.

При цитировании внешнего источника информации необходимо указать на него ссылку в квадратных скобках с номером источника.

К пояснительной записке прикладываются выполненные чертежи, распечатанные на формате *A2*, и спецификация (на формате *A4*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии был рассмотрен вопрос автоматизации конструкторского этапа проектирования печатной платы электронного устройства в современном САПР. Данный этап заключается в схемнотопологическом проектировании и разработке конструкторской документации. Необходимо отметить, что весь процесс разработки печатной платы электронного устройства включает в себя системное, структурное и логическое проектирование, а также физическое и математическое моделирование разрабатываемого устройства. Выбранный в качестве примера выполнения курсового проекта пакет САПР печатных плат *KiCAD* не позволяет проводить моделирование работы разрабатываемого устройства.

Моделирование работы устройства требует наличия так называемого модуля работы со *SPICE*-моделями электронной компонентной базы. Основное отличие полноценной *SPICE*-модели электронного компонента – наличие в модели не только информации об условном графическом обозначении компонента и его посадочном месте на печатной плате, но и полноценного описания в специальном формате электрических и физических параметров компонента (например, величина сопротивления для резистора, максимальный пропускаемый ток и рассеиваемая мощность, температурный коэффициент сопротивления и т.п.). Таким функционалом обладает, в частности, САПР *Altium Designer*. Здесь можно, перед тем как приступить к созданию печатной платы, сначала смоделировать работу устройства, а после создания модели печатной платы есть ряд функций, которые позволяют моделировать работу самой платы, контролировать нагрев элементов и взаимные влияния цепей и компонентов друг на друга. Однако данные вопросы не рассматриваются в рамках этого курса.

В целом же процесс создания печатных плат в разных САПР весьма схож и строится по схожему маршруту, поэтому освоение одного средства автоматизации проектирования позволит быстрее освоиться в любом другом САПР печатных плат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 23501.101-87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения: Государственный стандарт союза ССР: Дата введения 1988-07-01 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Издание официальное. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012840>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
2. Смирнов В.А. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие / В.А.Смирнов, Л.Н. Петрова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 34 с.
3. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем: Межгосударственный стандарт: Дата введения 2012-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 12 мая 2011 г. № 39). – Издание официальное. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200086241>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
4. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению: Межгосударственный стандарт: Дата введения 2009-07-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 7 октября 2008 г. № 34). – Издание официальное. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069439#7D20K3>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
5. ГОСТ Р 53386-2009. Платы печатные. Термины и определения: Государственный стандарт Российской Федерации: Дата введения 2011-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Издание официальное. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200074481>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
6. ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции: Государственный стандарт Российской Федерации: Дата введения 2010-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Издание официальное. –

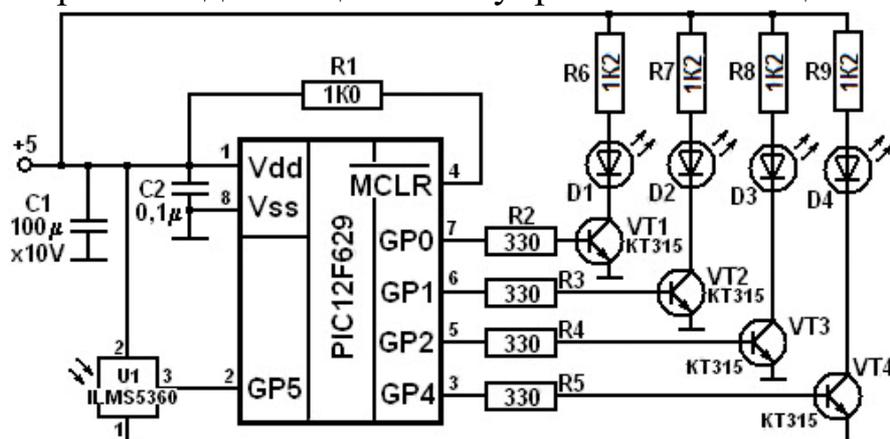
- URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200075977> (дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
7. ГОСТ Р 51040-97. Платы печатные. Шаги координатной сетки: Государственный стандарт Российской Федерации: Дата введения 1998-01-01 / Госстандарт России. -Издание официальное. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200027689>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
 8. KiCadDocs: официальный сайт [Электронный ресурс]. - URL:<https://docs.kicad.org/6.0/ru/pcbnew/pcbnew.html#введение> (дата обращения 24.11.2022).
 9. ГОСТ 2.123-93. Единая система конструкторской документации. Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании: Межгосударственный стандарт: дата введения 1995-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 21 октября 1993 г. № 4). – Издание официальное. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200001997>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
 10. ГОСТ 2.417-91. Единая система конструкторской документации. Платы печатные. Правила выполнения чертежей: Межгосударственный стандарт: Дата введения 1992-07-01 / Комитет стандартизации и метрологии. – Издание официальное. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200001997>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
 11. ГОСТ 10317-79. Платы печатные. Основные размеры: Государственный стандарт союза ССР: Дата введения 1980-01-01 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Издание официальное. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200016364>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.
 12. ГОСТ 2.307-2011. Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений: Межгосударственный стандарт: Дата введения 2012-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 12мая2011 г. № 39). – Издание официальное. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200086238>(дата обращения 24.11.2022). – Режим доступа: по подписке.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные для курсового проектирования

Вариант №1

Устройство дистанционного управления освещением

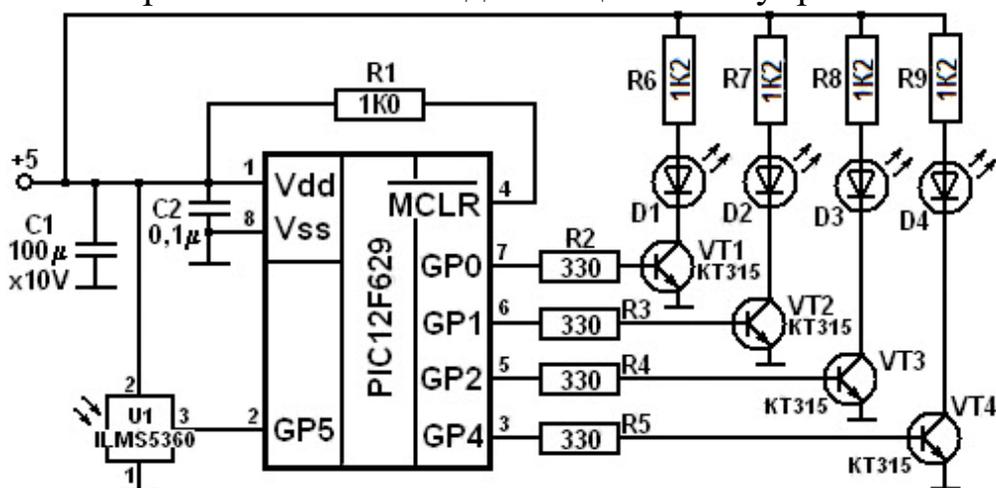


Основные компоненты:

конденсаторы: C3=0,64 мкФ х 250 В, C4=C5=10 мкФ х 63 В, мостовой выпрямитель S80; линейный стабилизатор LM7805 с конденсаторами C1=C2=100 мкФ х 25 В; микроконтроллер PIC12F629; фотоприёмник ILMS5360; оптосимистор TLP3062; силовой симистор BT134; мало-мощный светодиод VD1 с токозадающим резистором R1 (2,4 кОм); R4=370 Ом; резисторы R3, R5 по 360 Ом; резистор R2=10 кОм; FS1, FS2 - малогабаритные предохранители на 63 мА; SB1 - малогабаритная кнопка.

