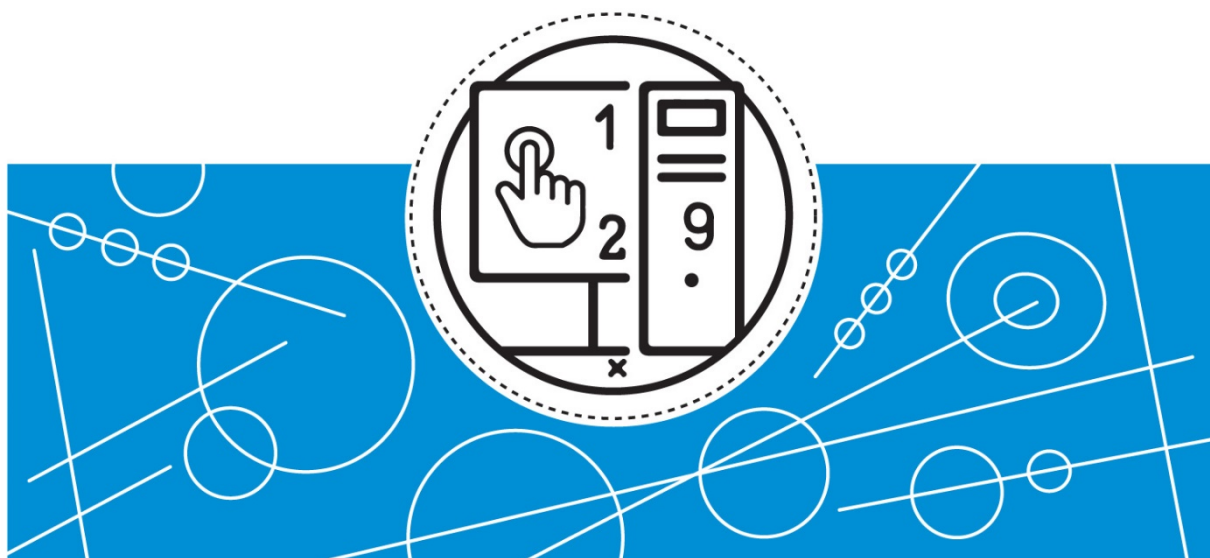


ІІТМО

С.Д. ТРЕТЬЯКОВ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ"**



Санкт-Петербург
2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

С.Д. Третьяков
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ "ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ"

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 12.04.01, 15.04.04
в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

ИТМО

Санкт-Петербург
2026

Третьяков С.Д., Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине "Технология производства радиоэлектронной аппаратуры" – СПб: Университет ИТМО, 2026. – 95 с.

Рецензент(ы):

Синетова Мадина Мансуровна, кандидат технических наук, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") факультета систем управления и робототехники, Университета ИТМО.

Учебное пособие знакомит обучающихся с основными возможностями облачной среды проектирования печатных плат EasyEDA и предлагает материал, для проведения практикума по дисциплинам «Новые производственные технологии» и «Технологии производства радиоэлектронной продукции».

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The 'I' and 'T' are connected, and the 'O' is a solid circle.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: ИТ и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере ИТ. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2026

© Третьяков С.Д., 2026

Содержание

Введение.....	4
1. Знакомство с облачной средой проектирования радиоэлектронных устройств EasyEDA.....	5
2. Работа с редактором схем.....	6
2.1 Инструменты трассировки	8
2.2. Графические инструменты	18
2.3. Работа с библиотеками компонентов	24
3. Работа с редактором печатных плат	36
3.1 Инструменты для работы с редактором печатных плат	37
3.2 Инструменты для работы со слоями и объектами.....	44
3.3 Трассировка дорожек	54
4. Работа с 3D моделями, модулями и создание Гербер-файлов	64
5. Задание для практических занятий	72
Приложение	86
Список литературы	94

Введение

Современные приборы являются сложными комплексными изделиями, которые сочетают в себе самые разные компоненты: от сложных мехатронных компонентов до изделий прецизионной электроники. С другой стороны, современная электроника немыслима без автоматизации проектирования. Системы автоматизированного проектирования (САПР) являются неотъемлемым инструментом современного инженера-технолога, позволяя перейти от абстрактной электрической схемы к материальной печатной плате, пригодной для серийного производства.

Настоящее учебное пособие посвящено практическому освоению облачной САПР EasyEDA. Выбор данной системы обусловлен рядом факторов: доступностью (кроссплатформенность и отсутствие лицензионных отчислений), широкой библиотечной базой и тесной интеграцией с производственными сервисами, что позволяет моделировать полный цикл разработки (CAD/CAM).

В пособии рассматриваются ключевые этапы проектирования: создание условных графических обозначений и посадочных мест, синтез принципиальных схем, топологическое проектирование печатных плат с учетом технологических норм, а также генерация выходных файлов в формате Гербер (Gerber) и создание спецификации материалов, необходимых для производства печатной платы. Особое внимание уделяется правилам верификации проектов (ERC/DRC), позволяющим минимизировать ошибки еще до этапа производства.

Пособие предназначено для обеспечения усвоения студентами учебного материала по дисциплинам «Промышленный интернет вещей» и «Новые производственные технологии» по направлениям подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 12.04.01 «Приборостроение». Пособие может быть использовано студентами при выполнении практических работ.

1. Знакомство с облачной средой проектирования радиоэлектронных устройств EasyEDA

EasyEDA – это специализированное приложение для автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств, которое одинаково доступно как для новичков в области проектирования печатных плат, так и профессионалов, работающих в сфере радиоэлектронного приборостроения.

В основе работы среды EasyEDA лежит облачный сервис, который производит все вычислительные функции при помощи мощных распределённых вычислительных мощностей, расположенных в Китае. Таким образом, скорость выполнения различных работ зависит не от характеристик компьютера пользователя, а от скорости интернет-соединения. Также сервис имеет десктопный клиент, который немного упрощает и ускоряет работу, но все операции всё равно выполняются через облачный сервис <https://easyeda.com/>.

EasyEDA предоставляет довольно широкий спектр возможностей, например: редактор схем электрических принципиальных, редактор печатных плат, автотрассировка печатных плат, просмотр печатной платы в 3D, создание файлов для производства печатной платы (Гербер-файл), возможность моделирования электрических принципиальных схем, экспорт в BOM (спецификация материалов) и многое другое.

Работа в среде EasyEDA начинается с Центра пользователя. Перед началом работы необходимо зарегистрироваться в Центре пользователя (Рис.1.1).

Create Your Account

The registration form includes the following elements:

- Account type selection: Company and Personal.
- Input fields for Username, Email, Password (with an eye icon for visibility), and Country (dropdown menu).
- A checkbox for "I'm not a robot" next to a reCAPTCHA logo and "Privacy - Terms" link.
- A "Change Captcha Type" link.
- Two checkboxes: "I agree to EasyEDA's [Terms of Use](#) and [Privacy Policy](#)" and "Subscribe to our newsletter. [View Newsletter Policy](#)".
- A prominent blue "Sign Up" button.
- A light gray button for "Already have an account? Sign In".
- A link "or continue with" at the bottom.

Рис.1.1 Регистрация в сервисе

Вопросы для самоконтроля:

1. Что представляет собой EasyEDA и в чем ключевое отличие её облачной модели работы от классических «тяжелых» САПР?
2. Перечислите основные возможности, которые предоставляет платформа EasyEDA для проектирования радиоэлектронных устройств.
3. С чего начинается работа в среде EasyEDA и какие существуют варианты доступа к сервису (веб-версия, десктопный клиент)?
4. От какого фактора в первую очередь зависит скорость работы в облачной версии EasyEDA?

2. Работа с редактором схем

Программная среда EasyEDA предлагает довольно удобный и интуитивно понятный редактор электрических схем. Для начала работы с редактором схем необходимо настроить рабочую область. Для этого можно просто один раз кликнуть мышкой по пустой рабочей области. В новом окне откроются свойства рабочей области редактора схем (Рис.2.1).

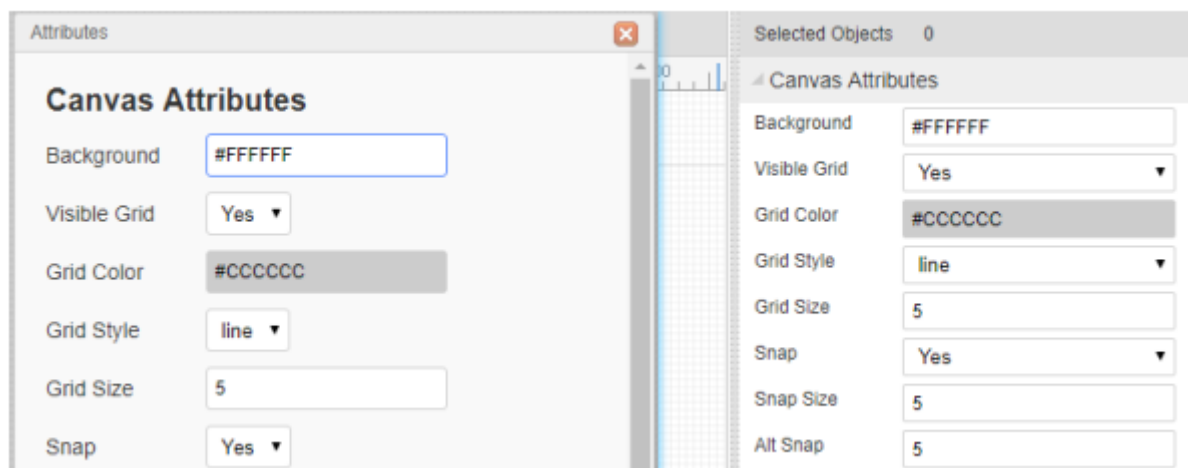


Рис.2.1 Свойства рабочей области

Таким образом можно настроить цвет рабочей области, цвет фона, а также стиль отображения, размер и видимость всех атрибутов рабочей области. Размер рабочей области можно задать непосредственно с помощью параметров «Ширина» и «Высота» или используя доступные предустановленные размеры рамок.

Настройки сетки рабочей области:

- Visible Grid (Видимая сетка): Да или Нет
- Grid Color (Цвет сетки): Любой допустимый цвет

- Grid Style (Стиль сетки): Линейный или точечный
- Grid Size (Размер сетки): Для обеспечения правильного выравнивания всех элементов EasyEDA рекомендуется установить значение 10, 20, 100. Единица измерения — пиксель.
- Grid Color (Цвет сетки (и фона)) можно задать напрямую, введя шестнадцатеричное значение нужного цвета или щелкнув по цвету в палитре, которая открывается при щелчке по полю значения цвета (Рис.2.2).

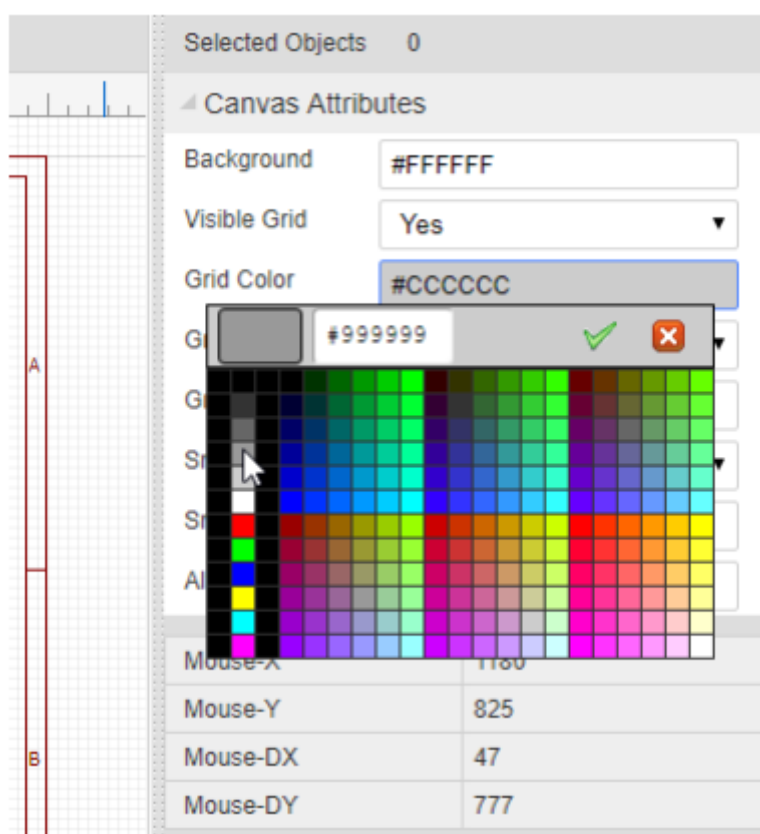


Рис.2.2 Палитра настройки цвета рабочей сетки

Snap (Привязка):

- Snap (Привязка): Да или Нет. Нажатие этой клавиши включает и выключает привязку к сетке.
- Snap size (Размер привязки) : Для обеспечения правильного выравнивания всех компонентов EasyEDA рекомендуется установить

значение 10, 20, 100, но подойдет любое допустимое число, например, 1, 5, 10.

Разработчики рекомендуют всегда оставлять значение «Привязка = Да». После размещения элементов вне сетки их может быть очень сложно вернуть обратно. Размещение вне сетки может привести к тому, что провода будут выглядеть так, как будто они соединены, хотя на самом деле это не так, что вызовет ошибки в списке соединений, которые будет трудно обнаружить. Если нужно нарисовать детализированные части новых символов или посадочных мест, которые должны располагаться между точками сетки, то можно попробовать уменьшить шаг сетки для отрисовки этих элементов, а затем вернуть сетку к выбранному значению по умолчанию, после того как эта часть чертежа закончена. Установка значения «Привязка = Нет» должна использоваться только в крайнем случае. ALT Snap: Размер привязки при нажатии клавиши ALT.

2.1 Инструменты трассировки

Инструменты трассировки находятся в верхнем рабочем меню **Top Menu > View > Wiring Tools...** (Рис.2.3).

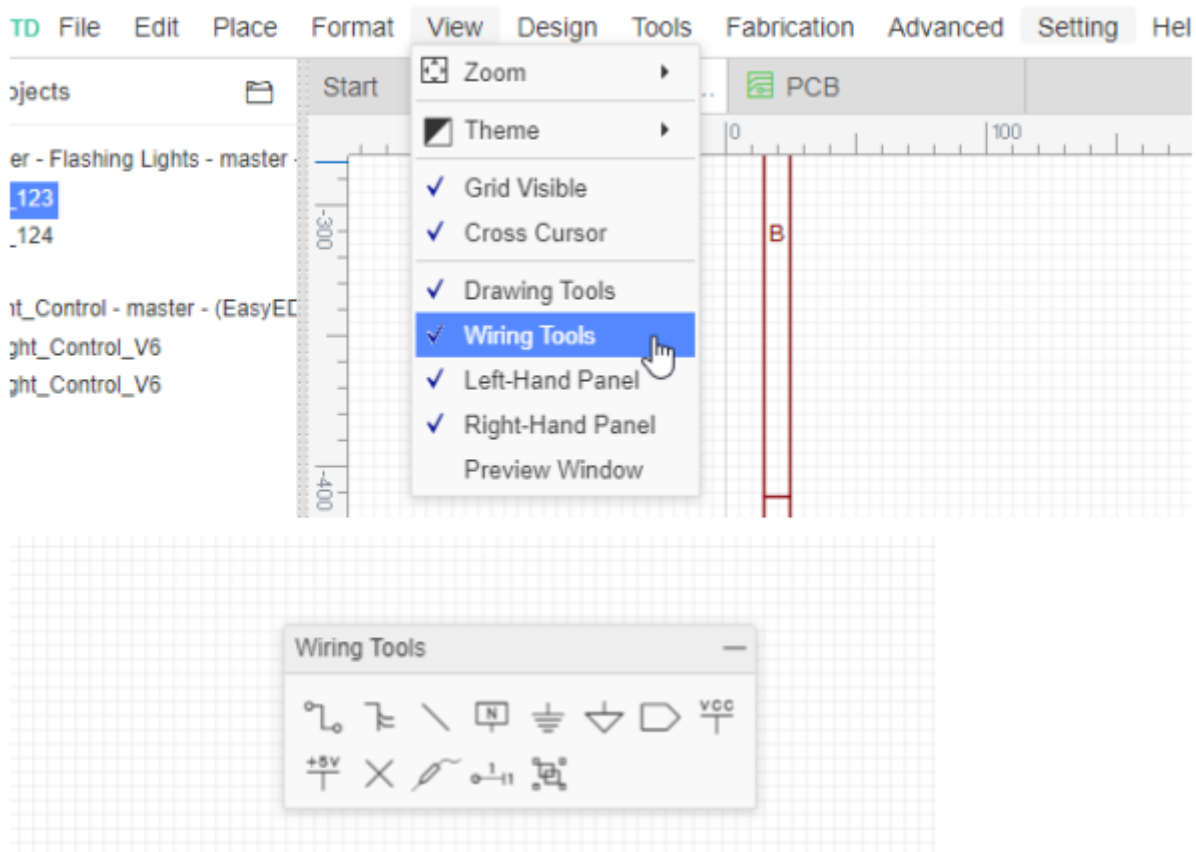


Рис. 2.3 Инструменты трассировки

Все команды в разделе «Инструменты для трассировки» (Wiring tools) связаны с радиоэлектронными элементами. Не рекомендуется использовать

элементы проводки, если нужно просто провести линию, нарисовать фигуру или стрелку. Для таких задач лучше использовать инструменты для рисования.

Существует три способа включить режим трассировки.

1. Нажатие на кнопку «Проводка» (**Wire**) на панели инструментов «Инструменты трассировки» (Wiring tools).

2. Нажатие на клавишу W.

3. Сделать клин по концу контакта компонента (там, где появляется серая точка, если вы уже выбрали компонент). В этом случае программа автоматически переключится в режим трассировки. (Рис. 2.4).

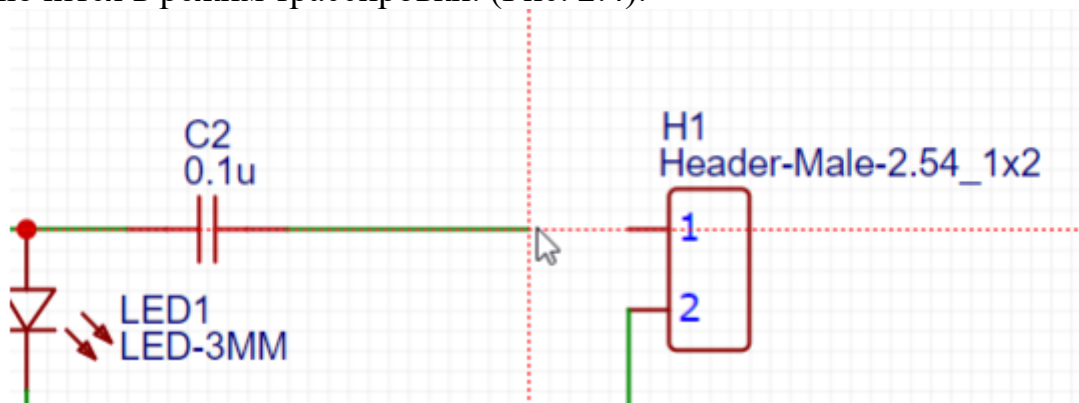


Рис.2.4 автоматическое переключение в режим трассировки

На рисунке 2.5 представлен проект LED мультивибратора после трассировки.

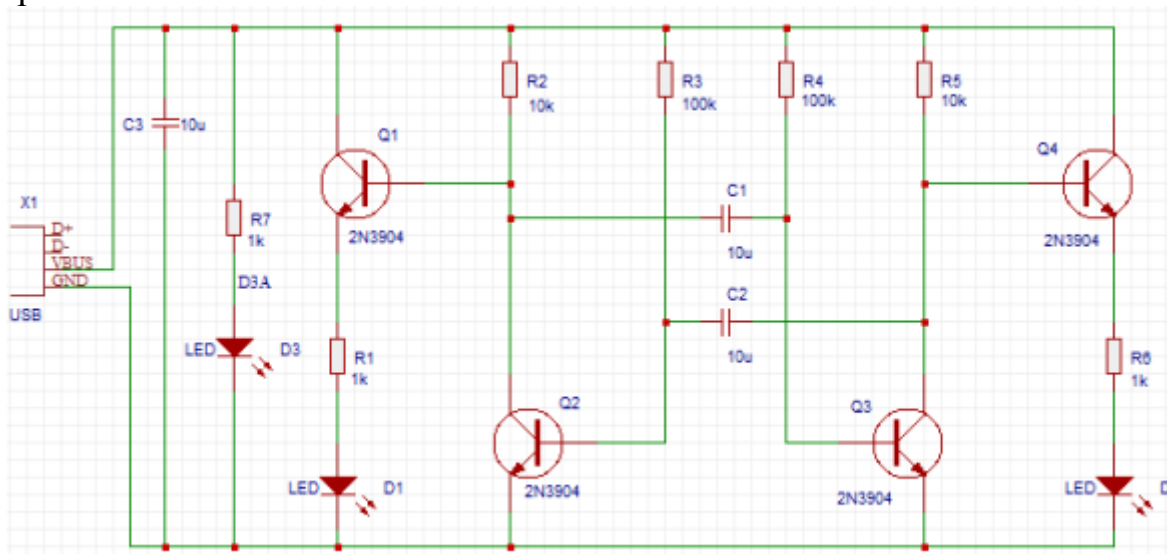


Рис. 2.5 Схема LED мультивибратора после трассировки элементов

Если поместить компонент, например резистор, поверх провода, то проводка обрывается и повторно соединяется с концами этого компонента. При перемещении выбранных компонентов с помощью мыши они будут в некоторой степени «тянуть» за собой прикрепленные к ним провода, но при этом стоит иметь в виду, что эта совеобразная функция «тяги» имеет некоторые ограничения. При перемещении выбранных компонентов большая часть

проводки будет перемещаться вертикально и горизонтально, но если использовать клавиши клавиатуры со стрелками, то эффект перетягивания проводки не работает, а выделенные элементы трассировки не «тянутся». Также выбранный провод можно перемещать непосредственно щелчком мыши или с помощью клавиш клавиатуры «Стрелки». Если провод выбран щелчком мыши, то на его концах и в вершинах появятся зеленые маркеры (Рис. 2.6).