Вариант №2

ИК-приемник сигналов дистанционного управления

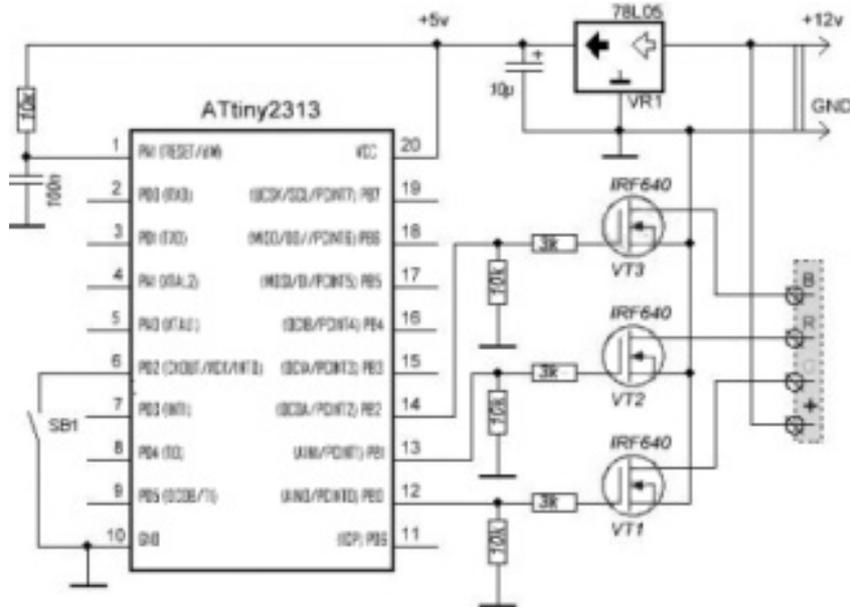


Основные компоненты:

контроллер PIC12F629; ILMS5360 - интегральный фотоприемник;
 транзисторы VT1, VT2, VT3, VT4; резисторы R1 – R9; конденсаторы,
 светодиоды.

Вариант №3

RGB - контроллер

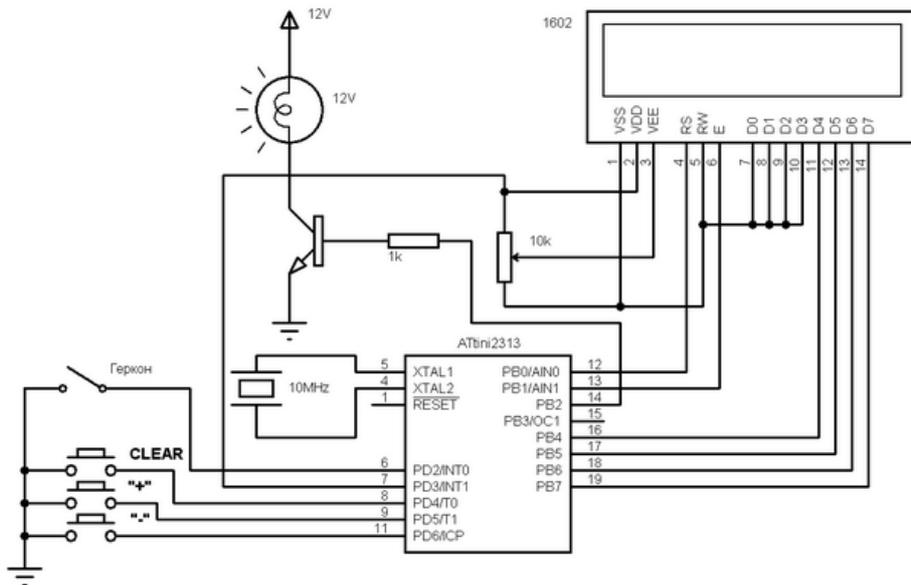


Основные компоненты:

микроконтроллер ATtiny13; стабилизатор напряжения 78L05; поле-
 вые транзисторы; резисторы, конденсаторы, простая кнопка.