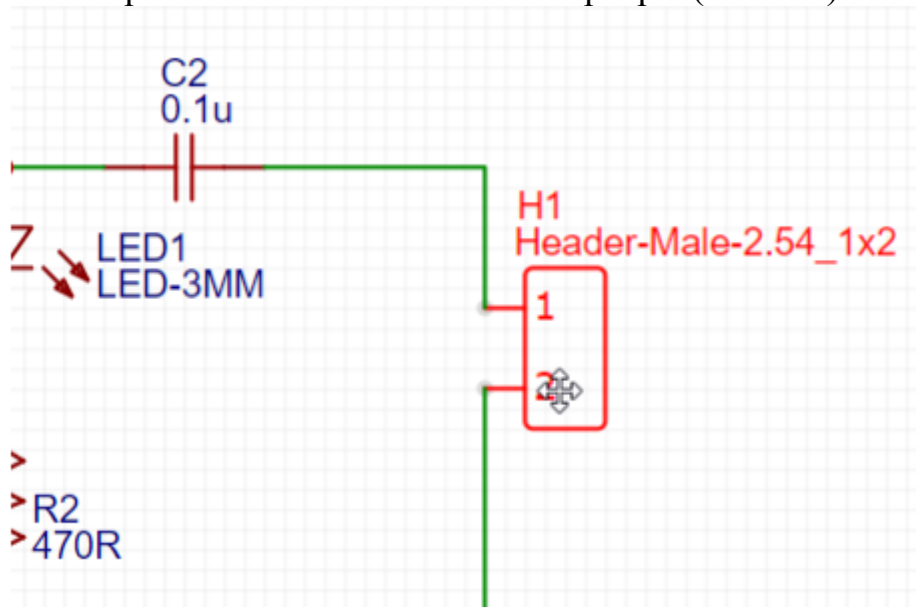


Рис.2.6 Выбор элементов проводки

Также в программе реализована автоматическая настройка соединения элементов. Например, если подключить резистор или конденсатор к проводу, провод автоматически соединит контакты, как показано на рисунке (Рис.2.7).



Рис. 2.7 Автоматическое соединение контактов элементов

Если необходимо, например, соединить несколько резисторов подряд, то можно просто соединить их всех проводами (Рис.2.8).

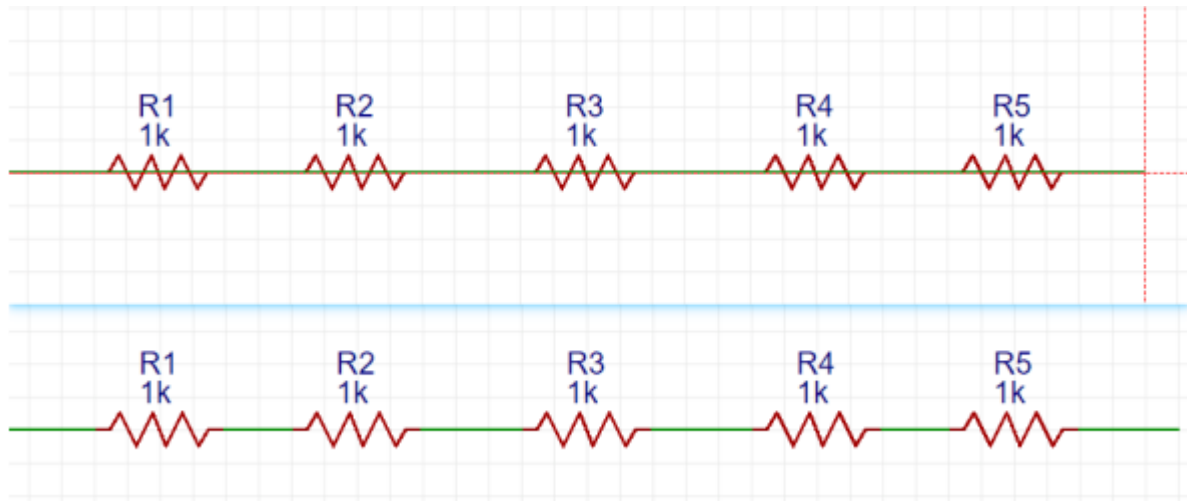


Рис.2.8 Соединение нескольких элементов

Если сделать клик мышкой по проводке, то можно заметить узлы проводки. Белым цветом обозначается виртуальный узел, а красным – реальный. Чтобы создать реальный узел, необходимо перетащить мышью виртуальный, а при нажатие правой кнопкой мыши по части проводки удалит часть проводки между реальными узлами (Рис.2.9).

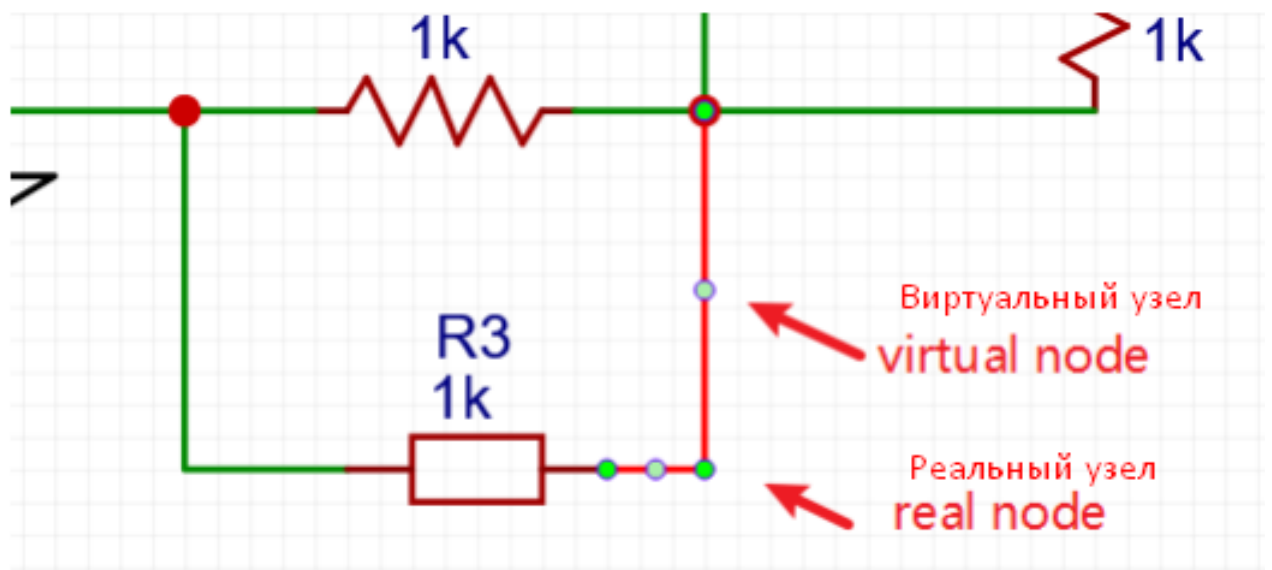


Рис.2.9 Работа с виртуальными и реальными узлами проводки

При работе со сложными схемами может понадобиться очень много соединений, и для упрощения работы с большим количеством проводов целесообразно использовать шину (Рис.2.10). При использовании шины необходимо убедиться, что начало шины соединено со всеми узлами проводки, как показано на рисунке 2.9. При этом надо понимать, что термины «Шина» и «Начало шины» нужны только для наглядности, так как при их размещении в любом случае будет необходимо указать метку сетки (Net Label).

Функция «Метка сетки» (NetLabel) позволяет присваивать имена проводам, что облегчает их поиск и позволяет выявить любые неправильные соединения. Найти NetLabel можно на панели инструментов «Проводка» или с помощью горячей клавиши N. При выборе NetLabel его атрибуты отображаются на правой панели «Свойства» (Рис.2.11). Здесь можно изменить название и цвет метки. Если надо изменить только имя сетки, то можно просто при помощи двойного клика мышью войти в режим редактирования.

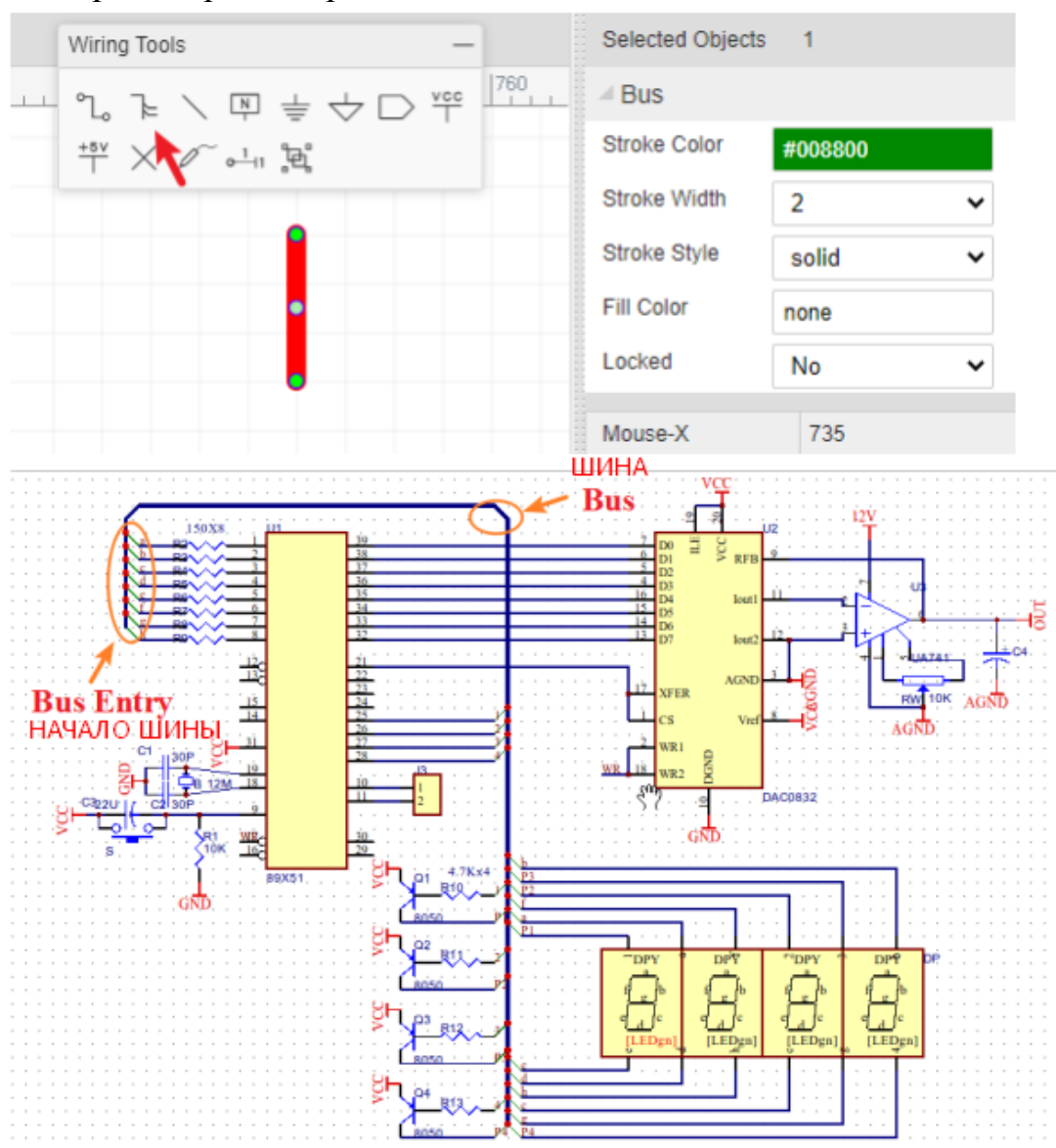


Рис.2.10 Работа с шинами

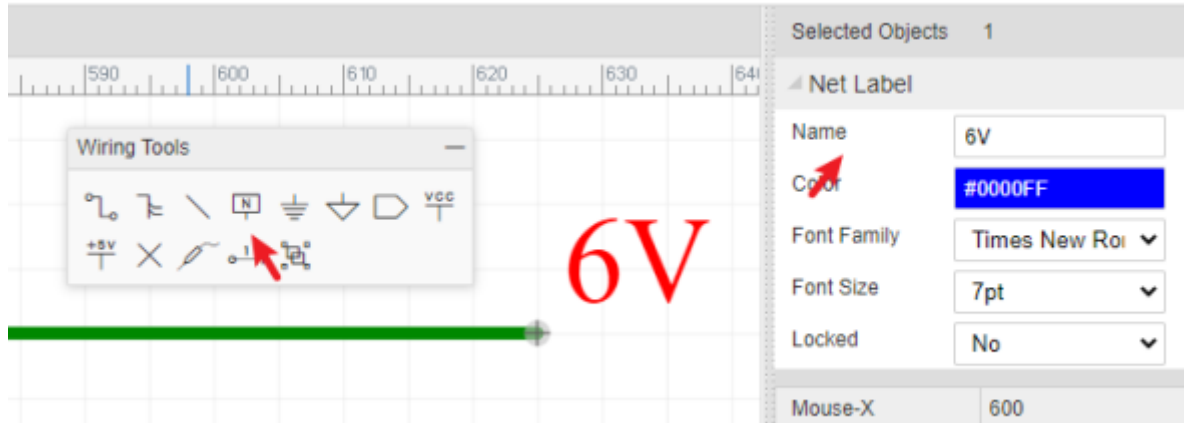


Рис.2.11 Редактирование метки сетки

EasyEDA также поддерживает множественные метки цепей в одной схеме. При преобразовании схемы в печатную плату редактор выберет первую метку электрической цепи, которая указана в качестве имени для этого соединения, как показано на рисунке 2.12 и 2.13: NETLABEL1.

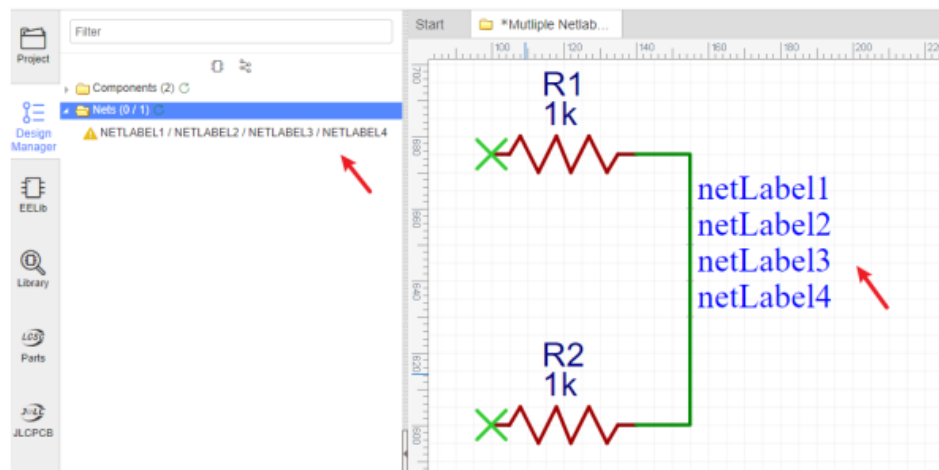


Рис.2.12 Множественные метки цепей

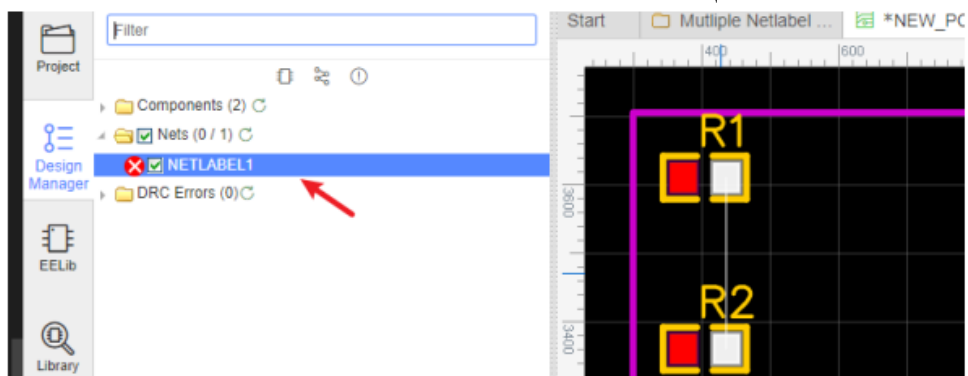


Рис. 2.13 Конвертация метки при преобразовании в печатную плату

При работе с множественными метками следует придерживаться некоторых правил, указанных ниже:

- Если провод 1 имеет 3 метки сетки A, B и C, а провод 2 имеет метку сетки A, то провод 1 и провод 2 представляют собой одну и ту же сетку.
- Метки сетки поддерживают только английские символы и буквы, а также арабские цифры.
- Если префикс компонента — P1, который имеет два вывода, то по умолчанию у него будут две сетки «P1_1» и «P1_2».
- Если разместить метку сетки с именем P1_1 на другом проводе, который не соединен с выводом P1, то значение по умолчанию «P1_1» изменится на «P1_1(1)», чтобы избежать неправильного соединения с меткой сетки «P1_1».

Флаг сетки (NetFlag) — это в принципе то же самое, что и Метка сетки (NetLabel). Флаг сетки находится на палитре инструментов трассировки или можно использовать для доступа к этой функции сочетание клавиш Ctrl+G для GND или Ctrl+Q для VCC. Также можно изменить его имя, например, с +5V на VDD (Рис.2.14). Если появляются два или более сетевых флага или сетевых меток с одинаковым названием, они будут связаны друг с другом (Рис.2.15). Палитра инструментов для трассировки предоставляет следующие параметры Флага сетки:

- Digital GND (Цифровое заземление)
- Analog GND (Аналоговое заземление)
- VCC
- +5V

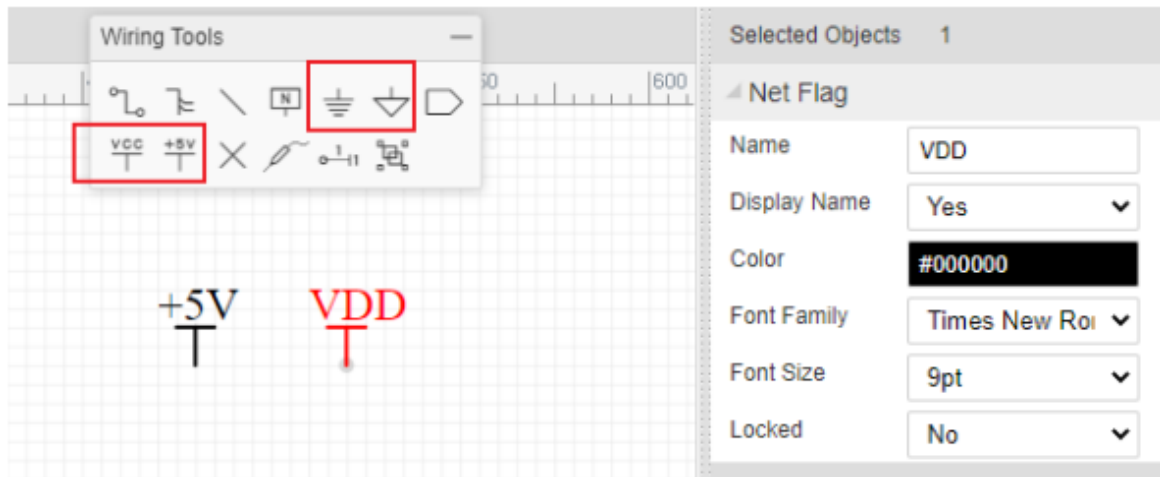


Рис.2.14 Флаг сетки (Net Flag)

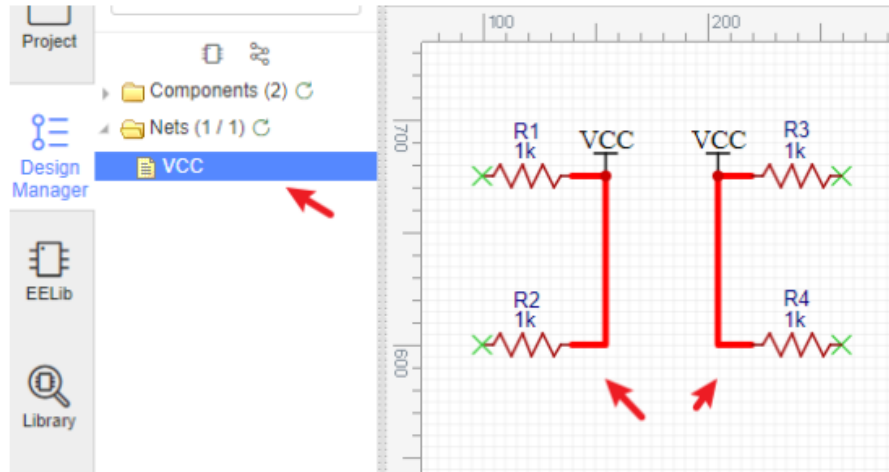


Рис.2.15 Два или более сетевых флага

В EasyEDA сетевой порт (Net Port) работает аналогично сетевой метке. То есть он не различает входной и выходной сетевой порт. Если нет надобности прокладывать слишком много проводов, то целесообразно использовать сетевой порт (Рис.2.16).

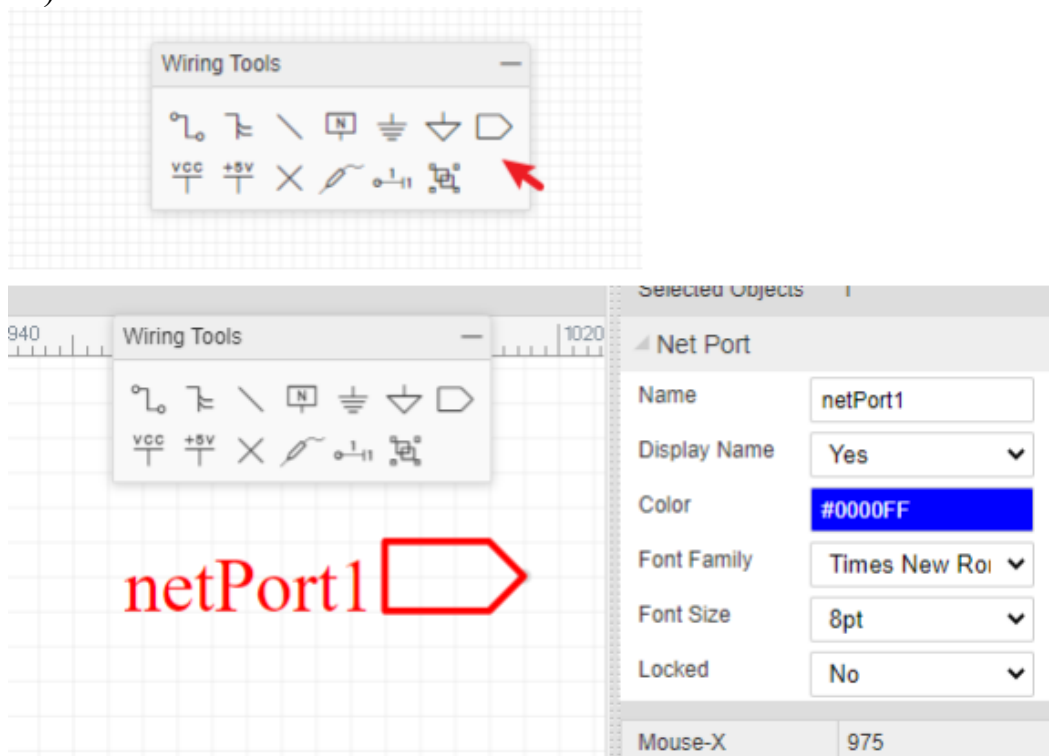


Рис.2.16 Сетевой порт (NetPort)

Использование сетевого порта поможет сделать схему более аккуратной, так как можно будет присвоить каждому сетевому порту имя сетки (Рис.2.17).