Вариант №4

Велоспидометр

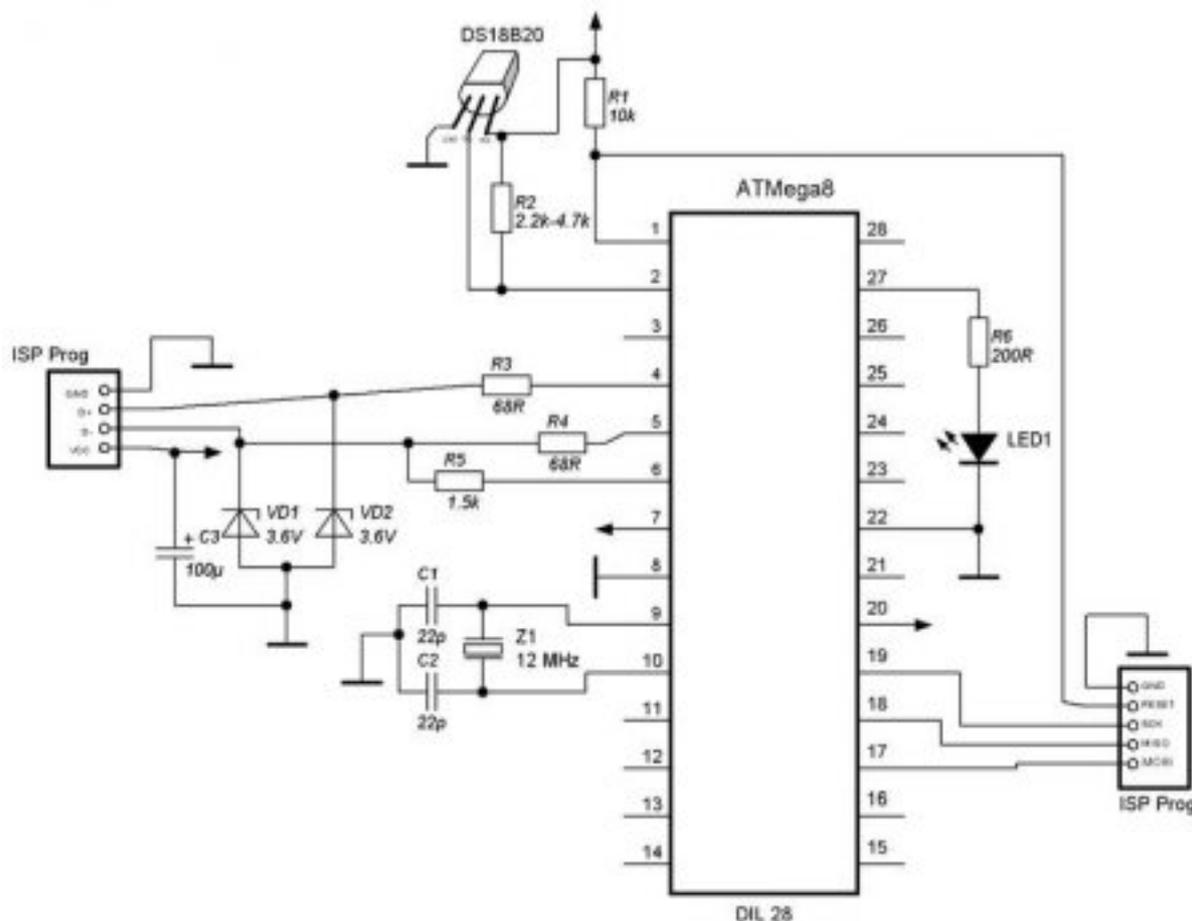


Основные компоненты:

микроконтроллер ATtinny13; жидкокристаллический двухстрочный индикатор; кварцевый резонатор; геркон; три нажимные кнопки; транзистор; подстроечный резистор.

Вариант №5

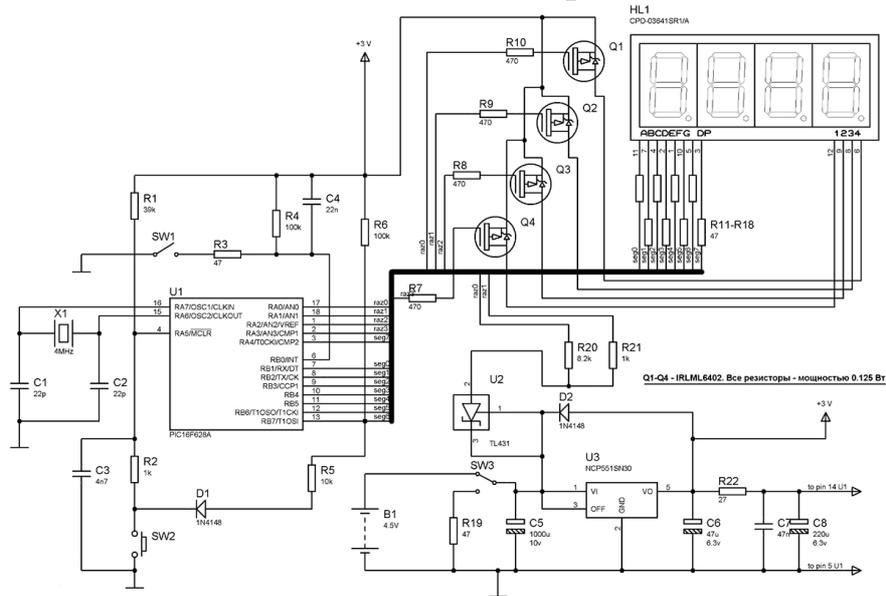
USB термометр



Основные компоненты:

микроконтроллер ATmega8; температурный датчик DS18B20; кварц 12 МГц; 2 конденсатора 22 Пф и один конденсатор по питанию (10V и не менее 100 Мф); 2 резистора 68 Ом; 1 резистор 200 Ом; 1 резистор около 2,2 – 4,7 кОм; 1 резистор 10кОм и 1 резистор 1,5кОм; 2 стабилизатора 3.6V; разъем USB; светодиод.

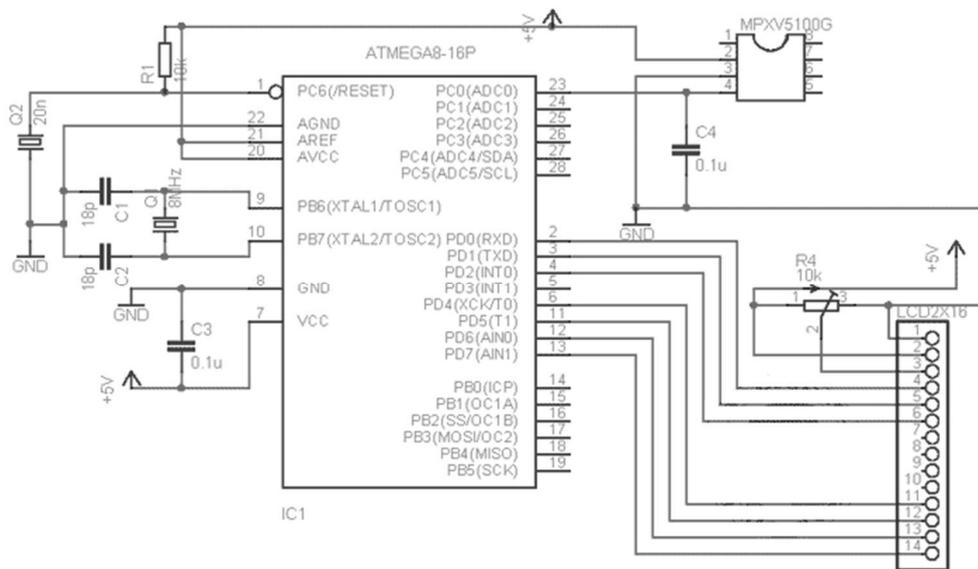
Вариант №6 Велокомпьютер



Основные компоненты:

U1 микроконтроллер PIC16F628A; U2 ИС источника опорного напряжения TL431; U3 стабилизатор NCP551SN30; Q1-Q4 транзистор IRLML6402.