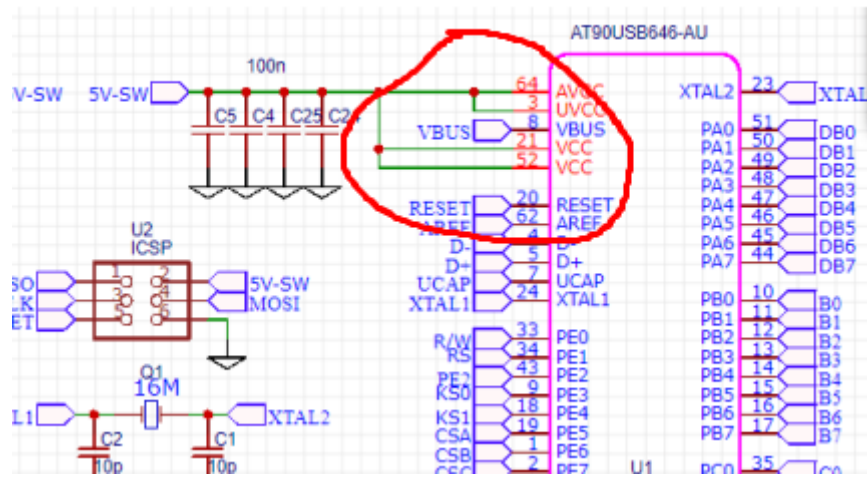


Рис.2.17 Применение сетевого порта

Ещё одной из полезных функций инструментария трассировки является метка «Нет соединения» (No Connect Flag) (Рис.2.18). В схеме, представленной на рисунке 2.19, если не добавить такую метку, то появится сообщение об ошибке.

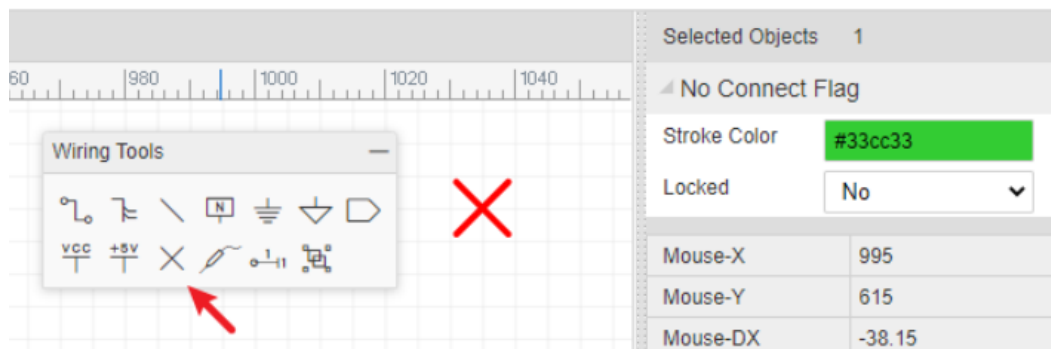


Рис.2.18 Метка «Нет соединения»

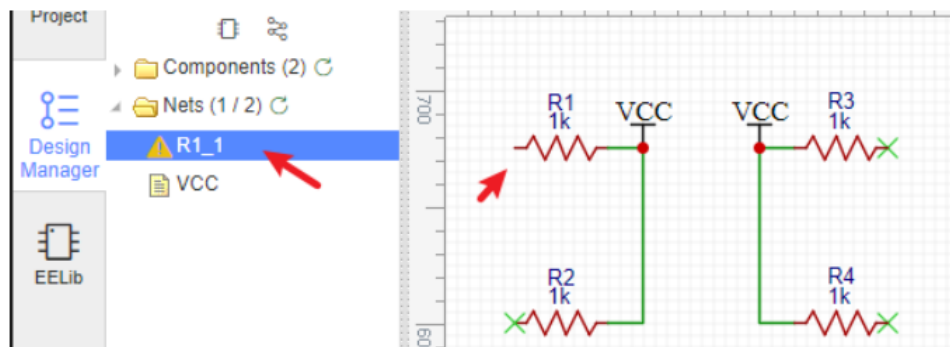


Рис.2.19 Ошибка соединения

После добавления метки No Connect Flag и обновления папки сеток ошибка исчезнет.

Также в процессе трассировки можно разместить на схеме измерительный щуп (Рис.2.20). Размещение измерительного щупа поможет на этапе симуляции спроектированной схемы оценить электрические характеристики на этапе её проектирования (Рис.2.21).

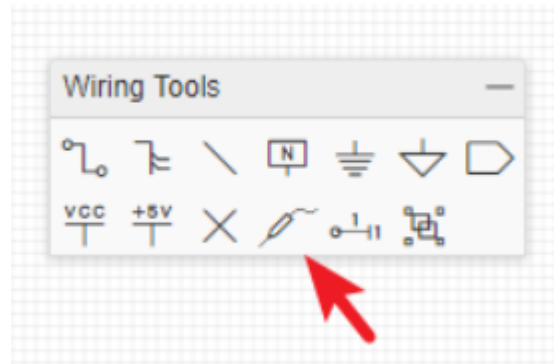


Рис.2.20 Щуп (Voltage Probe)

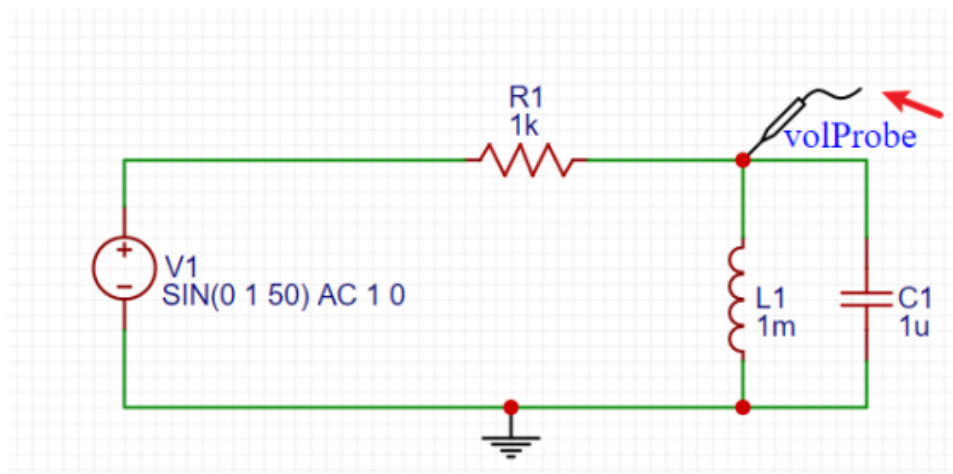


Рис.2.21 Размещение измерительного щупа

При создании нового символа в схеме и библиотеке схем необходимо использовать Pin для создания выводов для нового символа, иначе новый символ не сможет быть соединен проводами (Рис.2.22).

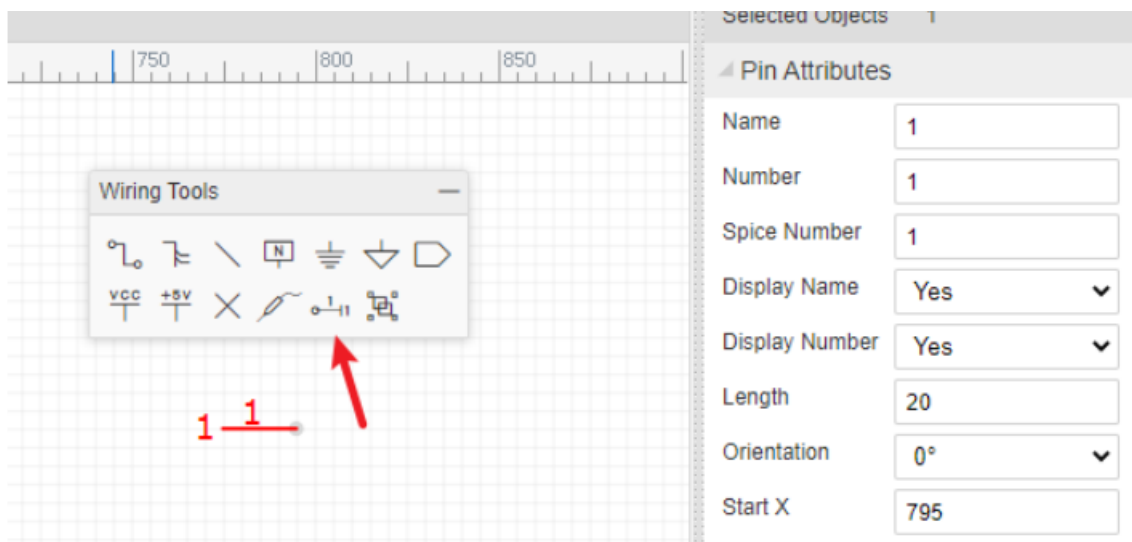


Рис.2.22 Pin

2.2. Графические инструменты

После создания принципиальной схемы можно перейти к оформлению конструкторской документации. Графические инструменты EasyEDA позволяют добавлять примечания к проекту или к его части, оформить документацию в формате А4. Для доступа к графическому инструментарию необходимо нажать кнопку «Фрагмент/Чертеж/Документ» (Рис.2.23).

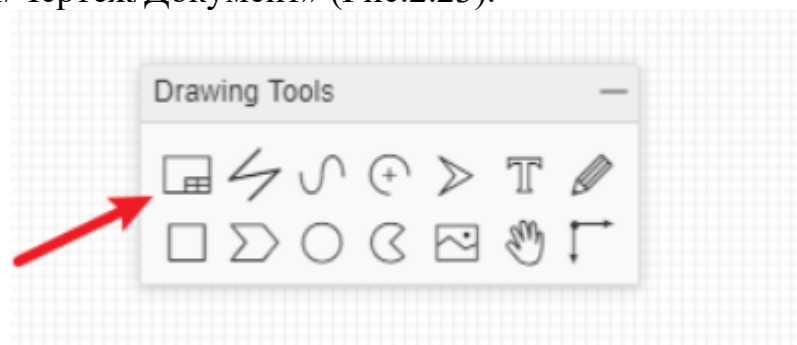


Рис.2.23 Графические инструменты

Здесь можно редактировать выделенный синим цветом текст, предварительно выделив его атрибуты, или просто дважды щёлкнуть по тексту мышью. Нижнюю правую область рабочей области можно выделить и перетащить в другое место, также как можно перетащить или удалить рамку. Выделив нижнюю правую область рабочей зоны, можно редактировать атрибуты листа (Рис.2.24).

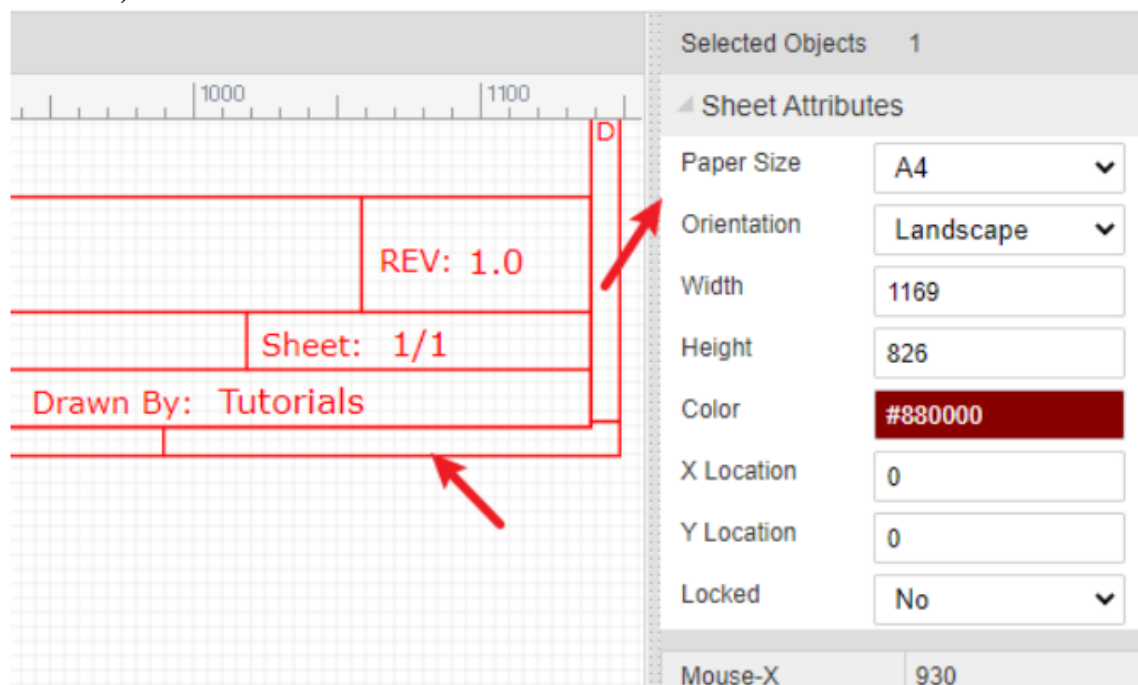


Рис.2.24 Редактирование текста

EasyEDA поддерживает создание пользовательских шаблонов документации. Пользовательские чертежи необходимо размещать вручную, но при

этом автоматическое добавление ссылок на такие чертежи при создании принципиальной схемы не поддерживается. Для создания пользовательского шаблона документа необходимо:

1. Нажать на Настройки Листа (Sheet Settings) в меню графических инструментов.
2. Далее нажать на Добавить пользовательский (Add Custom) Рис.2.25.

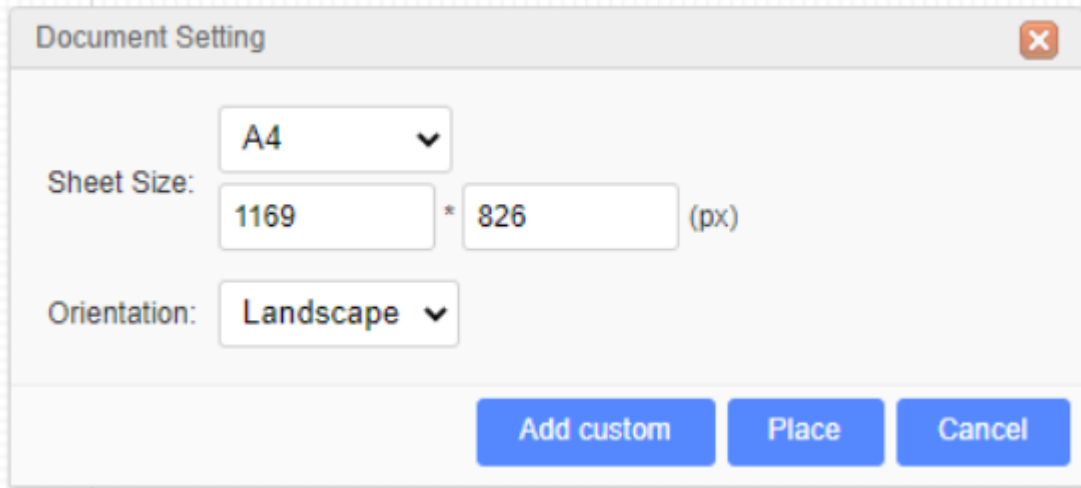


Рис.2.25 Добавление пользовательского шаблона документа

3. Откроется редактор, и появится возможность редактирования таблицы с необходимыми для работы данными (Рис.2.26).

	MPN		
Verifier	Type		
Draw by	BoardType		A3
Revision	Department		Time
Date	Company	Project title	

Рис.2.26 Редактор пользовательского шаблона

4. Далее можно выделить внешний контур документа и настроить его размер (Рис.2.27).

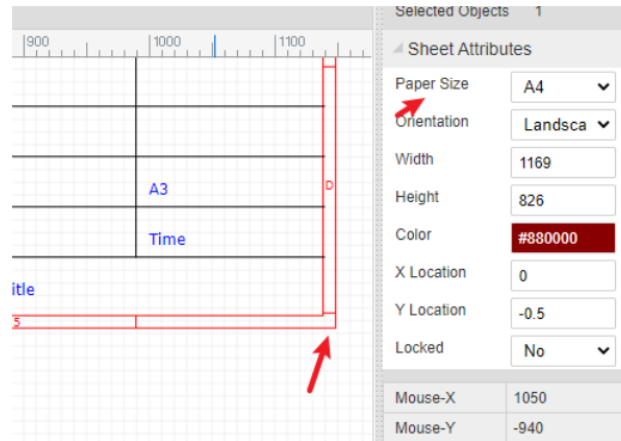


Рис.2.27 Настройк внешнего контура документа

5. После сохранения шаблона его можно будет разместить на схеме, например, в качестве элемента в разделе «Библиотека»

В редакторе схем также можно рисовать линии в любом направлении. Соответственно можно также менять и атрибуты получившегося рисунка (Рис.2.28).

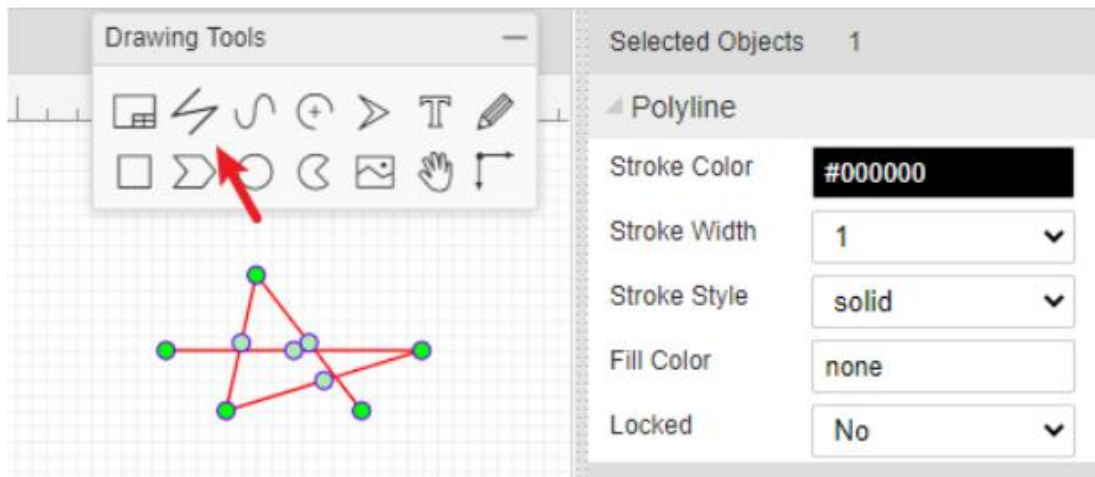


Рис.2.28 Рисование линий

Для рисования кривых используется соответствующий элемент панели Графические инструменты (Рис.2.29).

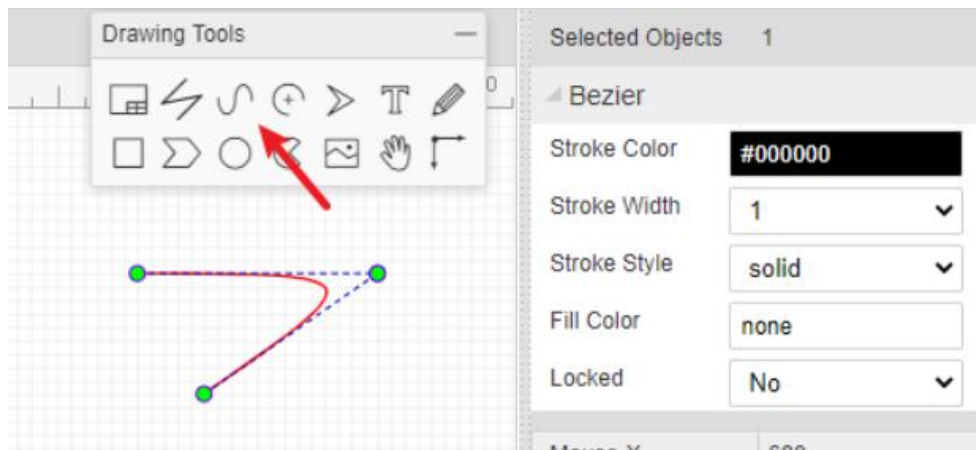


Рис.2.29 Отрисовка кривых линий

Также можно нарисовать дугу любой формы (Рис.2.30). Для выделения текста или важной части схемы можно использовать направленную стрелку (Рис.2.31). Текстовые атрибуты позволяют настраивать режим использования надписей на документе (Рис.2.32):

- Текст (**Text**): можно изменить текст во внутреннем поле или дважды щелкнуть по тексту на листе. Для каждой новой записи текст по умолчанию — Текст.
- - Цвет (**Color**): определяет цвет текста.
- - Семейство шрифтов (**Font-family**): предоставляет 12 шрифтов на выбор.
- - Размер шрифта (**Font-Size**): определяет размер текста.
- - Толщина шрифта (**Font-weight**): определяет толщину текста.
- - Стиль шрифта (**Font-Style**): содержит (авто), обычный, курсив.
- - Тип текста (**Text type**): типы включают комментарий и специи. Редактор запоминает последние параметры текста (Рис.2.32).

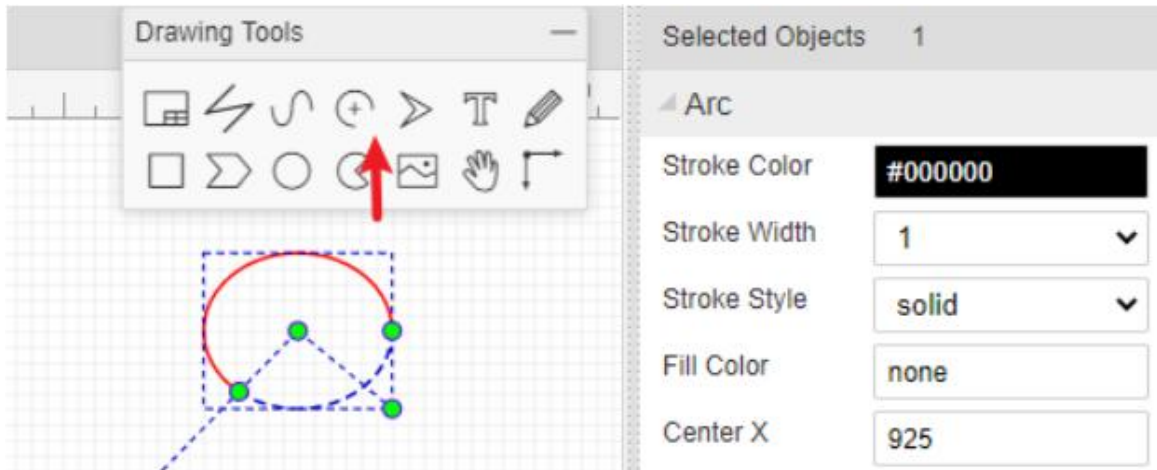


Рис.2.30 Отрисовка дуги

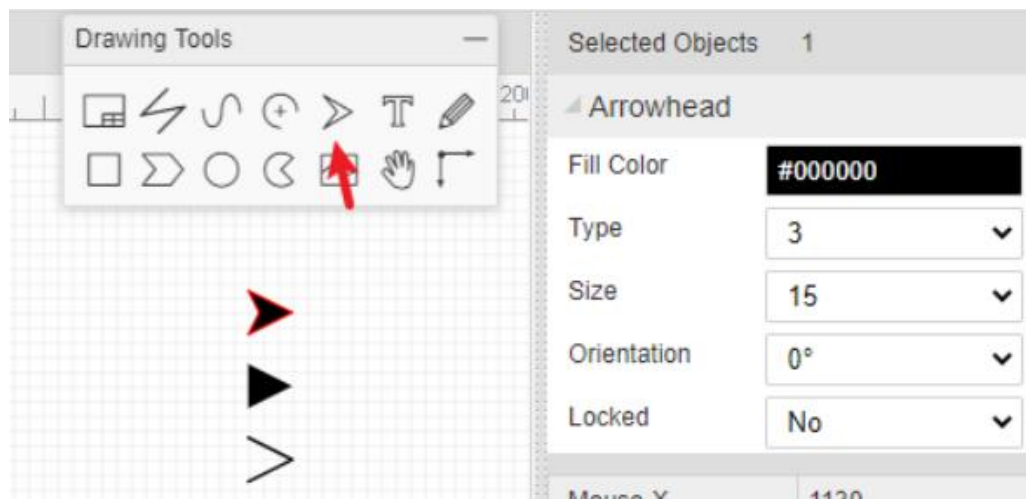


Рис.2.31 Направленные стрелки

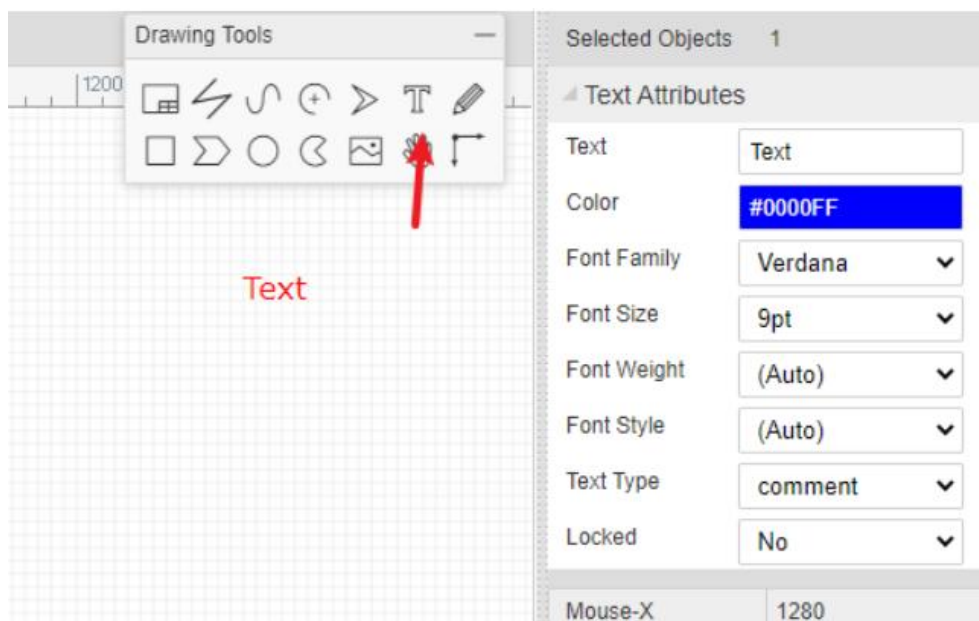


Рис.2.32 Редактирование текста

При выборе пункта Изображение (Image) на палитре инструментов для рисования на рабочий холст будет добавлено изображение в режиме заполнения (Рис.2.33).

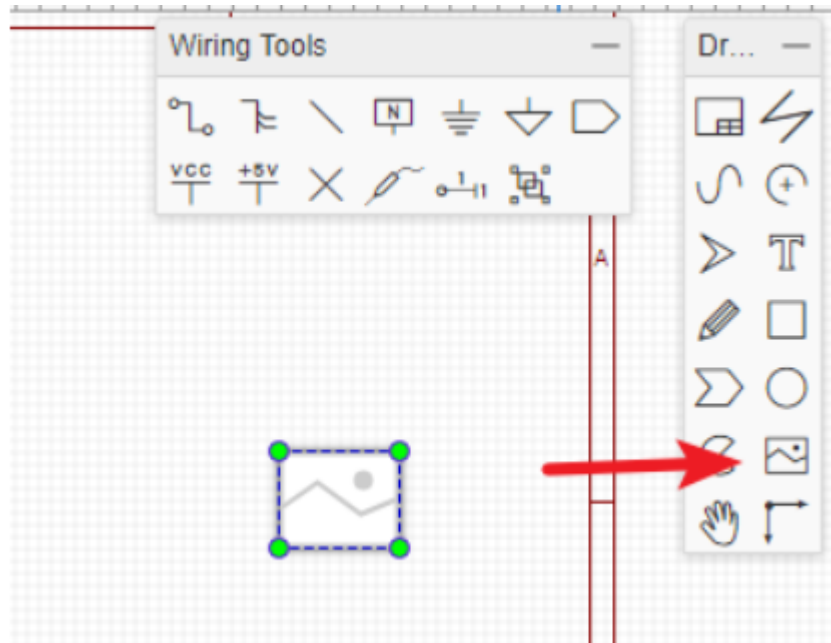


Рис.2.33 Вставка изображения

Если выбрать изображение на рабочем холсте, то откроются атрибуты данного изображения (Рис.2.34). Также можно добавить гиперссылку на изображение.

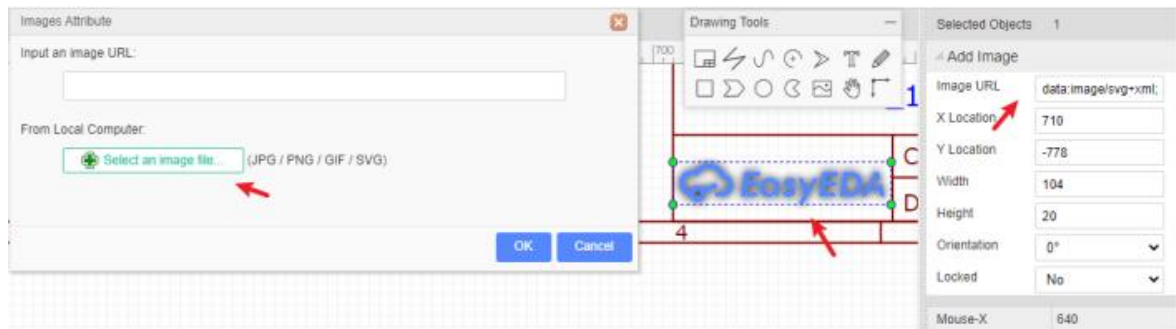


Рис.2.34 Атрибуты изображения

Если необходимо переместить какие-либо компоненты или провода, то можно использовать перетаскивание (drag) и горячую клавишу D. Также можно выделить область с компонентами и проводами, а затем переместить их (Рис.2.35).

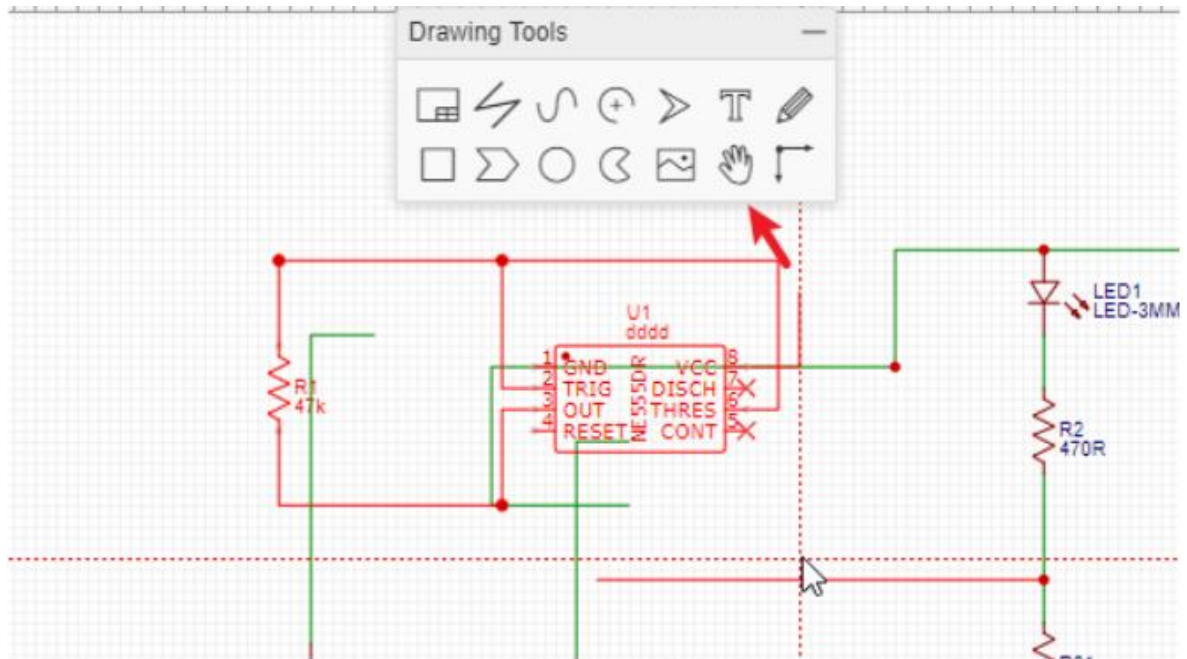


Рис.2.35 Использование функции перетаскивания

2.3. Работа с библиотеками компонентов

Одним из самых востребованных компонентов программы EasyEDA является библиотека компонентов. По своей сути это обширная онлайн-коллекция готовых моделей электронных компонентов, которая включает в себя три взаимосвязанные части:

1. Условное графическое обозначение (Схемотехника, Symbol) — для принципиальной схемы.
2. Посадочное место (Печатная плата, Footprint) — для разводки печатной платы.
3. 3D-модель (3D Model) — для визуализации готовой платы.

При этом особо стоит отметить, что эти три элемента библиотеки уже связаны между собой в одном компоненте, что избавляет пользователя от рутинной работы по их сопоставлению. Также в программе есть несколько типов библиотек:

1. Системные (Общедоступные) библиотеки — огромная встроенная коллекция, доступная всем пользователям.
2. EasyEDA Library: Основная библиотека, постоянно пополняемая командой EasyEDA и сообществом. Содержит самые популярные компоненты (резисторы, конденсаторы, микроконтроллеры от Arduino до ESP, разъемы и т.д.).
3. LCSC Library: Прямая интеграция с китайским магазином электронных компонентов LCSC.

Кроме этого, можно создавать пользовательские библиотеки:

1. Личные библиотеки (My Libraries): можно создавать свои собственные компоненты, если нужные компоненты не найдены в общедоступных библиотеках. Такие библиотеки будут храниться в персональном аккаунте.
2. Библиотеки компаний / сообществ: пользователи могут публиковать свои библиотеки, делая их доступными для других (например, специальные библиотеки для Raspberry Pi, дисплеев и т.д.).

Рассмотрим подробнее особенности каждого типа библиотек. Самый простой способ найти компонент в библиотеке — это воспользоваться библиотекой EElib. Это основная, встроенная библиотека компонентов по умолчанию в EasyEDA. Можно сказать, что это фундамент, на котором построена работа с компонентами в редакторе (Рис.2.36). Большинство компонентов имеют дополнительные символы в американском и европейском стиле. Для поиска нужного компонента необходимо щёлкнуть мышкой по выпадающему списку или нажать правую кнопку мыши, чтобы открыть контекстное меню, которое содержит множество посадочных мест или параметров компонентов. При этом программа запомнит выбор для следующего использования. Также рекомендуется использовать фильтр для быстрого поиска компонента. Например, можно просто ввести код 0603, чтобы найти все резисторы (Рис.2.37). Стоит отметить, что когда пользователь впервые открывает панель библиотек и ищет что-то простое (например, "кнопка" или "светодиод"), то по умолчанию пользователь видит результаты именно из EElib. EElib идеально подходит для схемотехнического проектирования, так как в этом случае пользователю важен тип компонента (например, резистор 10кОм), а не конкретная марка от производителя. Такой подход к поиску элементной базы является предпочтительным, если пользователь делает чисто теоретическую или учебную схему.

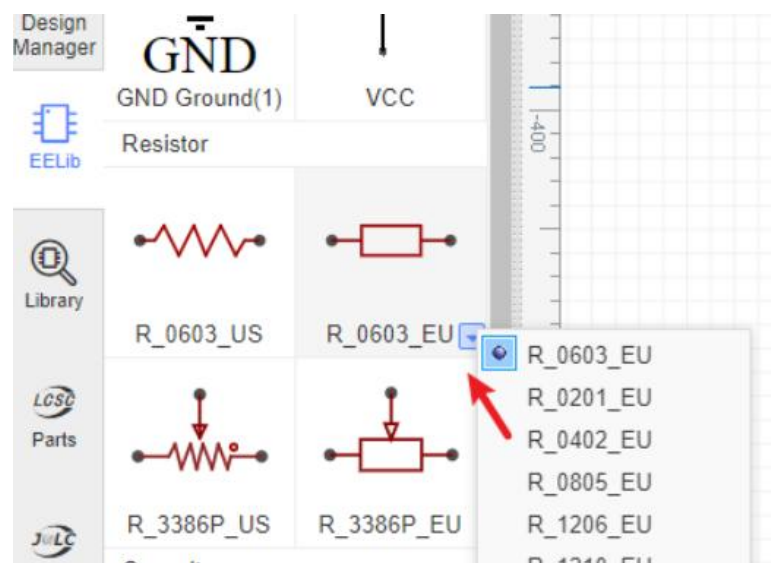


Рис.2.36 EElib библиотека компонентов

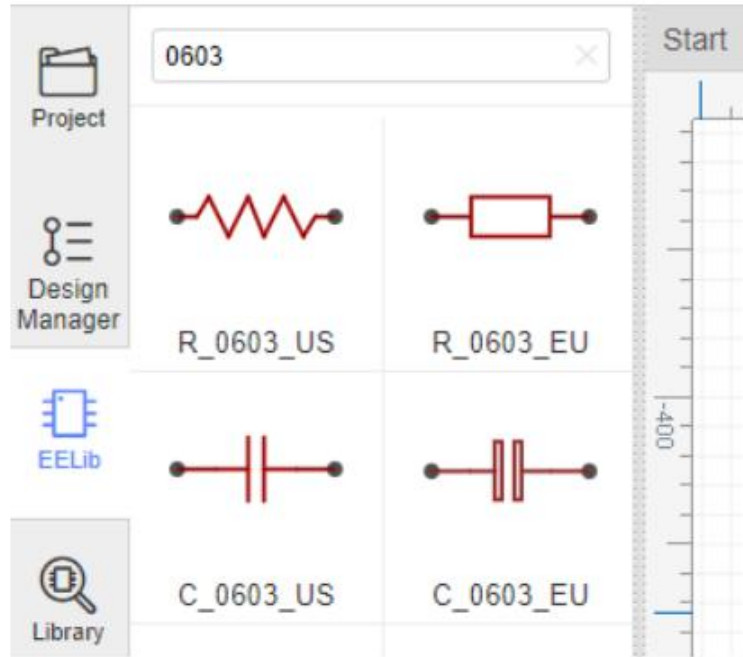


Рис.2.37 Поиск в базе EELib резисторов (Код 0603)

Если EELib позволяет быстро добавить в проект наиболее часто встречающиеся компоненты, то элемент интерфейса Library (Библиотека) (Рис.2.38) открывает доступ также и к множеству других библиотек как внешних, так и пользовательских.

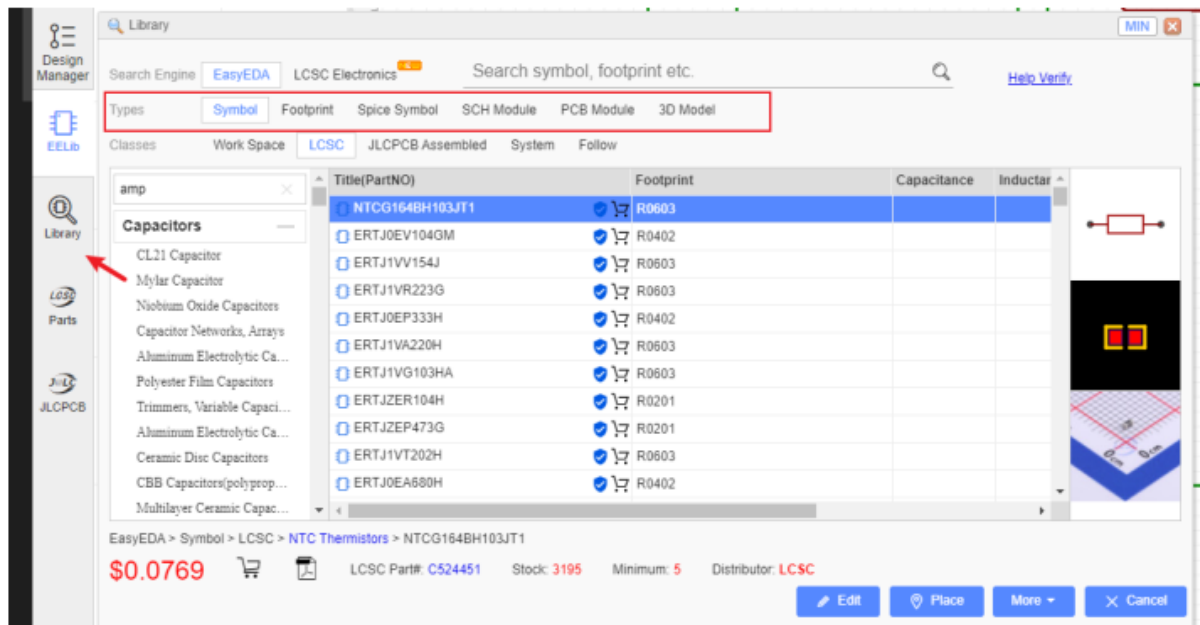


Рис.2.38 Интерфейс библиотек

В окне поиска компонентов можно настроить тип и класс компонентов (Рис.2.39)

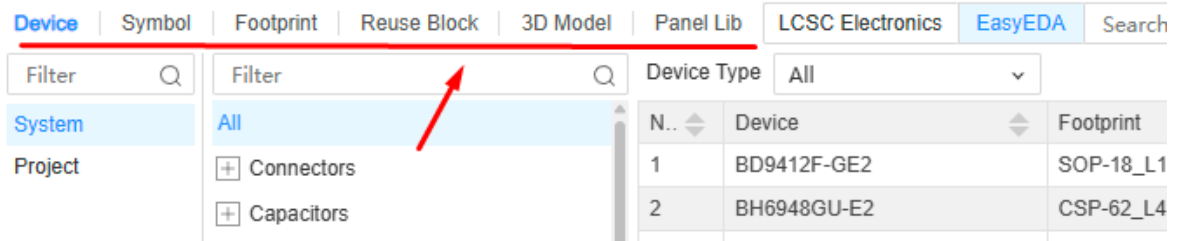


Рис.2.39 Выбор типов и классов компонентов

К типам компонентов относятся:

- Символ (Symbol): Символы на схеме
- Символ Spice: Символы для моделирования в модуле симуляции Spice
- Разводка схемы (Footprint): Посадочные контакты печатной платы, шаблон разводки печатной платы.
- Модули SCH: Модули спроектированной схемы. (Модуль не может быть назначен на посадочное место, в отличие от символа схемы. При размещении на схеме он будет отделен)
- Модули печатных плат: Аналогичны модулям схем.
- 3D-модель: привязывается к посадочному месту через «Менеджер 3D-моделей».

Таким образом, в EasyEDA есть возможность пользоваться несколькими системами поиска компонентов. Рассмотрим, каким образом можно использовать встроенную систему поиска EasyEDA. Сначала надо ввести номер детали или название символа в поле поиска (Рис.2.40). Перед поиском необходимо выбрать «Тип», а затем нажать «Оглавление», чтобы открыть список категорий и выбрать нужные компоненты.

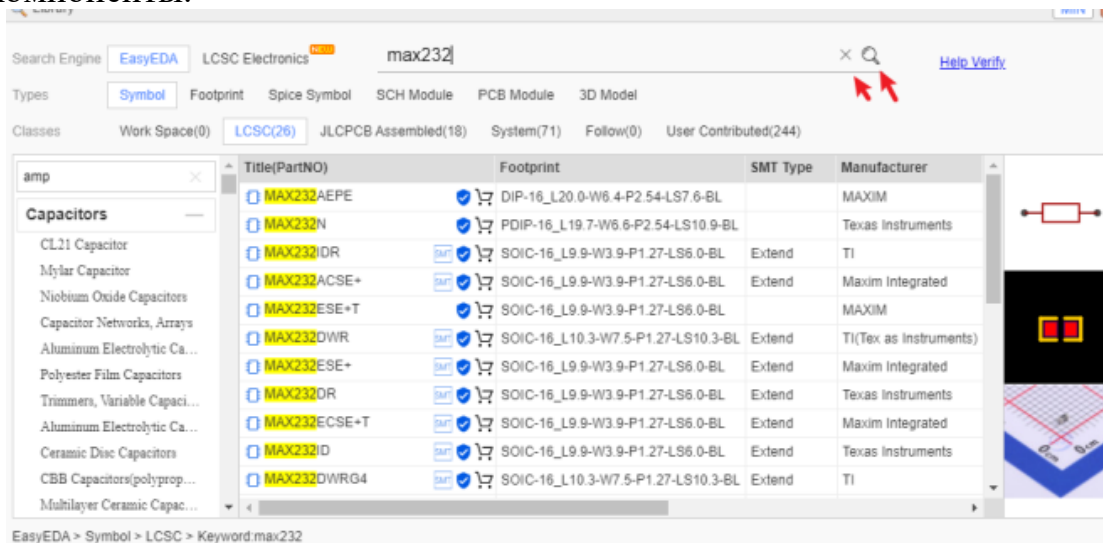


Рис.2.40 Поиск компонентов при помощи поисковика EasyEDA

Оттуда можно прокручивать список вверх и вниз, чтобы просмотреть компоненты из каждой категории. Если мы знаем, какой компонент нам нужен, например, мы хотим найти MAX232 (который преобразует сигналы с последовательного порта RS-232 в сигналы, подходящие для использования в цифровых логических схемах, совместимых с TTL), то нам просто надо ввести Max232 в поле поиска и нажать на клавиатуре кнопку ENTER (Рис.2.40). Если мы не знаем название компонента, например, мы хотим найти резистор со значением 1 кОм, посадочным местом 0603, в библиотеках, надо выполнить следующие шаги (Рис.2.41):

1. Выбрать тип библиотеки.
2. Ввести ключевое слово, например, 1k 0603.
3. Нажать кнопку поиска.
4. Выбрать класс, который мы ищем в результатах поиска.
5. Если поиск окончен, то необходимо удалить все ключевые слова поиска.