Вариант №7 Измеритель давления

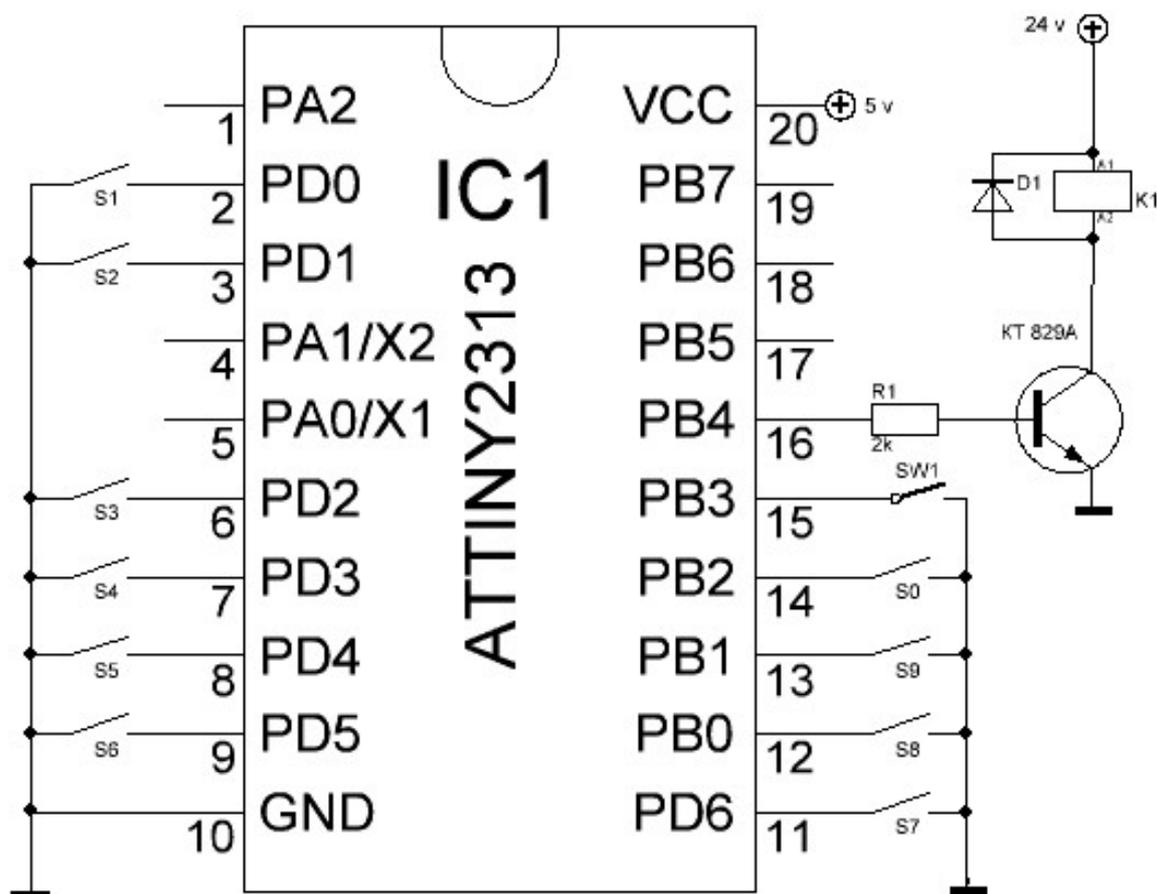


Основные компоненты:

микроконтроллер ATmega8; резисторы, конденсаторы; датчик давления MPXV5100; кварц 8 МГц.

энергонезависимая память EEPROM - 24C16; переключики; реле; динамик.

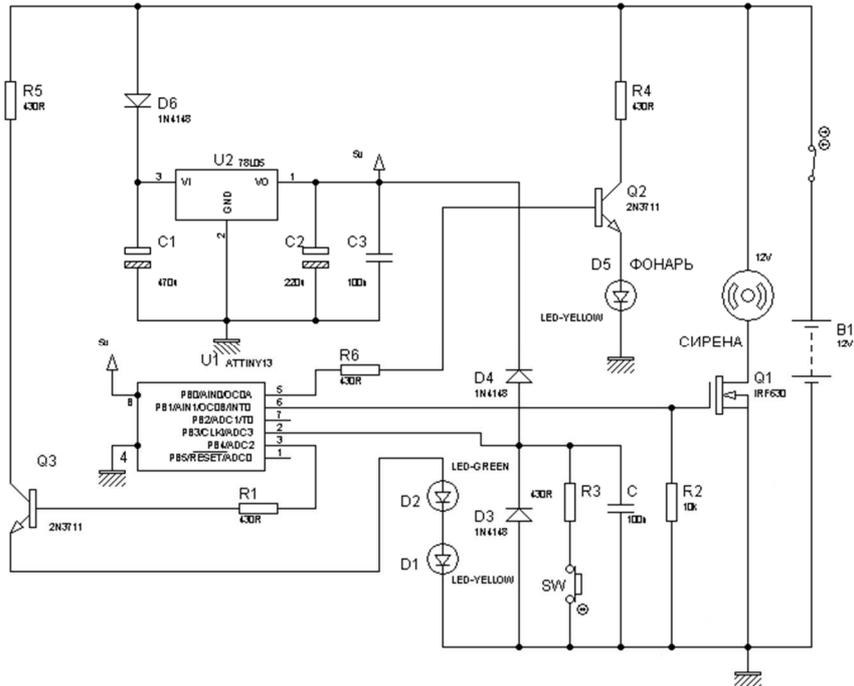
Вариант №10
Кодовый замок



Основные компоненты:

микроконтроллер AVR ATtiny2313; светодиоды; кнопки; резистор; диод 4148; транзистор КТ829А; энергонезависимая память EEPROM - 24C16.

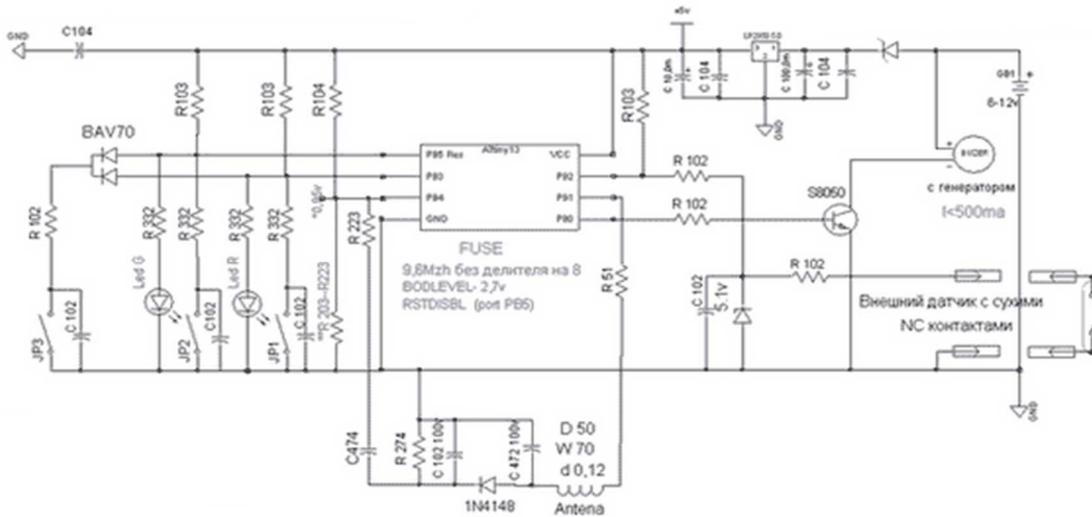
Вариант №11 Охранная сигнализация на ATtiny13



Основные компоненты:

микроконтроллер AVR ATtiny13; светодиоды; кнопки; резисторы; конденсаторы; диоды; полевой транзистор IRF630.