Если нам нужно найти какие-либо детали по определённым параметрам, то можно воспользоваться поисковой системой "LCSC Electronic» (Рис.2.42). Эта встроенная поисковая система идентична поиску на сайте LCSC.com. После того как нужный компонент найден, можно разместить его на разрабатываемой схеме (Рис.2.43).

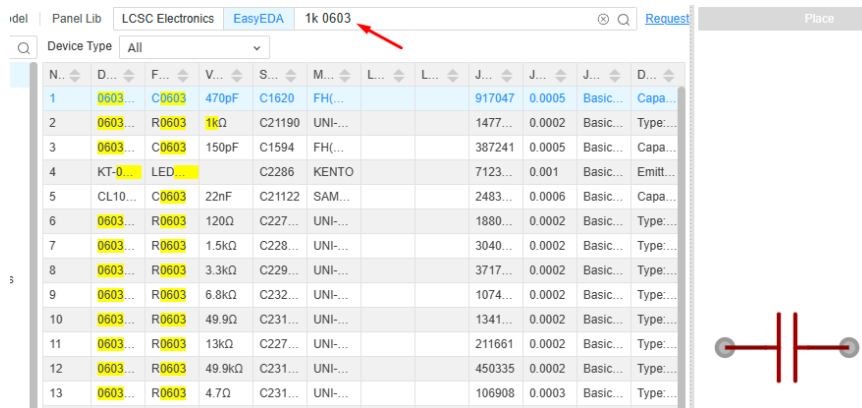


Рис.2.41 Поиск резистора 1 кОм

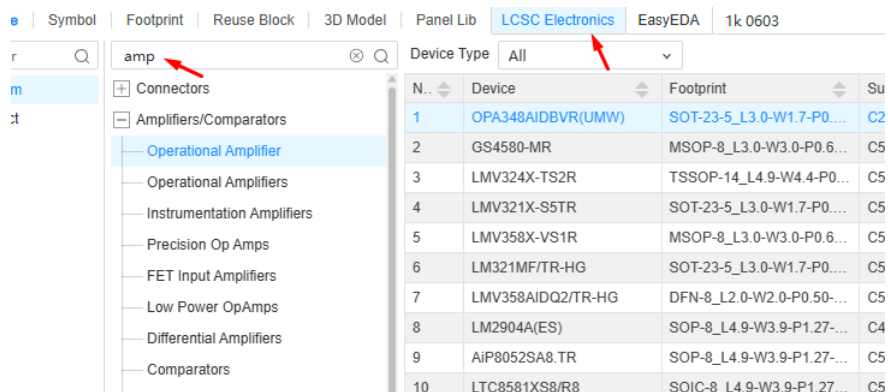


Рис. 2.42 Поиск компонентов при помощи LCSC

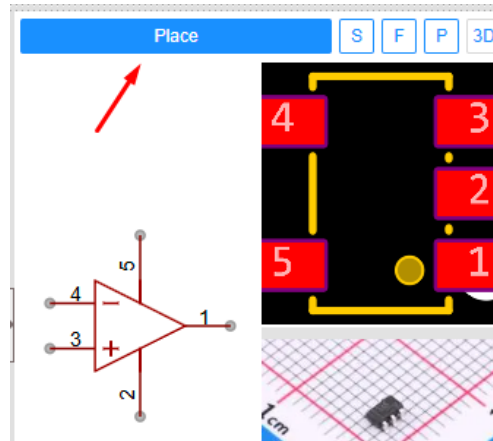


Рис.2.43 Размещение найденного компонента на схеме

Над найденными компонентами можно проводить определённые операции. При наведении курсора мыши на изображение символа схемы или посадочного места на печатной плате появится панель инструментов с кнопками «Редактировать», «Разместить», «Дополнительно». Компоненты, которые мы используем нечасто, нет необходимости добавлять в избранное; можно просто разместить их на холсте напрямую. Также можно просто дважды щелкнуть по библиотеке, чтобы разместить такие компоненты. При этом стоит учесть, что EasyEDA поддерживает работу одновременно над несколькими документами, поэтому необходимо убедиться, что мы размещаем компонент в правильный (активный) документ. Активным документом является тот, у которого в настоящий момент активна вкладка. Кроме того, стоит учитывать, что нельзя разместить символ схемы в файле печатной платы или само посадочное место на печатной плате в схеме.

EasyEDA автоматически отслеживает, чтобы библиотека была корректной, но в ней все же могут быть некорректные компоненты. Если в процессе работы с программой мы обнаружим какие-либо некорректные компоненты, то в программу встроена возможность обратиться с этой проблемой к разработчикам.

Если мы хотим создать свою собственную версию символа или посадочного места, то можно открыть существующий компонент из библиотеки, использовать его в качестве шаблона, отредактировать его, а затем сохранить в локальной рабочей области библиотеки в разделе «Библиотека» панели навигации.

Когда система поиска находит компонент с подкомпонентами, то такой компонент нельзя разместить или отредактировать, но его можно добавить в избранное и клонировать как свой собственный компонент, который затем можно редактировать. Также если на найденном компоненте кликнуть правой кнопкой мыши, то откроется меню с различными действиями над найденным компонентом (Рис.2.44).

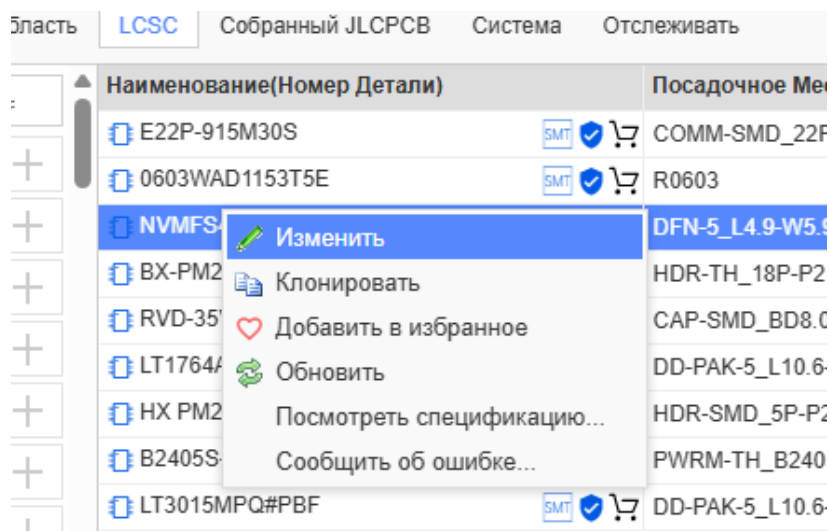


Рис.2.44 Контекстное меню компонента

При нажатии на изображение в каждой библиотеке можно открыть его предварительный просмотр, например символ, посадочное место или реальное изображение компонента. Нажав на изображение компонента, можно быстро его открыть и изучить.

Найденный компонент можно разместить на схеме, переместив его мышью на холст или нажав на кнопку «Установить» в окне поиска (Рис.2.45). Если надо добавить еще компоненты, то можно просто щелкнуть левой кнопкой мыши еще раз. Чтобы завершить текущую последовательность размещения, надо щелкнуть правой кнопкой мыши один раз или нажать клавишу ESC.

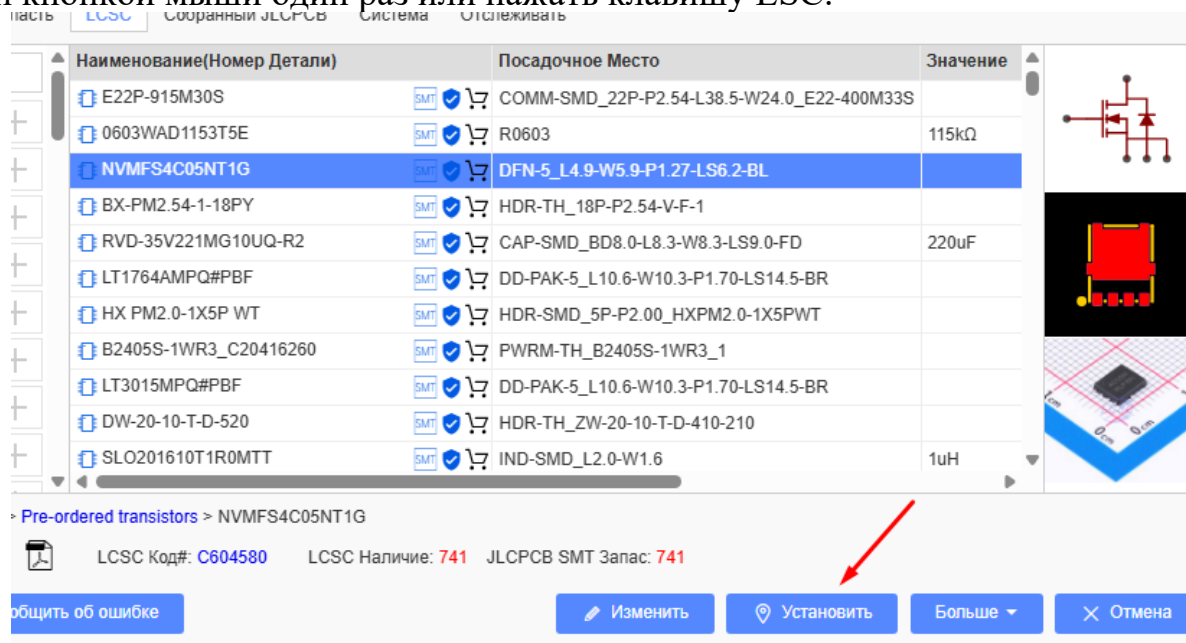


Рис.2.45 Размещение найденного компонента на холсте

Количество выводов на некоторых компонентах может быть достаточно большим. Поэтому проще разделить такой компонент на несколько частей или

функциональных блоков — это называется многокомпонентной схемой или подкомпонентом. В качестве простого примера, в компоненте 74HC04 Hex Inverter шесть логических элементов. Чтобы избежать беспорядка на схеме, выводы GND и VCC таких компонентов обычно обслуживаются отдельной линией. Это очень удобно, так как не мешает работе логических частей. Имена меток сети выводов VCC и GND обычно скрыты.

При размещении микросхемы 74HC04 на схеме её компоненты будут выглядеть как показано на рисунке 2.46, при этом префикс компонента будет иметь вид: U?.1, U?.2 и т. д. Если кликнуть мышью по родительскому компоненту и разместить его на схеме, остальные субкомпоненты будут размещаться по очереди, а если кликнуть по одному из субкомпонентов, то мы разместим элементы U1.1, U2.1, U3.1 и т. д.

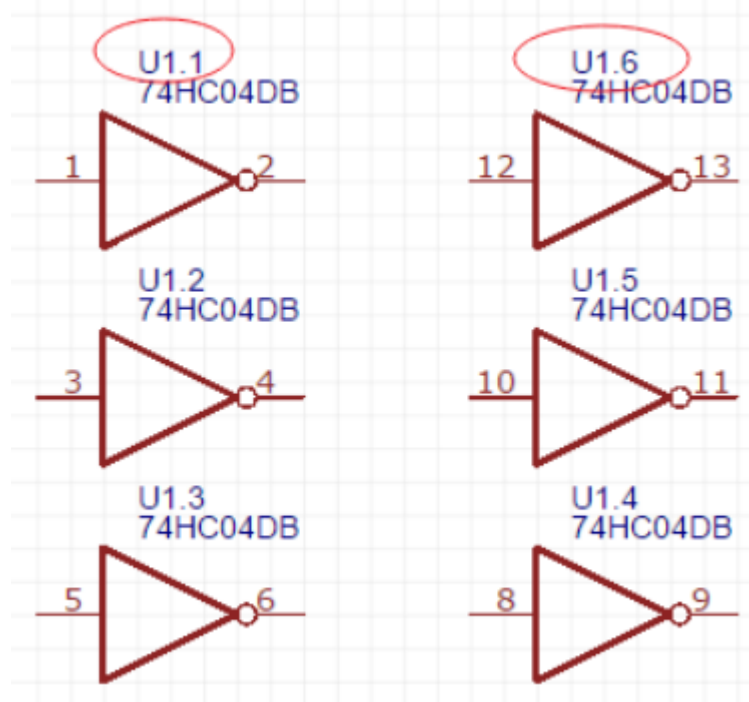


Рис. 2.46 Размещение микросхемы 74HC04 с субкомпонентами

При работе с большими схемами бывает сложно быстро найти нужные компоненты. Иногда можно допустить ошибку, например, подключить компонент к неправильному выводу. Поэтому может очень пригодиться инструмент, который поможет работать с большими проектами. В EasyEDA таким инструментом является Менеджер проектирования. Для работы с Менеджером проектирования надо нажать сочетание клавиш CTRL+D или кликнуть по нему на левой панели навигации (Рис.2.47).

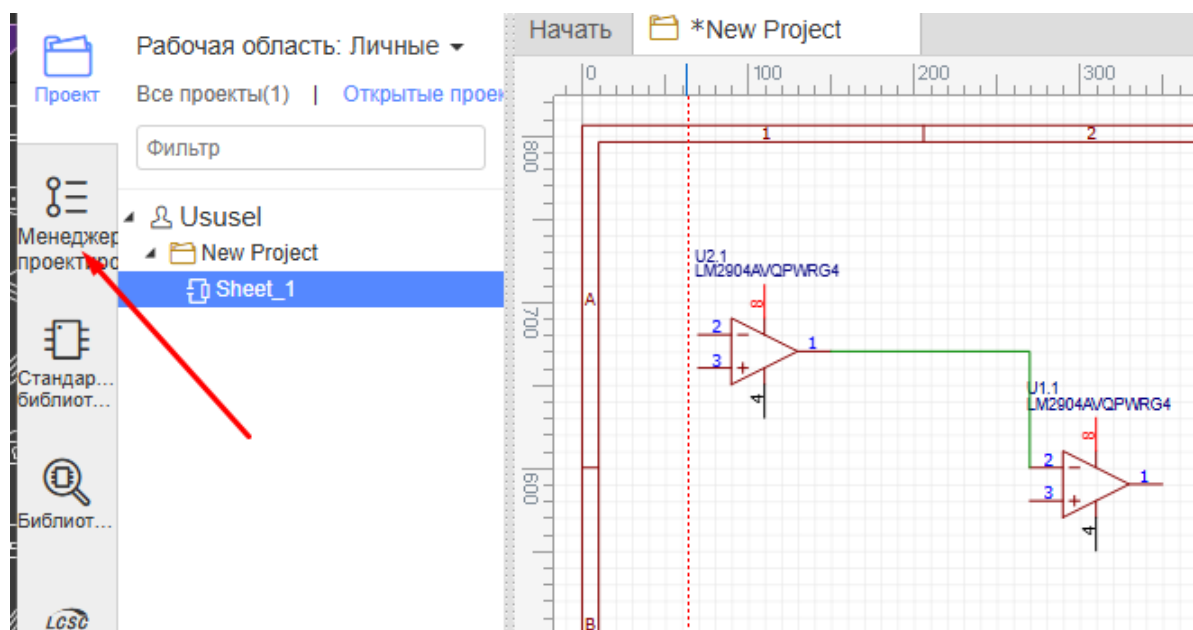


Рис.2.47 Менеджер проектирования

С помощью фильтра можно легко найти нужные компоненты в проекте или название цепи. Например, если нам нужны все конденсаторы, то можно просто ввести **C**. Подменю компоненты отображает список всех компонентов на текущей схеме. Клик мышью по элементу «Компонент» выделяет этот компонент и перемещает его в центр рабочей области (Рис.2.48).

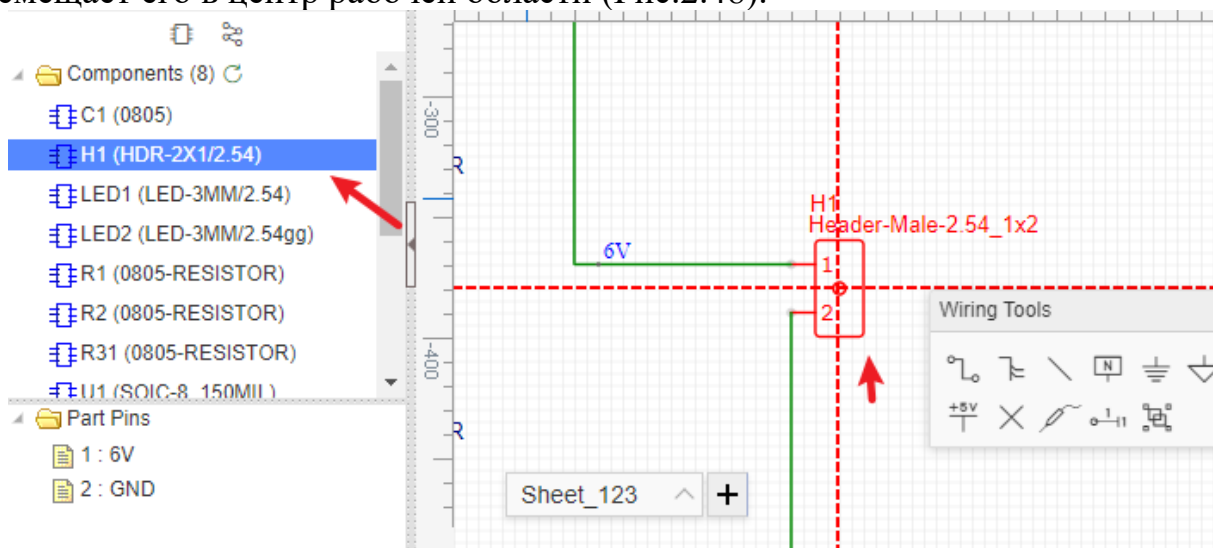


Рис.2.48 Меню «Компонент»

Подменю «Сети» (Nets) отображает все цепи на данной схеме. Цепь должна соединять как минимум два вывода, иначе имя цепи будет отмечено красной ошибкой. При щелчке по имени цепи провод на рабочем холсте будет выделен и будет укрупнён, а при клике мышью по пустому месту выделение будет убрано (Рис.2.49).

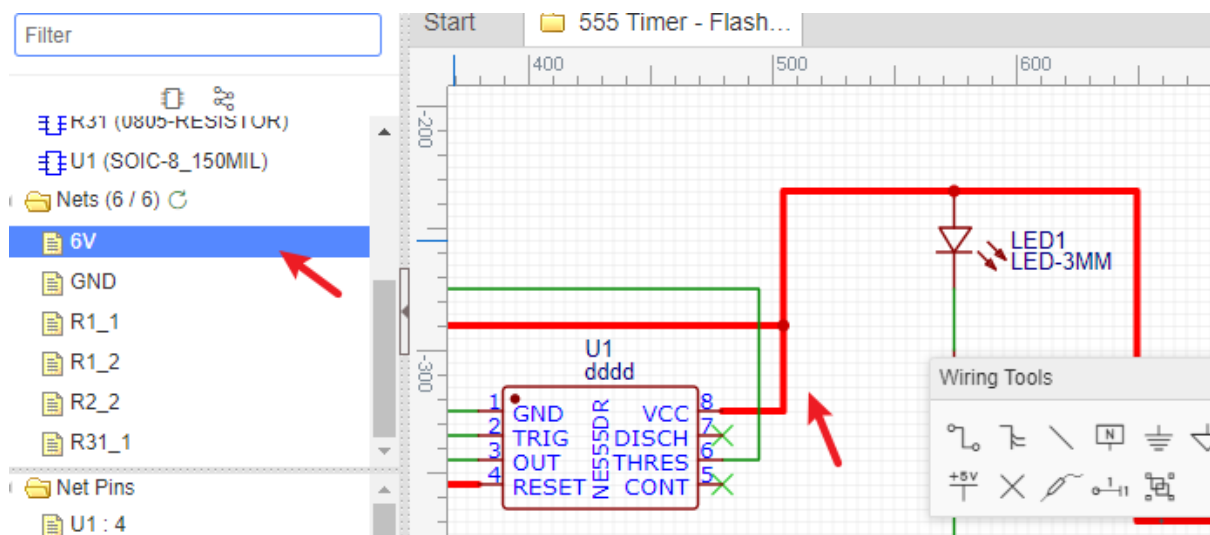


Рис.2.49 Подменю «Сети»

При нажатии на имя цепи в левом нижнем углу появится подсказка. Если на одном проводе несколько меток цепей, то необходимо проверить правильность подключения. В противном случае появится предупреждение о цепи (отобразится значок восклицательного знака) (Рис.2.50), и в этом случае нужно нажать на эту цепь, чтобы выяснить, в чём заключается ошибка. При этом если флаг или метка цепи соединяет только один контакт, то также отобразится предупреждение.

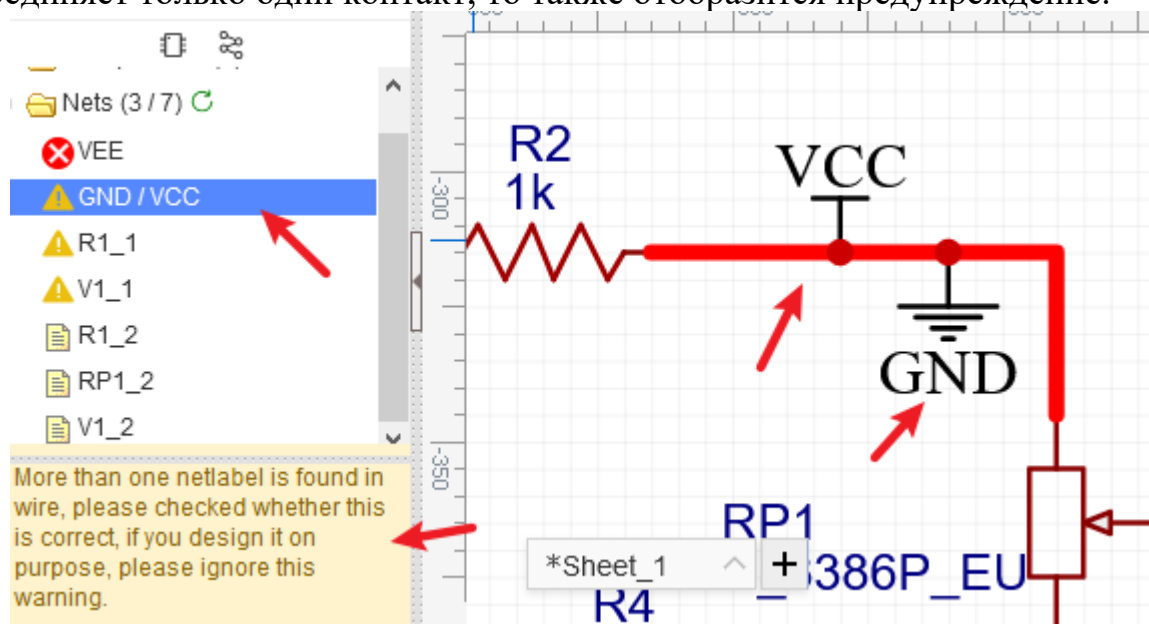


Рис.2.50 Ошибка построения цепи

Чаще всего схемы создаются с целью изготовления печатной платы. Для преобразования схемы в печатную плату достаточно нажать на значок «Печатная плата» на панели инструментов с надписью «Преобразовать в печатную плату» (Рис.2.51).