Вариант №12 Охранная сигнализация на RFID картах

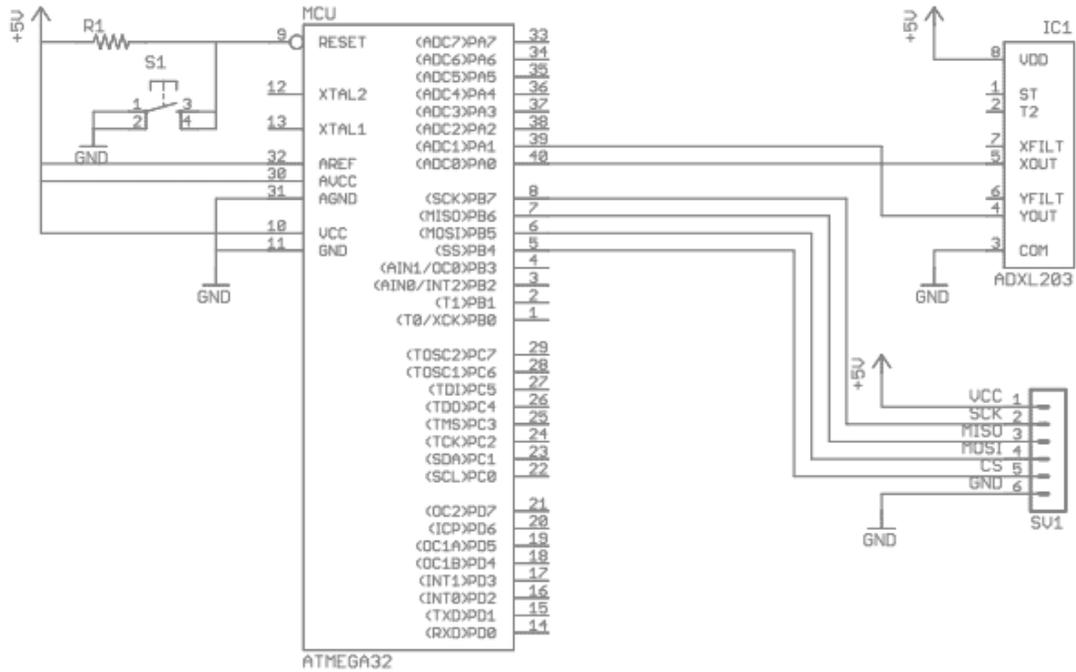


Основные компоненты:

микроконтроллер AVR ATtiny13; стабилизатор 78L05; резисторы; конденсаторы; диоды.

Вариант №13

Пинг-понг на микроконтроллере ATmega32

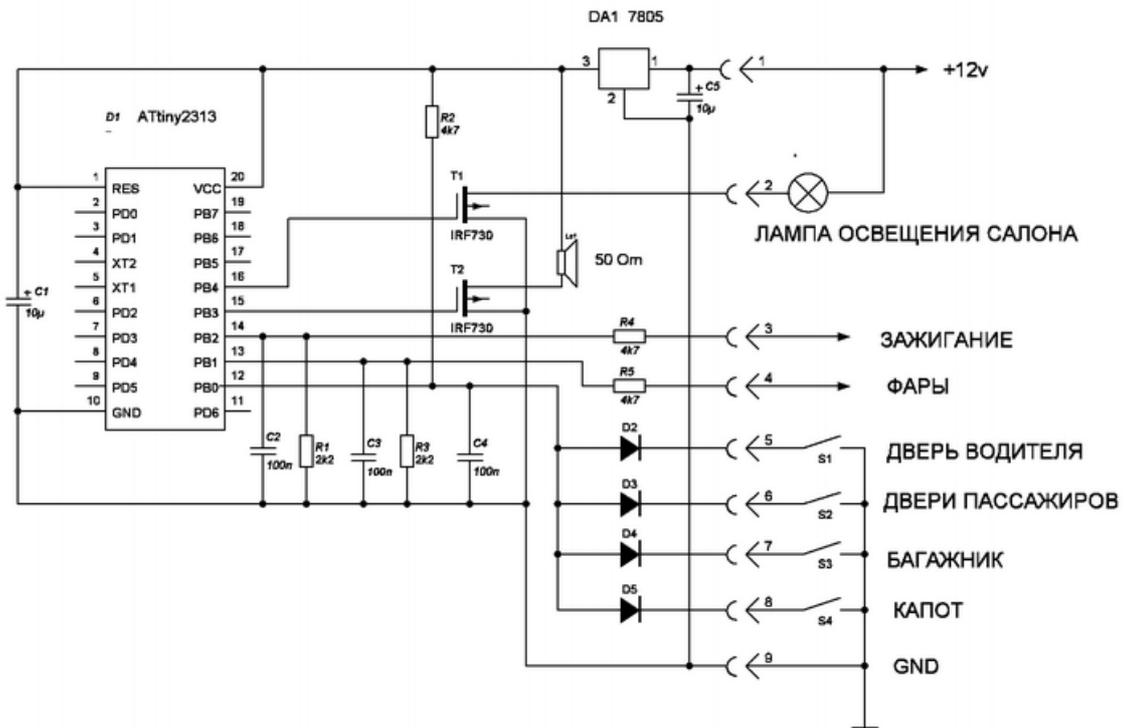


Основные компоненты:

микроконтроллер AVR ATmega32; датчик ускорения Analog Devices - ADXL203; двухцветная матрица светодиодов Sparkfun.