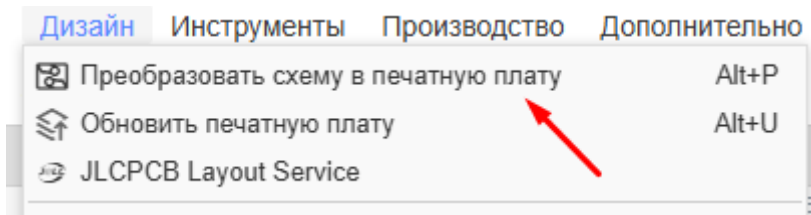


Рис. 2.51 Функция преобразования схемы в печатную плату

После нажатия кнопки «Преобразовать в печатную плату», если в проекте обнаружены ошибки, откроется следующее диалоговое окно (Рис.2.52). Красным выделена строка, указывающая на то, что EasyEDA не может найти посадочное место для печатной платы, соответствующее требуемому символу на схеме. Это может быть связано с ошибкой при вводе атрибута посадочного места в свойствах символа или с тем, что ещё не создано посадочное место для печатной платы, требуемое для выбранного символа. В примере, представленном на рисунке 2.52, посадочное место должно было быть AXIAL-0.3, но оно пустое. Чтобы исправить это, можно кликнуть по строке и изменить посадочное место на AXIAL-0.3 в менеджере посадочных мест.

Footprints Verification				
	Prefix	Name	Footprint	Content
1	LED2	LED-3MM	LED-3MM/2.54gg	The footprint name associated with the component and the footprint name on the server are inconsistent, please re-associate it.

Рис. 2.52 Ошибка при преобразовании схемы в печатную плату

После внесения необходимых исправлений необходимо нажать на кнопку «Преобразовать в печатную плату», и EasyEDA автоматически загрузит все посадочные места для печатных плат в редактор печатных плат, как показано на рисунке 2.53.

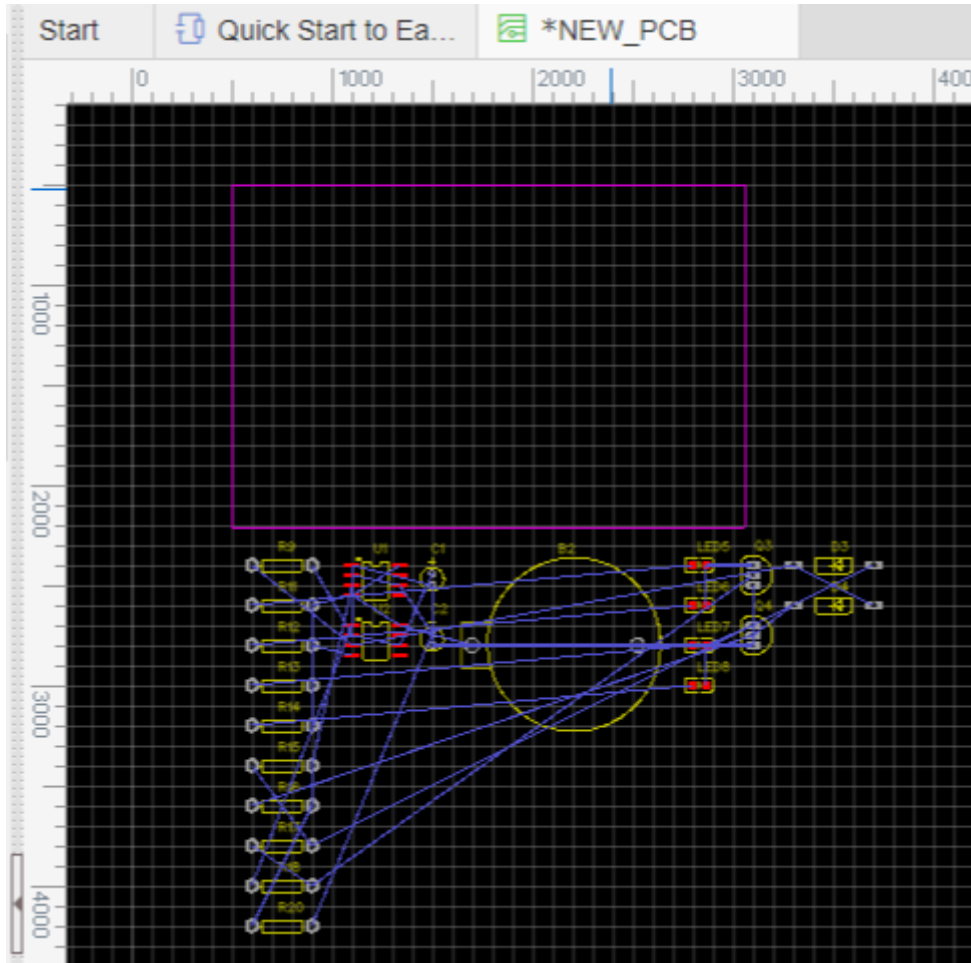


Рис.2.53 Результат преобразования

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем разница между виртуальным и реальным узлом соединения проводов?
2. Для чего используются шины (Bus) и метки сетки (Net Label) в сложных схемах? Как с их помощью упростить чертеж?
3. В каких случаях используется метка «Нет соединения» (No Connect Flag)?
4. Как создать пользовательский шаблон документа (например, рамку А4 со штампом) и сохранить его для дальнейшего использования?
5. Из каких трех взаимосвязанных частей состоит компонент в библиотеке EasyEDA?
6. Какую функцию выполняет Менеджер проектирования (Design Manager) и как с его помощью найти компонент или проверить ошибки в цепях?

3. Работа с редактором печатных плат

Редактор печатных плат программы EasyEDA позволяет быстро и качественно создать разводку печатной платы. К ключевым особенностям редактора печатных плат можно отнести следующие моменты:

- ❖ Сквозная связь со схемой — автоматическое создание платы из схемы (ERC), синхронизация изменений, подсветка цепей (Highlight Nets).
- ❖ Интеллектуальная работа с компонентами:
 - Мгновенный доступ к огромной облачной библиотеке с готовыми посадочными местами и 3D-моделями.
 - Мастер создания корпусов (PCB Footprint Wizard) для стандартных типов.
- ❖ Инструменты разводки:
 - Ручная трассировка в режиме избегания препятствий.
 - Автоматическая трассировка (автороутер) — доступна в Pro-версии.
 - Менеджер дифференциальных пар, силовых полигонов, размещение меди.
- ❖ Контроль правил проектирования (DRC) — настраиваемые правила по зазорам, ширине дорожек, маске и т.д. Проверка в реальном времени.

Многие атрибуты рабочего пространства печатной платы совпадают с атрибутами холста принципиальной схемы. Ключевое отличие заключается в том, что в атрибутах холста печатной платы можно задавать единицы измерения (Рис.3.1).

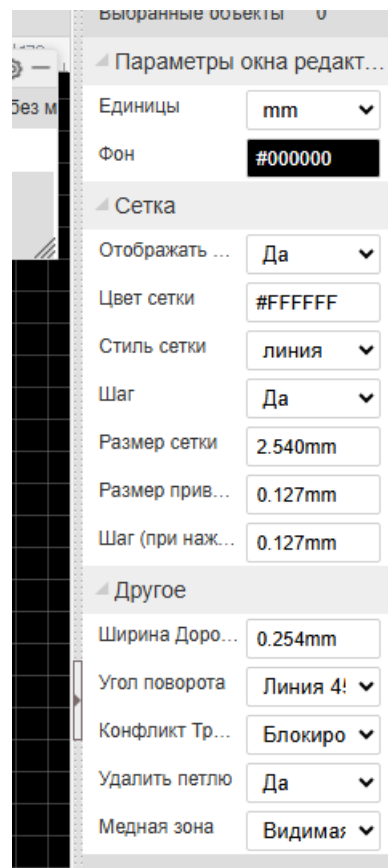


Рис.3.1 Атрибуты холста редактора печатной платы

При выборе объекта на холсте можно изменить его атрибуты на правой панели.

- Размер привязки: Размер привязки курсора.
- Привязка по Alt: Размер привязки курсора при нажатии горячей клавиши ALT.

Другие параметры:

- Ширина дорожки: Установка ширины трассировки по умолчанию.
- Угол поворота: Установка угла трассировки.
- Конфликт трассировки: что делать при столкновении трассировки с объектами цепи:
 - ◆ Игнорировать: Трасса проходит через объекты.
 - ◆ Блокировать: Трасса остановится при встрече с объектами разностной сети.
 - ◆ Обход трассы: Трасса обойдет объекты разностной сети.
 - ◆ Удалить петлю: Удалить петлю трассы.
- Медная зона: Установка видимости или невидимости медной зоны.

3.1 Инструменты для работы с редактором печатных плат

Инструменты для проектирования печатных плат предоставляют множество функций для качественного проектирования печатной платы: дорожки, контактные площадки, переходные отверстия, текст, дуги, окружности, перемещение, отверстия, изображения, начало координат холста, соединение контактных площадок, медные области, сплошные области, измерение/размеры, прямоугольники, группировка/разгруппировка и т. д. (Рис.3.2).

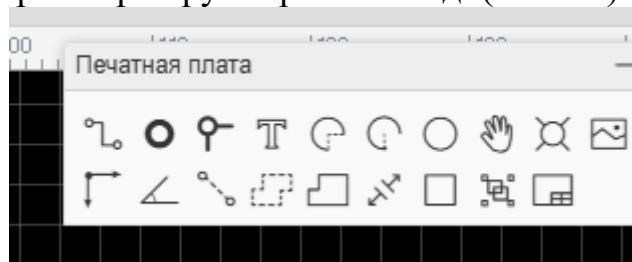


Рис.3.2 Инструменты для проектирования печатной платы

Дорожка.

В редакторе схем для соединения выводов используется клавиша Wire или горячая клавиша W, аналогично в редакторе печатных плат для соединения контактных площадок используется клавиша «Дорожка» (Track). «Дорожка» позволяет рисовать дорожки на печатной плате и находится на палитре инструментов для проектирования печатных плат или можно использовать горячую клавишу W (Рис.3.3). После выбора значка «Дорожка» его параметр «Длина» можно найти и изменить на правой панели (Рис.3.3). Чтобы создать

защитную маску для дорожки, необходимо нажать кнопку «Открыть медь» на правой панели свойств.

При клике мышью по дорожке отобразятся узлы, которые можно перетащить или удалить щелчком правой кнопки мыши (Рис.3.4). При выборе разделенных на точки дорожек мы можем преобразовать их в сплошную область или непрерывную дорожку с помощью контекстного меню, вызываемого щелчком правой кнопки мыши.

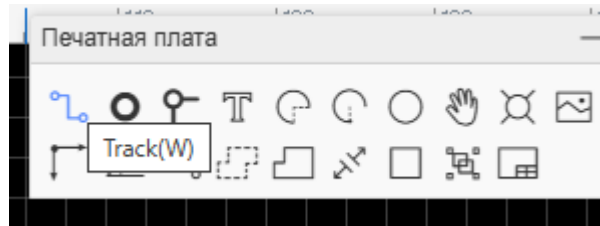


Рис.3.3 «Дорожка» (Track)

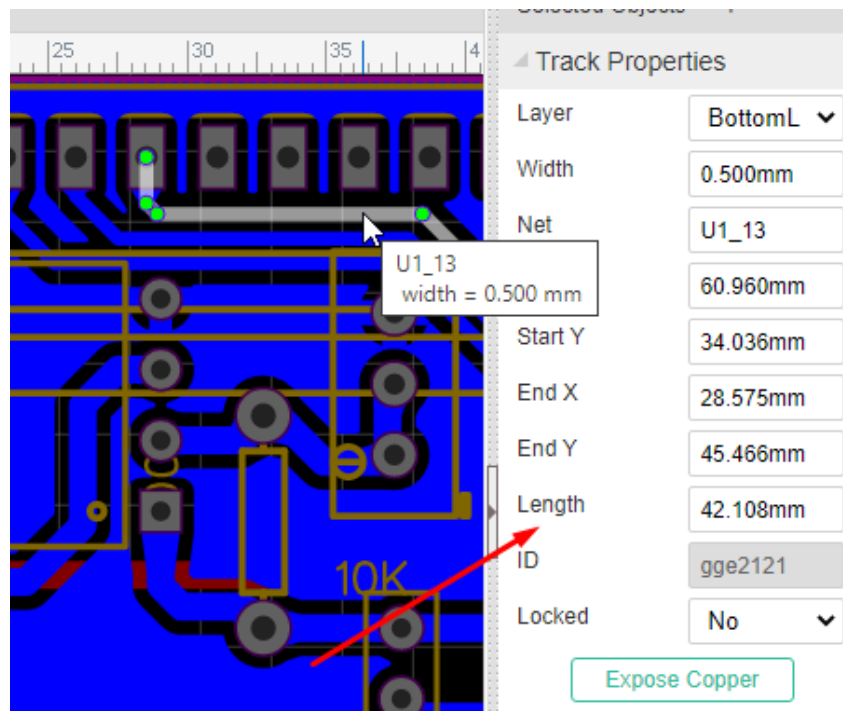


Рис.3.3 Свойства «Дорожки»

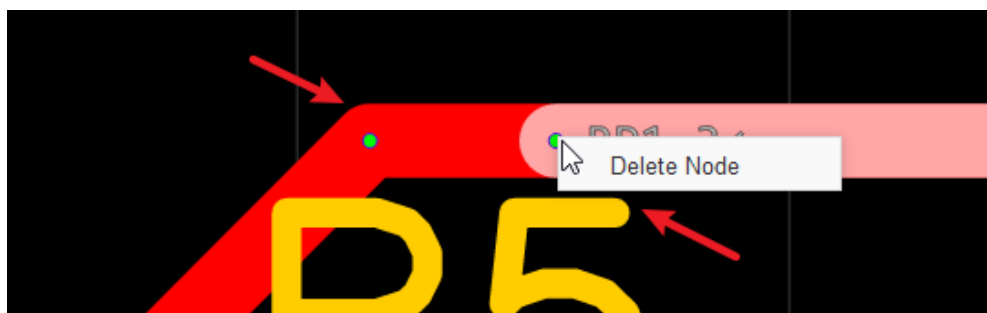


Рис.3.4 Работа с дорожками

Площадка.

Добавить площадки можно с помощью кнопки «Площадка» на палитре «Инструменты для проектирования печатной платы» или с помощью горячей клавиши P (Рис.3.5).



Рис.3.5 «Площадка»

После выбора площадки можно будет просмотреть и настроить ее параметры на правой панели «Свойства» (Рис.3.6).

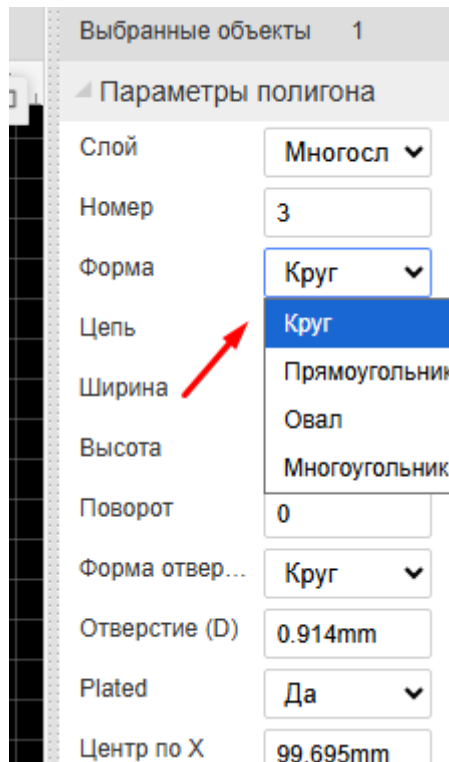


Рис.3.6 Свойства площадки

Номер: чтобы соединить выводы символа схемы с контактными площадками в посадочном месте печатной платы, номера этих площадок, заданные в посадочном месте, должны совпадать с номерами выводов, указанными при разработке схемы.

Форма: Круглая, Прямоугольная, Овальная и Многоугольная. EasyEDA поддерживает четыре формы: Круглая, Прямоугольная, Овальная и Многоугольная. Овальная контактная площадка обеспечит больше места.

Многоугольная контактная площадка позволит создавать необычные контактные площадки.

Также можно редактировать точки Площадки при выборе многоугольной формы площадки (Рис.3.7).

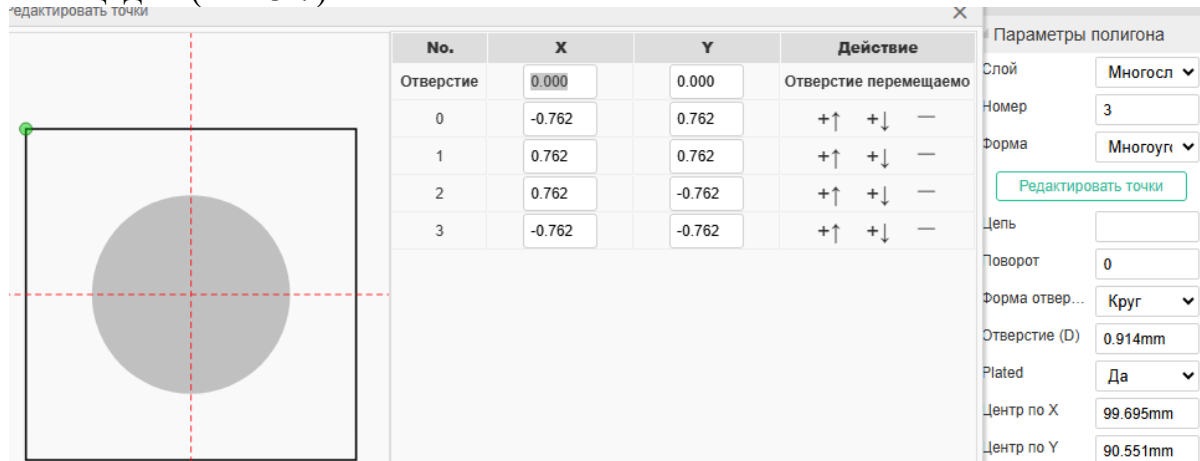


Рис.3.7 Редактор точек многоугольной площадки

Слой: если контактные площадки являются частью SMD-посадочного места, то можно установить его как «Верхний слой» или «Нижний слой». Для компонентов с выводами для монтажа в отверстия следует установить его как «Многослойный». При установке многослойного режима соединение будет осуществляться со всеми медными слоями.

Ширина и высота: если форма установлена как «Круглая», ширина будет равна высоте.

Поворот: здесь можно установить поворот контактной площадки по своему усмотрению.

Отверстие (D): это диаметр отверстия для сквозного монтажного отверстия. Для SMD-посадочного места можно установить его как «Верхний слой» или «Нижний слой».

Форма отверстия: Круглая и пазовая. Если установлен паз, Гербер-файл генерируется путем объединения нескольких отверстий в соответствующих позициях. Если отверстие круглое, то нельзя устанавливать его как паз, чтобы избежать ошибки перекрытия отверстий при производстве и определении DFM-модели.

Центр по оси X и Центр по оси Y: используя эти два параметра, можно установить положение площадки с большей точностью по сравнению с использованием мыши.

Металлизация: варианты Да или Нет. Если установить значение «Нет», внутренняя стенка площадки не будет металлизирована.

Расширение маски пасты: для однослойной площадки. Это свойство влияет на размер области оловосодержания на пластине металлизированной сетки. Если надо установить площадку, не имеющую открытых участков на

металлизированной сетке, то можно установить отрицательное значение, которое обычно больше диагонали площадки.

Расширение маски припоя: это свойство влияет на размер области зеленого масла, покрывающей площадку. Если нам надо установить площадку, не имеющую открытых участков и покрытую зеленым лаком, то можно установить отрицательное значение, которое обычно больше диагонали площадки.

Переходные отверстия (Via).

При создании многослойной печатной платы необходимо добавить переходные отверстия для цепей, проходящих через слои. Это можно сделать при помощи инструмента Via – переходные отверстия (Рис.3.8).

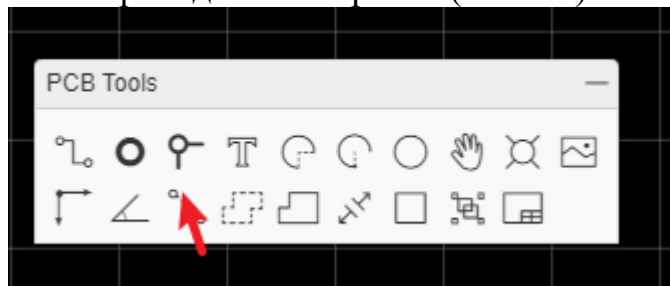


Рис.3.8 Via – переходные отверстия

При размещении переходного отверстия на дорожке дорожка будет разделена на два сегмента, и сеть переходных отверстий будет следовать по сети этой дорожки. Разместив два переходных отверстия на дорожке, мы получим три сегмента, после чего можно будет изменить один из сегментов на другой идентификатор слоя или удалить один из них (Рис.3.9).



Рис.3.9 Размещение переходного отверстия на дорожке

Для размещения нескольких переходных отверстий надо кликнуть по контуру медной области, а затем нажать кнопку «Добавить/удалить переходные отверстия». Для этой функции необходимо наличие одинаковых медных областей на двух и более слоях одновременно; крестообразная область добавит переходные отверстия (Рис.3.10). При этом стоит учитывать, что EasyEDA поддерживает только сквозные переходные отверстия для всех слоев, но не поддерживает скрытые/глухие переходные отверстия.

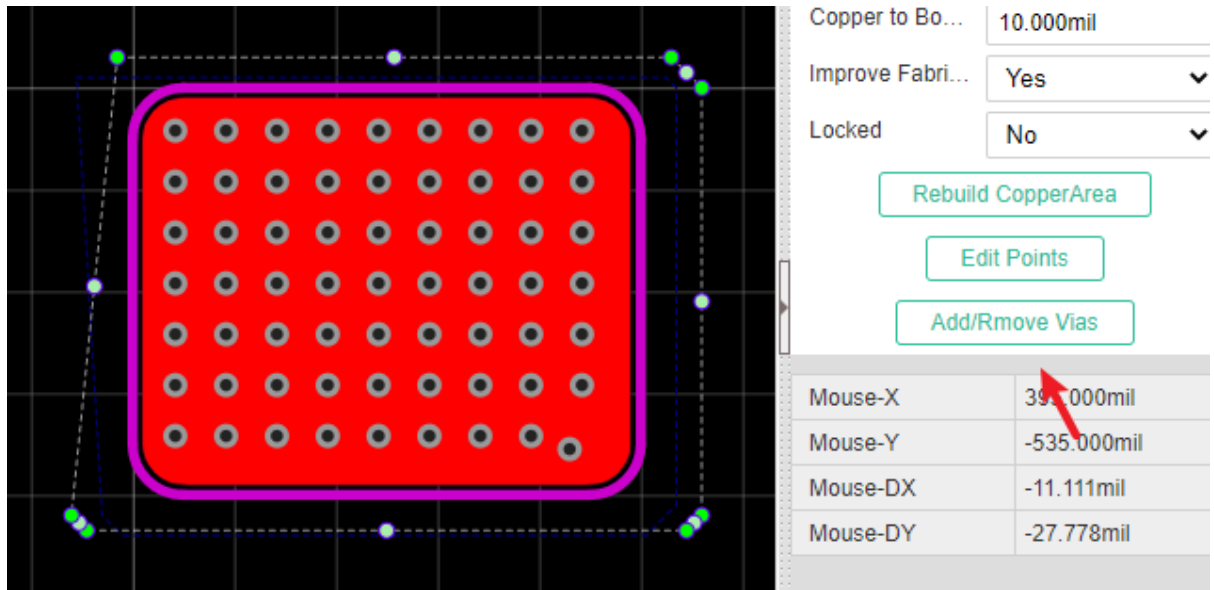


Рис.3.10 Добавление и удаление переходных отверстий

Также инструментарий позволяет чертить дуги разного размера (Рис.3.11)

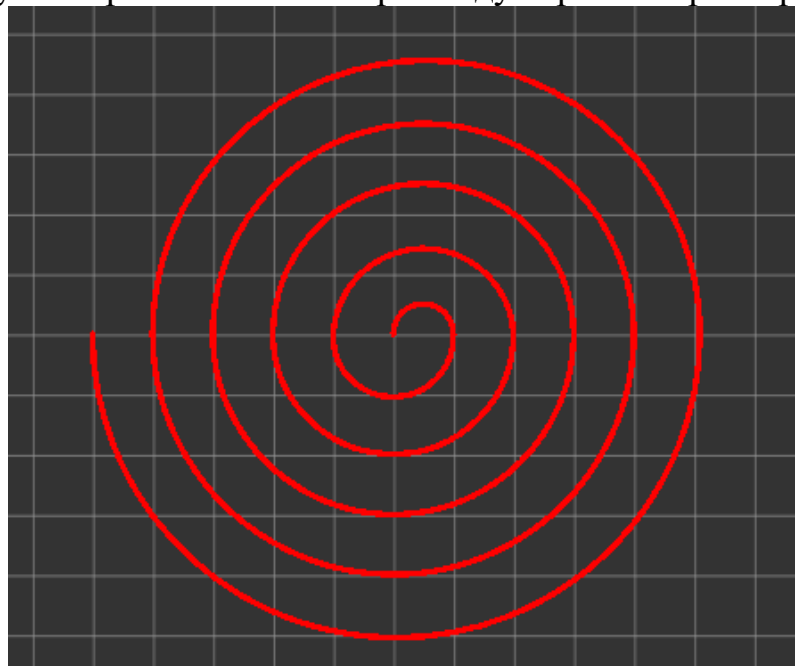


Рис.3.11 Черчение дуги

Другие полезные инструменты, представленные в инструментарии проектирования печатной платы, также можно найти на панели. К ним относятся редактор текста, черчение окружности, функция перемещения, размещение отверстия, вставка изображения.

Одним из важных инструментов является возможность выполнять и добавлять на чертёж измерения (Рис.3.12). Этот инструмент может отображать на холсте три единицы измерения: миллиметр, дюйм и миллиметр.

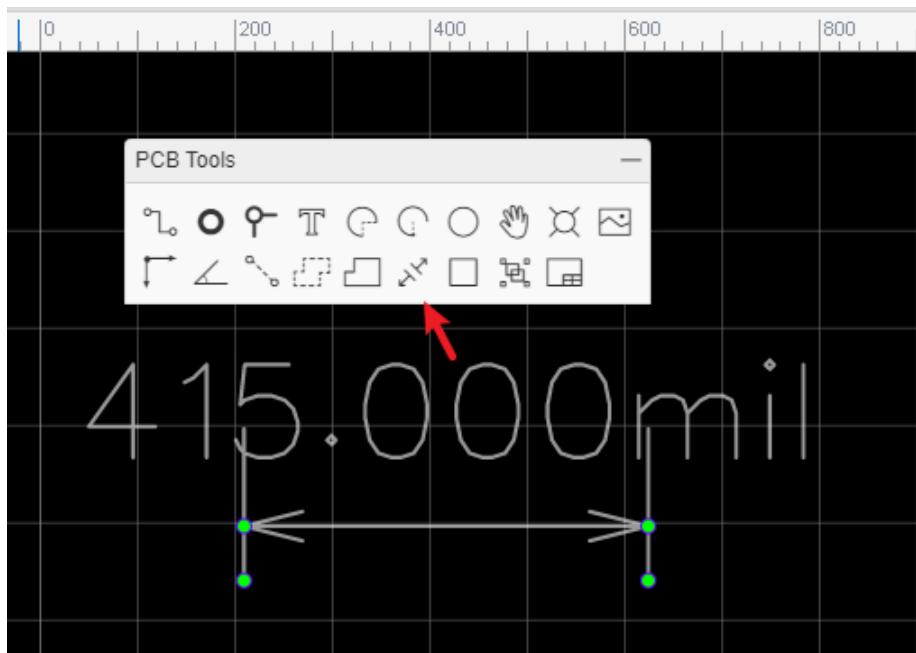


Рис.3.12 Инструмент «Размеры» на палитре инструментов

При клике мышью по одной из сторон измерительного элемента на печатной плате можно перетаскивать его в любом направлении или изменять его длину. Также можно измерить расстояние с помощью горячей клавиши М или через: Верхнее меню > Редактировать > Измерить расстояние, а затем кликнуть по двум точкам, которые хотим измерить (Рис.3.13).

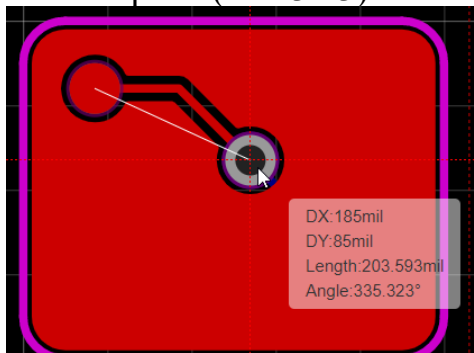


Рис.3.13 Измерение расстояния между двумя точками

3.2 Инструменты для работы со слоями и объектами

В EasyEDA каждый слой представляет собой отдельный лист. Лист может быть токопроводящим, изоляционным или содержать служебную информацию. Слои, накладываясь друг на друга, образуют готовую печатную плату. Для активного слоя можно задать параметры в редакторе настройки слоя. Таким образом, чтобы работать со слоем, необходимо сделать его активным (Рис.3.14). Для этого:

1. Кликнуть символ глаза, чтобы показать/скрыть слой.
2. Значок карандаша в цветном прямоугольнике указывает на то, что это активный слой.
3. Кликнуть значок булавки, чтобы зафиксировать инструмент «Слой» без автоматического закрытия.
4. Высоту и ширину инструмента «Слой» можно регулировать, перетаскивая нижний правый угол инструмента «Слой».

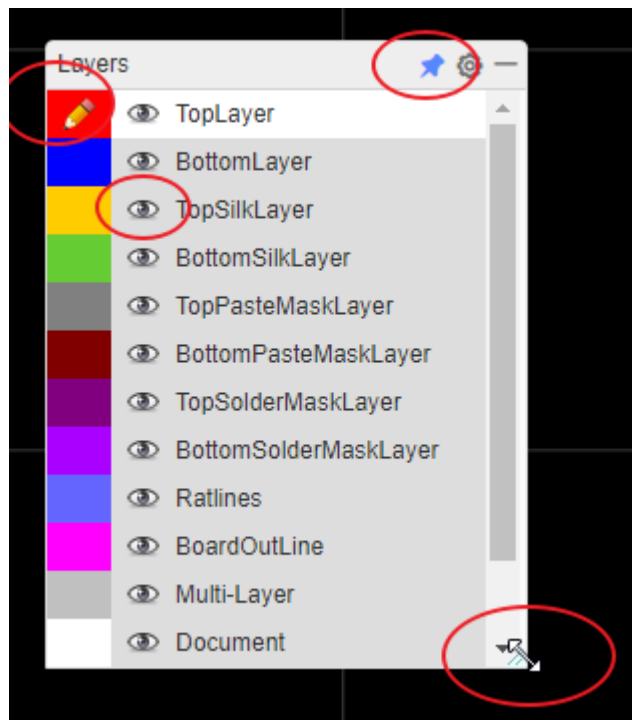


Рис. 3.14 Редактор слоя

Горячие клавиши для активации слоев:

- Т: Активен верхний слой
- В: Нижний слой
- 1: Внутренний слой 1
- 2: Внутренний слой 2
- 3: Внутренний слой 3
- 4: Внутренний слой 4

Для фильтрации объектов необходимо нажать на кнопку «Объект» и тем самым переключиться на фильтрацию объектов (Рис.3.15).

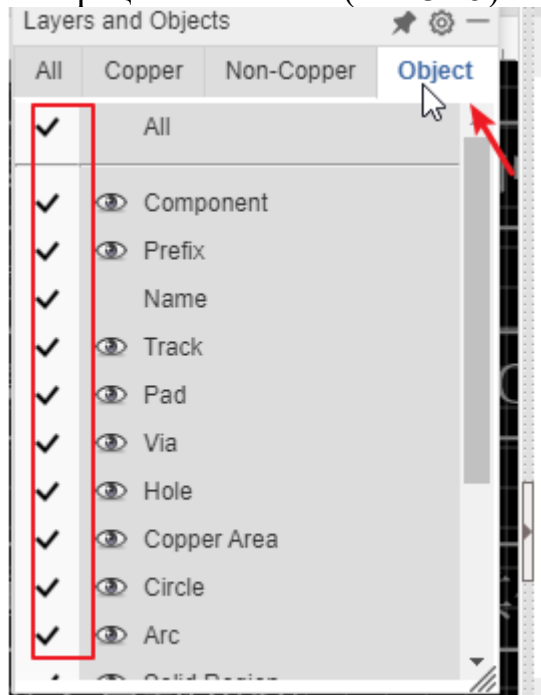


Рис.3.15 Фильтрация объектов

Если галочка напротив объекта стоит, то соответствующий объект на холсте можно перемещать с помощью мыши. Снятие галочки запрещает операции с мышью, включая выделение щелчком мыши, выделение рамкой, перетаскивание и другие операции. Клик мышью по глазу позволяет изменять отображение и скрытие соответствующих объектов группами.

- Компонент: отображает или скрывает весь компонент, за исключением имени и префикса компонента.
- Префикс: отображает или скрывает префикс всего компонента.
- Имя: отображает или скрывает имя всего компонента.
- Дорожка: отображает или скрывает всю дорожку для всех слоев.
- Площадка: отображает или скрывает всю свободную площадку, за исключением площадок в компоненте.
- Медный слой: отображает или скрывает всю область заливки меди, за исключением контура меди.
- Текст: отображает или скрывает весь обычный текст, за исключением текста компонента.

Стоит отметить, что слои и объекты, как невидимые, так и видимые, не будут автоматически перенесены в режимы «Отменить» и «Повторить». Эти операции придётся повторять для каждого слоя отдельно.

Параметры слоев печатной платы можно задать в Диспетчере слоев.

Диспетчер слоев можно открыть через верхнее меню > Инструменты > Диспетчер слоев..., или щелкнув значок шестеренки «Слой» (Рис.3.16). Также можно просто кликнуть правой кнопкой мыши по холсту — меню «Диспетчер слоев».

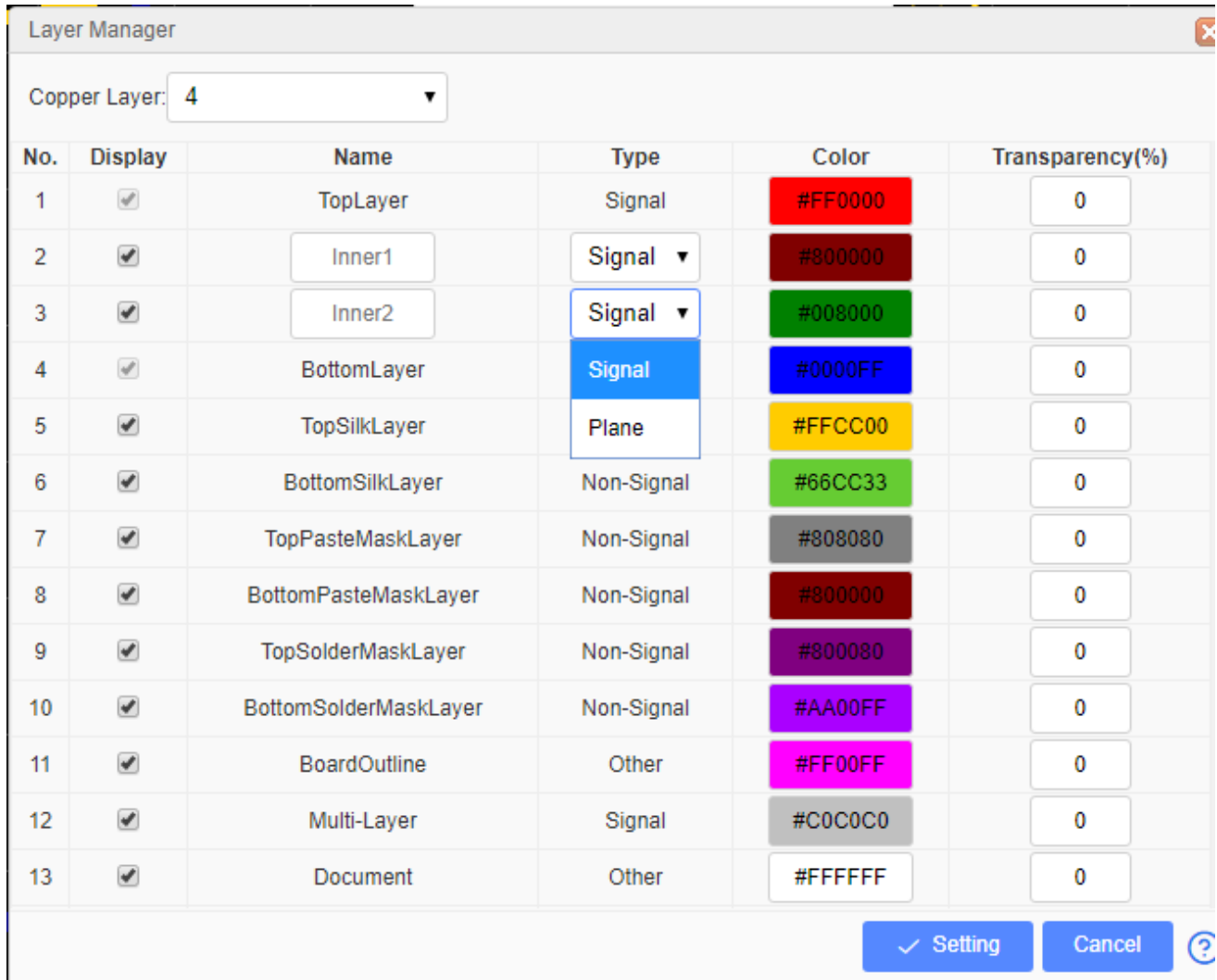


Рис.3.16 Диспетчер слоев

Настройки менеджера слоев работают только для текущей редактируемой печатной платы.

Медный слой (Copper Layer) - медный слой текущей печатной платы. EasyEDA поддерживает 34 медных слоя. Надо понимать, что чем больше медных слоев, тем дороже будет печатная плата. Верхний и нижний слой — это слои по умолчанию, их нельзя отключить. Если нам надо, например, изменить количество медных слоев с 4 на 2, то необходимо сначала удалить объекты внутренних слоев.

Отображение (Display) - если надо, чтобы слой не отображался в инструменте «Слой», то можно убрать флажок соответствующего слоя. При этом надо учитывать, что эта опция только скрывает имя слоя в инструменте «Слой»,

но объекты скрытого слоя остаются, и при генерации гербер-файла они отобразятся.

Имя (Name) - имя слоя. Для внутреннего слоя также можно задать имя.

Опция Тип (Type) позволяет определить, какого типа слой используется в данном слое. Сигнал (Signal) говорит нам о том, что выбран сигнальный слой. Это может быть, например, верхний или нижний слои. В свою очередь, Плоскость (Plane) говорит нам о том, что этот слой будет залит медью. Если нам надо отделить медную область, то можно в этом месте нарисовать дорожку или дугу. «Плоскость» обычно используется для заливки медного слоя в зону питания или заземления на внутреннем слое (Рис.3.17).

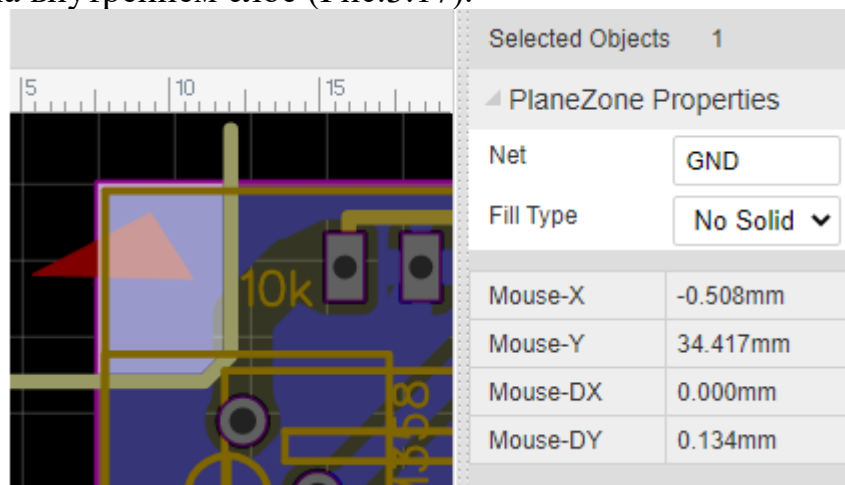


Рис.3.17 Заливка медного слоя в зону питания при помощи «Плоскости»

При прокладке дорожек для разделения плоскостной зоны начальная и конечная точки дорожек должны совпадать со средней линией дорожки на плате. В противном случае плоскостная зона не будет разделена; при использовании плоскостного слоя на печатной плате не может существовать двух замкнутых контуров платы. В этом случае плоскостная зона будет создана только с одним замкнутым контуром платы.

Также мы можем в диспетчере слоев указать некоторое количество не сигнальных слоёв (Non-Signal), например, препреги, механические слои и т.д. Ниже приведены слои печатной платы, с которыми есть возможность работать в редакторе печатных плат EasyEDA.

Определение слоев:

- **Верхний слой/Нижний слой:** Верхняя и нижняя стороны печатной платы, медный слой.
- **Внутренний слой:** Медный слой, трассировка дорожек и заливка меди.
- **Слой шелкографии/Нижний слой шелкографии:** Шелкография платы — это слой текстовой и графической маркировки, который наносится на поверхность готовой печатной платы

- **Слой маски пасты/Нижний слой маски пасты:** Этот слой используется для создания трафарета для SMT-контактов, облегчая пайку. Этот слой не оказывает влияние на производство печатной платы, если на плате не требуется создание трафарета.
- **Слой маски припоя/Нижний слой маски припоя:** Верхний и нижний защитные слои платы обычно покрыты так называемым «зеленым маслом», которое предотвращает нежелательную пайку. «Зеленое масло» — это паяльная маска (solder mask или solder resist) — тонкий слой прочного полимерного лака, который наносится на поверхность печатной платы поверх медных дорожек, но не на контактные площадки под пайку. Этот слой также относится к режиму негативной печати. Если есть провода или области, которые не нужно покрывать «зеленым маслом», то нужно их указать и после изготовления печатной платы эти области не будут им покрыты, что удобно для таких операций, как, например, лужение.
- **BoardOutline:** Слой определения формы платы. Для определения фактического размера платы завод будет изготавливать плату в соответствии с этой формой.
- **TopAssemblyLayer/BottomAssemblyLayer:** упрощенный контур компонентов для сборки и ремонта изделий. Используется для экспорта документов для печати, не влияя на производство печатных плат.
- **Механический слой (MechanicalLayer):** записывает информацию о механическом слое в проекте печатной платы и используется только для записи этой информации. По умолчанию этот слой не обрабатывается во время производства печатной платы. Некоторые производители плат используют механический слой для создания рамки при использовании файла программы Altium для производства. В EasyEDA информация о механическом слое из гербер-файла используется только для идентификации текста в JLCPCB. Например, для показа параметров процесса или для указания пути V-образного разреза и т. д. В EasyEDA этот слой не влияет на форму границы платы. Если механический слой имеет замкнутые провода, JLCPCB будет отдавать приоритет использованию механического слоя в качестве формы платы при ее производстве. Если отсутствует внешняя рамка механического слоя, в качестве рамки будет использоваться GKO (историческое влияние файлов программы Altium). Так как исторически сложилось так, что на ранних развитиях технологий проектирования печатных плат механическому слою уделялось более пристальное внимание, чем в настоящее время, то

необходимо обратить внимание на использование механического слоя при проектировании печатной платы.

- **DocumentLayer:** Аналогичен механическому слою. Однако этот слой виден только в редакторе, если в файле Gerber он не используется для изготовления.
- **RatlineLayer:** Отображение линий разметки печатной платы. Этот слой не имеет физического значения и служит для удобства использования и настройки цвета.
- **HoleLayer:** Аналогичен RatlineLayer. Используется для отображения отверстий непокрытых медью.
- **Multi-Layer:** Аналогичен RatlineLayer. Для отображения многослойных отверстий, покрытых медью. Если в настройках контактных площадок (PAD) плата указана как многослойная, то такое отверстие будет соединяться со всеми медными слоями платы.
- **DRCErrorLayer:** Аналогичен RatlineLayer. Для отображения маркировки DRC (ошибка в правилах проектирования).

Разводка однослойной печатной платы в easyEDA имеет свои особенности, так как в EasyEDA медные слои печатных плат двойные, и программа не поддерживает прямую разводку однослойных плат. Если надо выполнить разводку однослойной печатной платы (например, только нижнего слоя), то это можно сделать двумя способами:

- Прямая разводка и трассировка на одном слое (верхнем или нижнем) без размещения переходных отверстий.
- Если мы используем посадочное место с многослойными контактными площадками, то можно оставить внутреннюю стенку отверстия металлизированной по мере необходимости. В этом случае можно найти все многослойные контактные площадки с помощью функции «Найти похожие объекты». Если нам не нужно металлизировать внутреннюю стенку отверстия для вставки, то мы можем просто изменить атрибут металлизации (покрытие) площадки на «Нет» и сохранить металлизацию. После генерации Гербер-файлов надо удалить ненужные файлы слоев (например, если нам нужен только нижний слой, то необходимо удалить файлы, относящиеся к верхнему слою, и затем заархивировать всё обратно в zip-архив.

При прокладке дорожек на печатной плате между контактными площадками, так как у них одинаковые имена, автоматически отобразится линия разметки (Ratline), указывающая на возможность их соединения дорожками (Рис.3.18).