Вариант №14

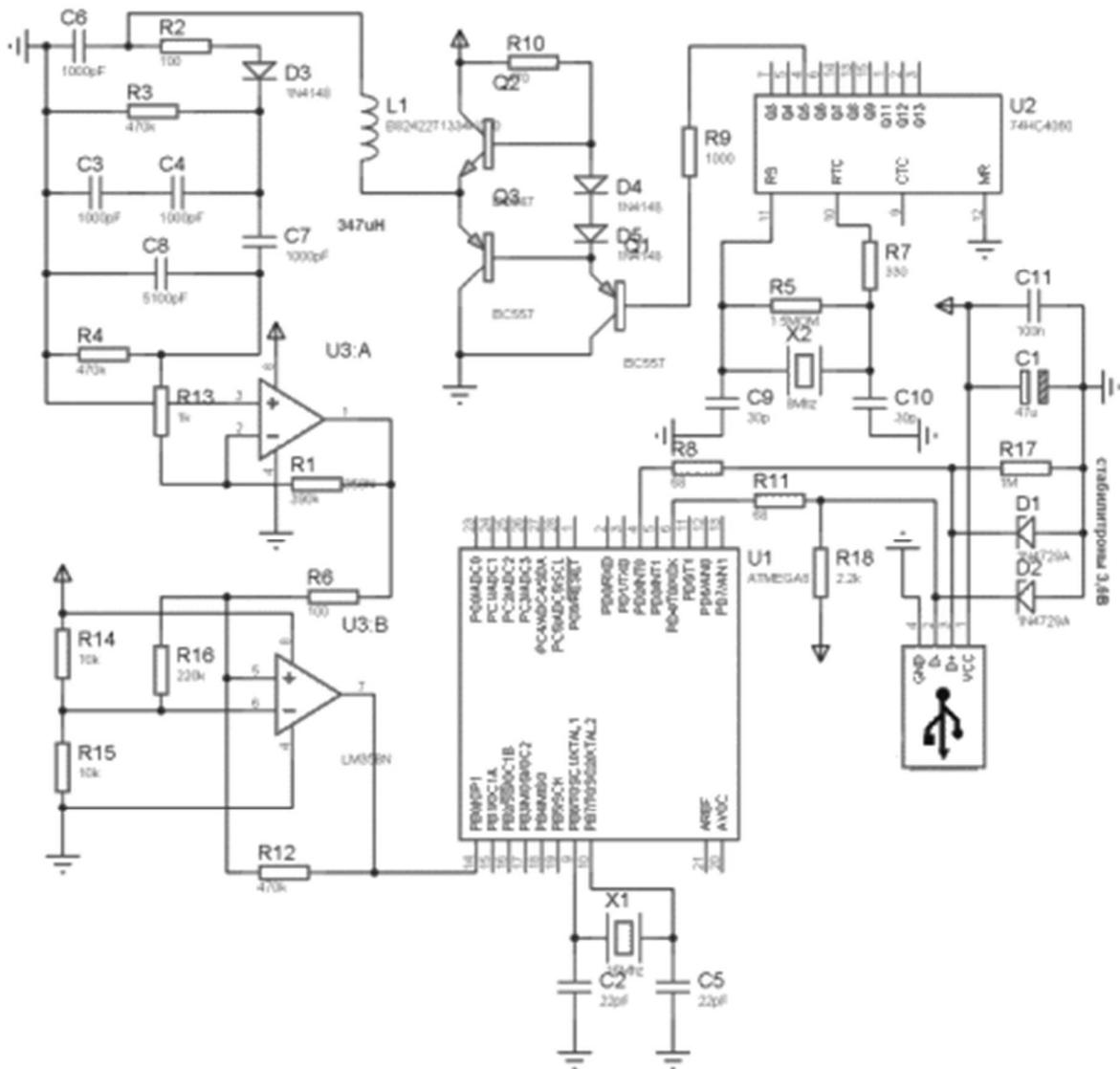
Выключатель фар автомобиля



Основные компоненты:
 микроконтроллер AVR ATtiny2313; стабилизатор 78L05; резисторы;
 конденсаторы; диоды; сирена.

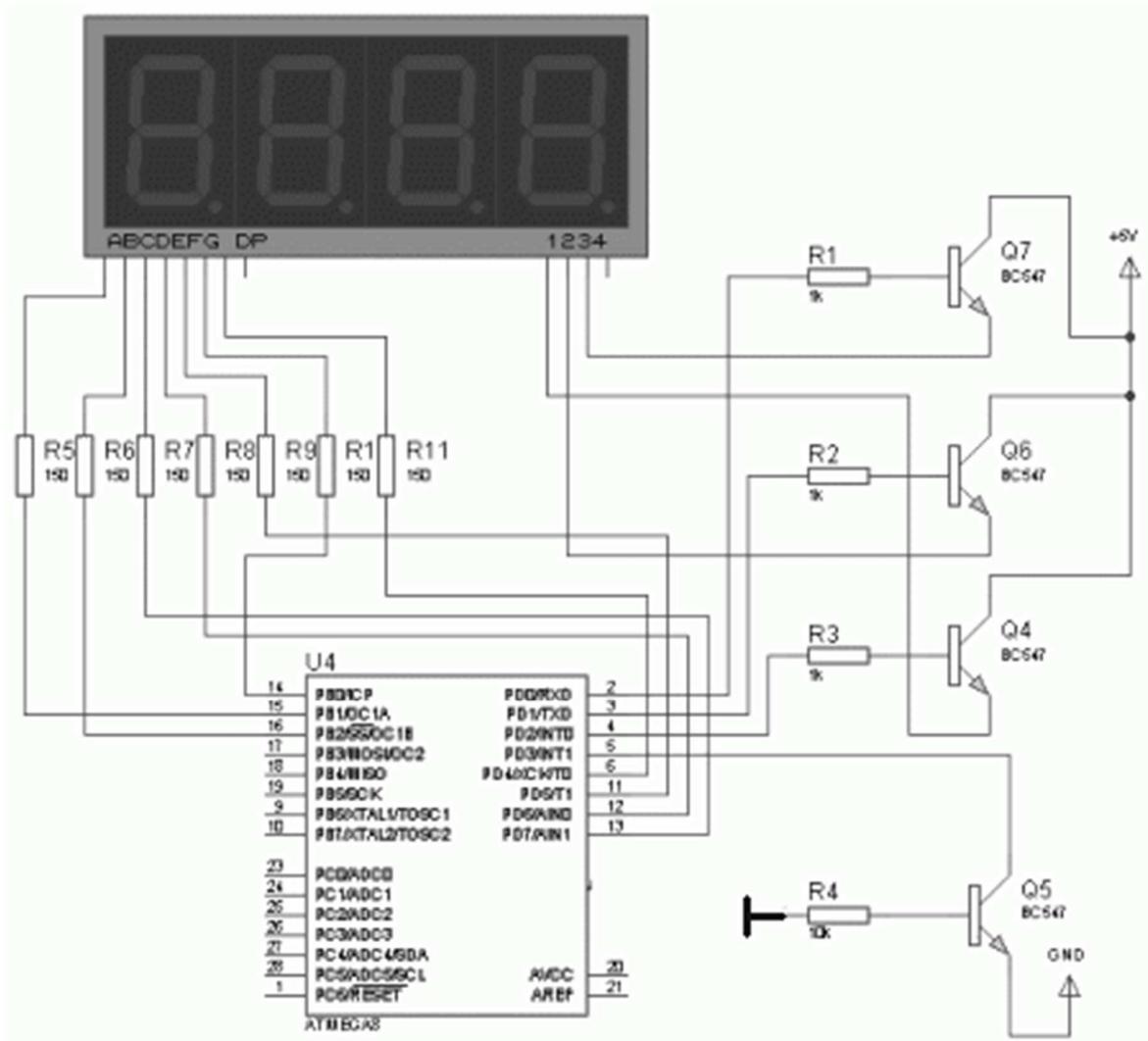
Вариант №15

Считыватель RFID



Основные компоненты:
 микроконтроллер AVR ATmega8; КМОП генератор 74hc4060; резисторы;
 конденсаторы; диоды;

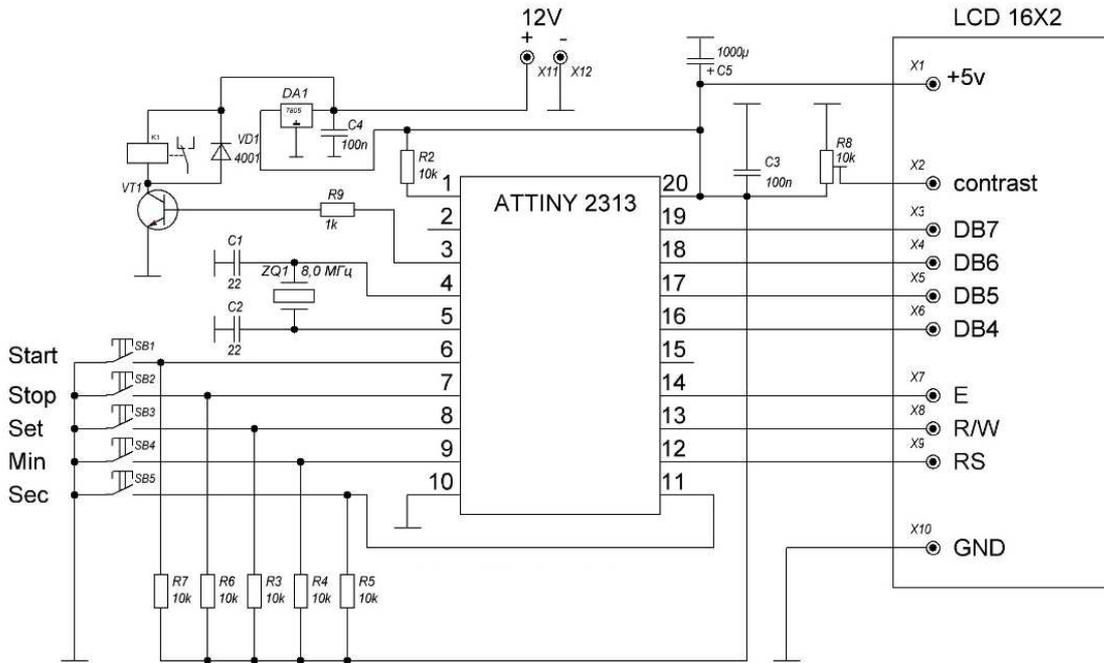
Вариант №16 Электронный спидометр



Основные компоненты:

микроконтроллер ATmega8; 4-х символьный индикатор с общим анодом; n-p-n транзисторы маломощные; стабилизатор 78L05.

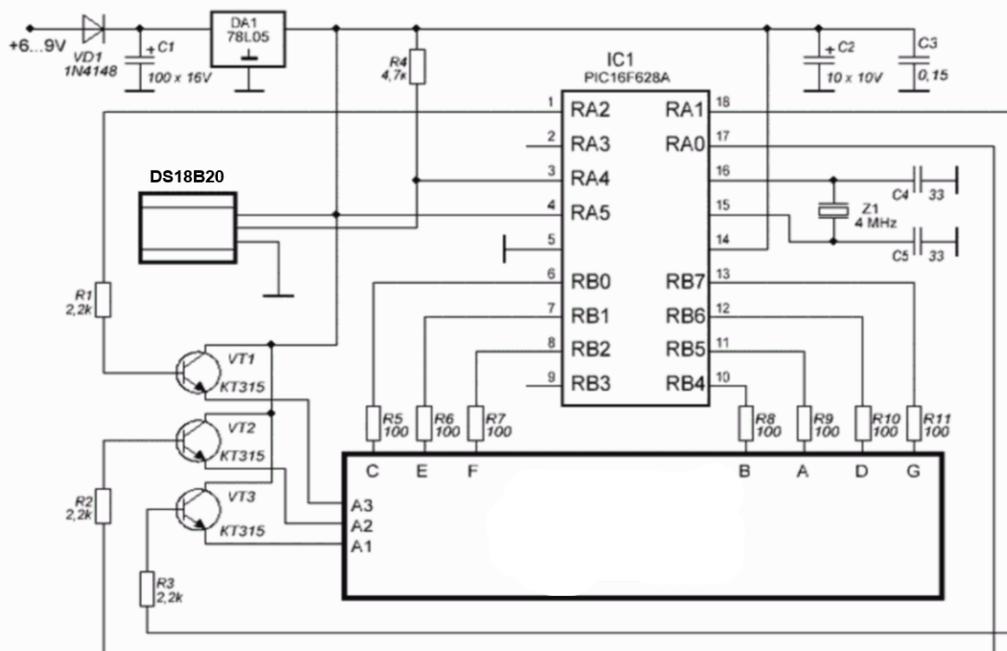
Вариант №17 Таймер засветки



Основные компоненты:

микроконтроллер AVR ATtiny2313; стабилизатор 78L05; резисторы; конденсаторы; диоды; кнопки; 16-ти символьный двухстрочный индикатор.

Вариант №18 Цифровой термометр

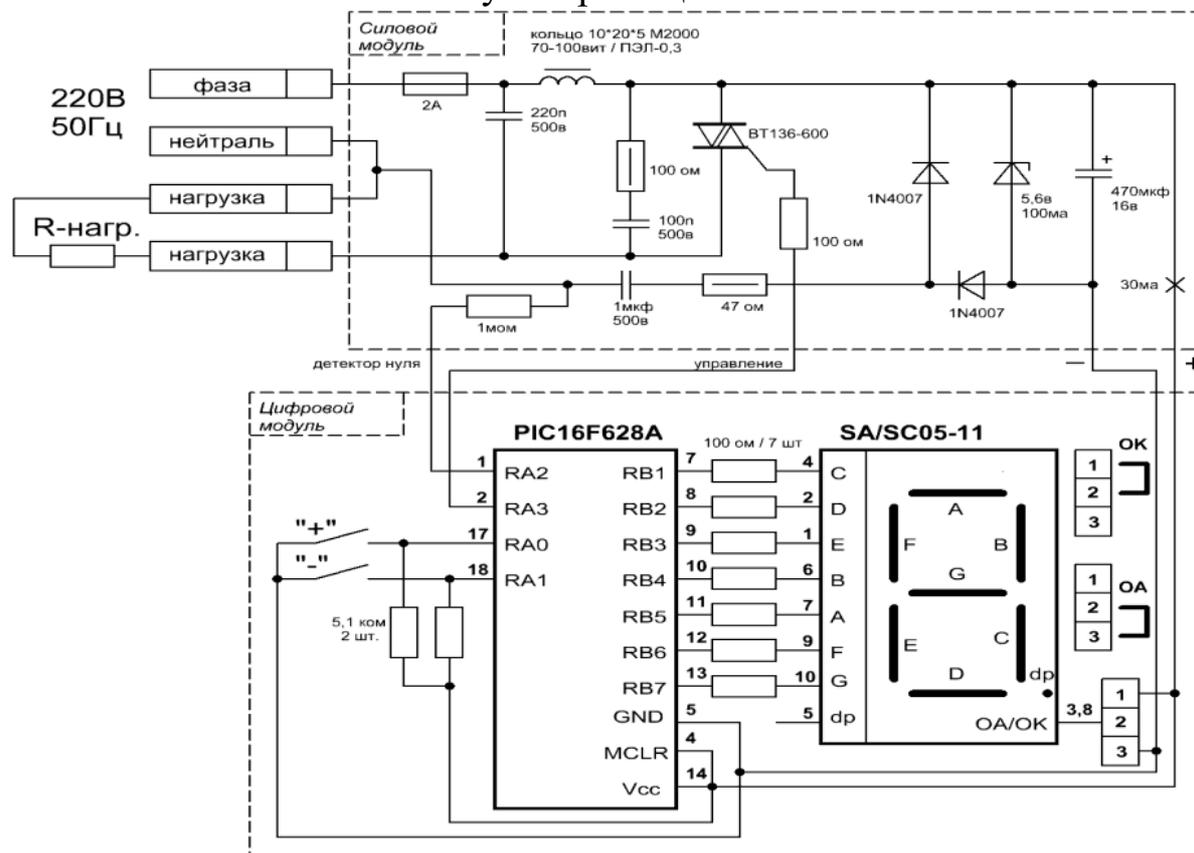


Основные компоненты:

микроконтроллер PIC16F628A; цифровой датчик температуры DS18B20; стабилизатор 78L05; резисторы; конденсаторы; диоды; трехсимвольный семи сегментный индикатор.

Вариант №19

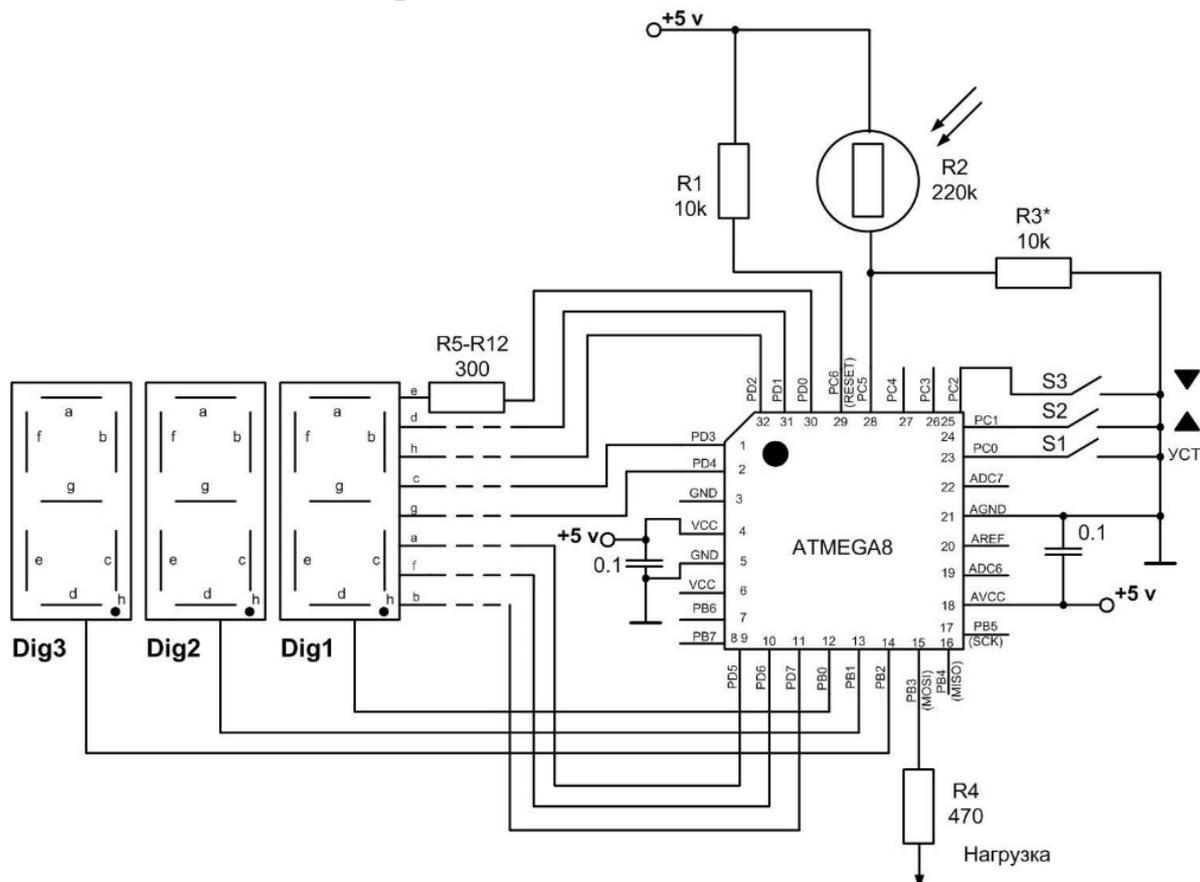
Регулятор мощности



Основные компоненты:

микроконтроллер PIC16F628A; симистор BT136-600; стабилизатор 78L05; резисторы; конденсаторы; диоды; семи сегментный индикатор.

Вариант №20 Электронный выключатель питания



Основные компоненты:

микроконтроллер ATМega8; фоторезистор; резисторы; конденсаторы; диоды; трехсимвольный семи сегментный индикатор; кнопки.

Учебное электронное издание

ПАВЛОВ Дмитрий Дмитриевич

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ И УЗЛОВ

Учебное пособие к выполнению курсового проекта

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10;
Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

Тираж 25 экз.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Изд-во ВлГУ
rio.vlgu@yandex.ru

Институт информационных технологий и радиоэлектроники
кафедра электроники, приборостроения и биотехнических систем
dpavlov@vlsu.ru