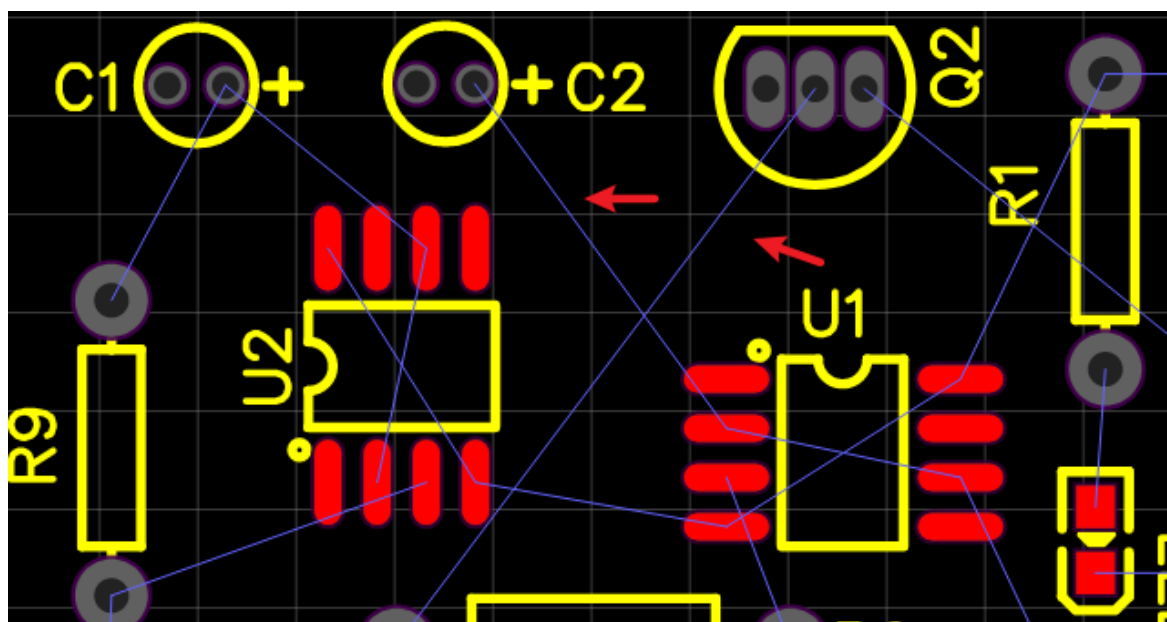


Рис.3.18 Линии разметки (Ratline)

Если мы не хотим, чтобы линия разметки отображалась в редакторе печатных плат, то можно снять выделение с цепи в менеджере проекта, как показано на рисунке 3.19 (в этом примере убираем +5V). Если после снятия выделения мы нарисуем ещё одну дорожку в диапазоне +5V, то рабочая область не будет отображать эту дорожку и линию разметки, но зато будет отображаться текст цепи с указанием +5V, как показано на рисунке 3.20.

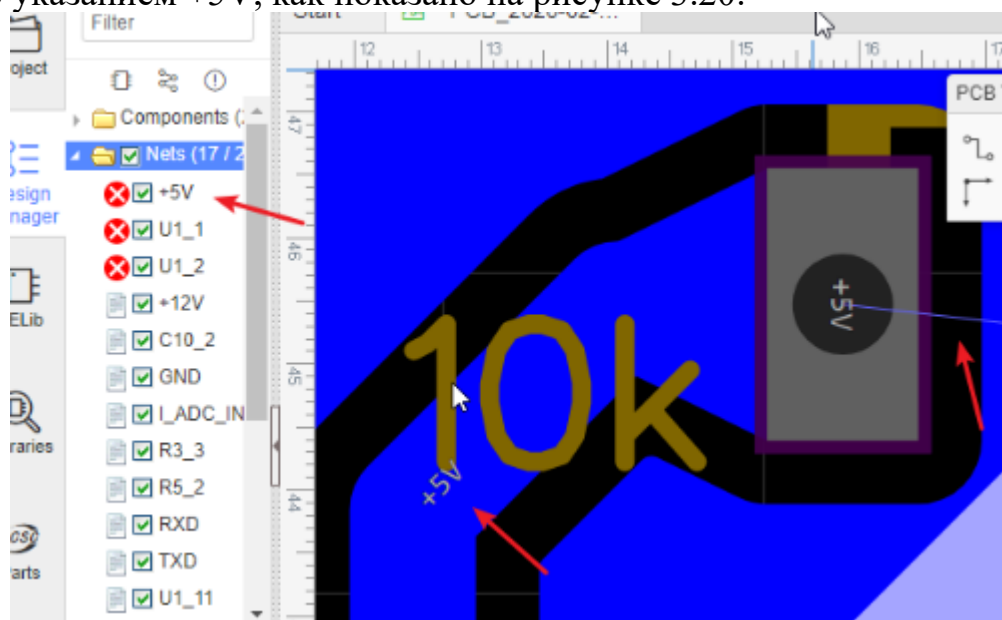


Рис.3.20 Снятие выделения с линии разметки

Чтобы проверить линии разметки с помощью подсветки, надо кликнуть значок карандаша на слое «Линии разметки» и изменить цвет линий разметки в Диспетчере слоев (Рис.3.21).

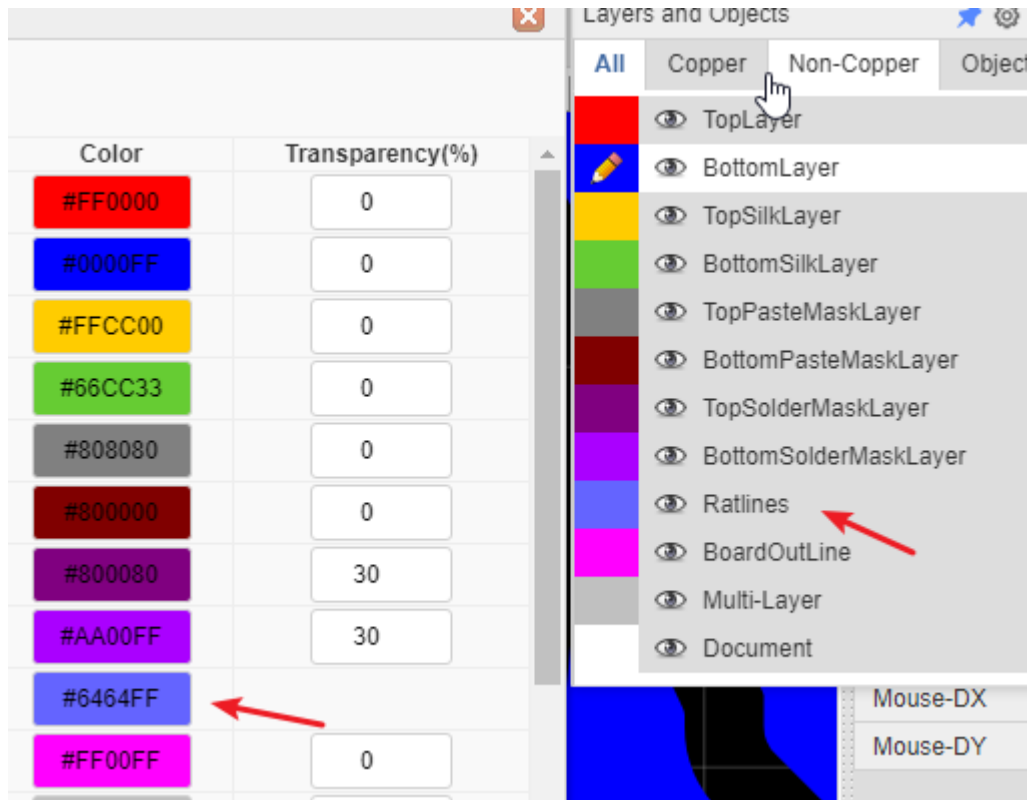


Рис.3.22 Проверка линии разметки с помощью подсветки

Если мы хотим, чтобы выбранная линия разметки была подсвечена постоянно, то можно кликнуть мышью по площадке и нажать горячую клавишу Н. Чтобы снять подсветку, надо снова нажать клавишу Н. Если мы хотим изменить цвет линии разметки, то можно установить цвет в меню: - Инструменты - Цвет сетки. После установки цвета необходимо щелкнуть значок плюса справа. Цвет этой линии не будет зависеть от цвета слоя, к которому эта линия принадлежит (Рис.3.23).

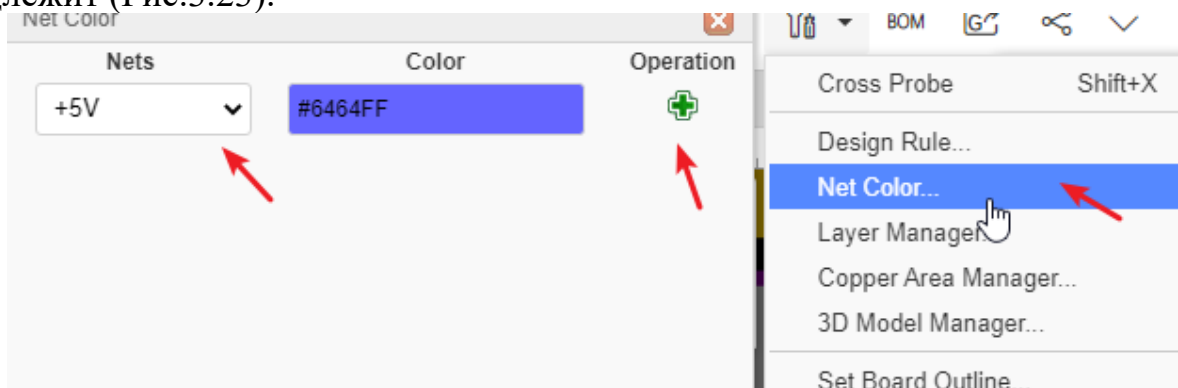


Рис.3.23 Установка цвета линии разметки

Перед размещением посадочных мест необходимо создать контур платы. Контур платы должен быть нарисован на слое «Board OutLine». Поэтому сначала необходимо установить слой «Board OutLine» в качестве активного, затем

начертить контур платы, используя инструменты Дорожка (Track) и Дуга (Arc) из палитры Инструменты для работы с редактором печатных плат (Рис.3.24).

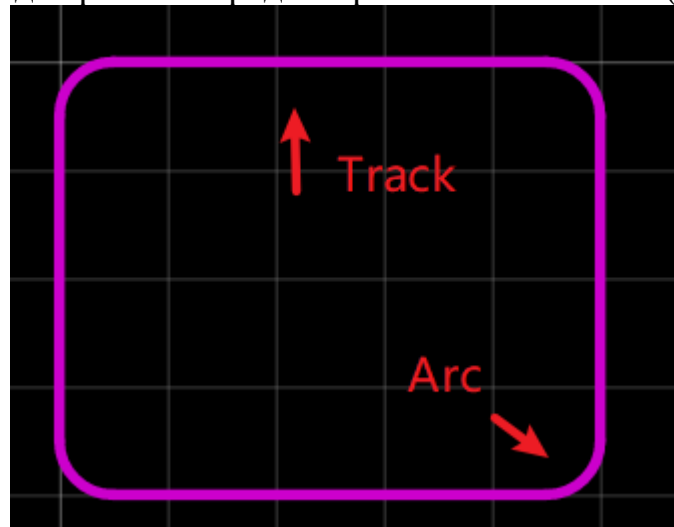


Рис.3.24 Создание контура платы

При преобразовании принципиальной схемы в печатную плату EasyEDA попытается самостоятельно создать контур платы. Площадь контура платы по умолчанию в 1,5 раза больше суммы площадей всех посадочных мест в проекте, поэтому мы можем разместить все наши посадочные места в этом контуре платы с некоторым запасом для дорожек. Если нам не нравится контур платы, то можно удалить элементы, из которых он состоит, и нарисовать свой собственный (Рис.3.25).

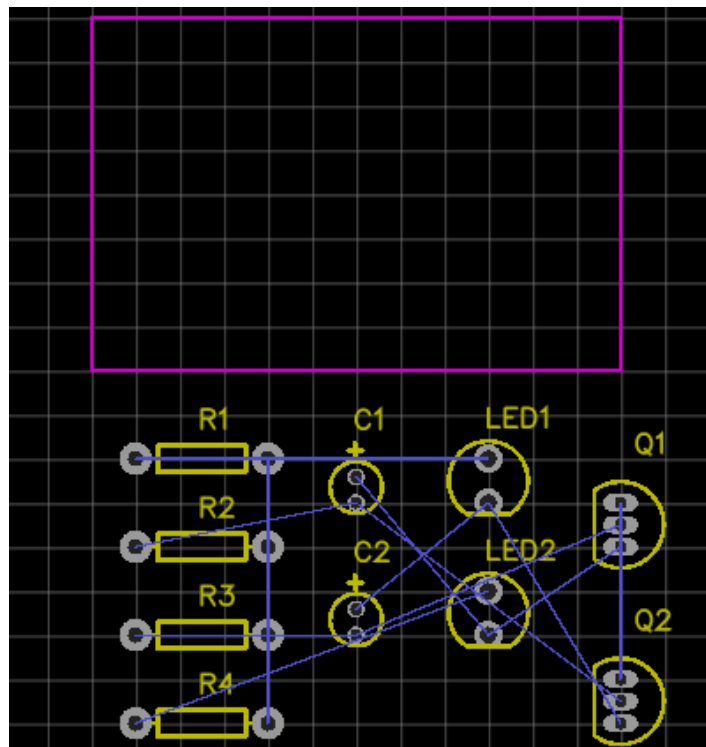


Рис.3.25 Пользовательский контур

Чтобы создать простой прямоугольный контур платы, эту дугу можно удалить, а конечные точки линий X и Y отредактировать — либо непосредственно на панели «Свойства», либо перетащить концы линий и замкнуть прямоугольник. EasyEDA также предоставляет мастер создания контура платы, поэтому создать контур платы можно довольно быстро. Это можно сделать через: верхнее меню>Инструменты>Установить контур платы, или на панели инструментов (Рис.3.26). В этом диалоговом окне доступны 3 типа контуров платы: прямоугольный, круглый и прямоугольник с закруглениями. Если нам нужно сделать более сложный контур платы, то необходимо импортировать файл DXF.

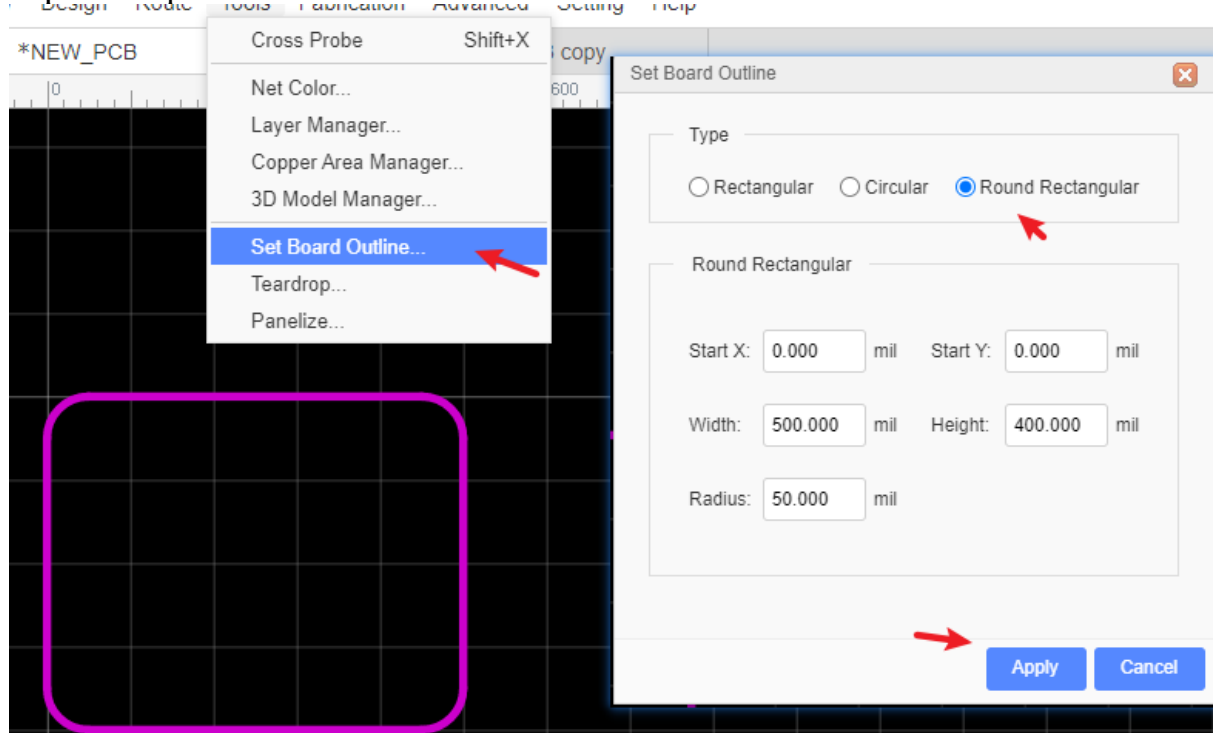


Рис.3.26 Мастер создания контура платы

Стоит иметь в виду, что при генерации Гербер-файла EasyEDA выдаст ошибку, если контур платы не замкнут или дорожки контура платы перекрываются. Также есть возможность вырезать отверстие, используя контур платы, или использовать «Отверстие» или «Сплошная область» (тип: «Вырез в плату») для создания отверстия вместо контура платы. Ещё мы можем щелкнуть правой кнопкой мыши по дорожке или кругу, чтобы преобразовать их в вырез в плату. При этом если контур платы не замкнут, то медная заливка не отобразится.

3.3 Трассировка дорожек

В редакторе схем для соединения выводов используется клавиша Wire или горячая клавиша W, аналогично в редакторе печатных плат для соединения контактных площадок используется клавиша Track. Track позволяет рисовать дорожки на печатной плате и находится на палитре инструментов печатной платы, или можно воспользоваться горячей клавишей W.

Для начала трассировки дорожки необходимо сделать один клик мышью в любом месте рабочей области. Еще один клик позволит закрепить дорожку на холсте, и можно будет с этого момента продолжить работу в дальнейшем. Щелчок правой кнопкой мыши приведёт к завершению прокладки текущей дорожки. Двойной щелчок правой кнопкой мыши - выход из режима трассировки (Рис.3.27).

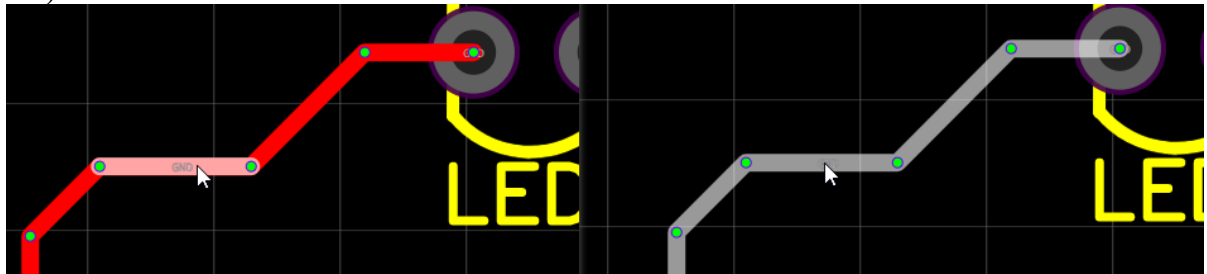


Рис.3.27 Рисование дорожки

Трассировка дорожки одновременно с использованием горячей клавиши (например, горячей клавиши B) для смены активного слоя автоматически вставит переходное отверстие (Рис.3.28).

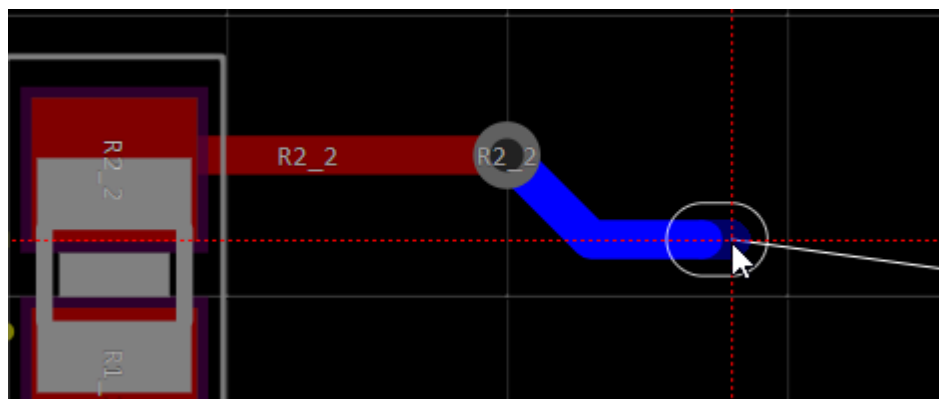


Рис.3.28 Автоматическая простановка переходного отверстия

Если мы начинаем рисовать дорожку на верхнем слое, она будет отображаться красным цветом. Чтобы переключиться на нижний слой, надо нажать клавишу B. EasyEDA вставит в этом случае серое переходное отверстие, после чего дорожка продолжит трассировку, но теперь уже на нижнем слое синим цветом.

Нажатие горячих клавиш + или - во время рисования дорожки изменяет её ширину в режиме реального времени. Используя горячую клавишу TAB, можно изменить ширину дорожки (Рис.3.29).

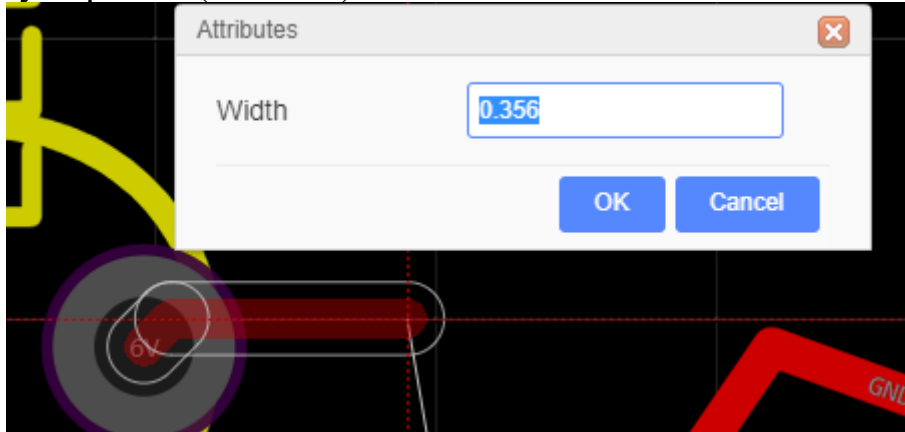


Рис.3.29 Трассировка переходного отверстия на нижнем слое

Двойной щелчок по нарисованному участку трассы добавит новую вершину в этой точке (Рис.3.29). После этого мы можем перетащить вершину, чтобы сформировать новый угол. Также можно щелкнуть правой кнопкой мыши по точке и удалить ее. Чтобы отрегулировать расстояние между вершинами, кликните мышью по дорожке, чтобы её выбрать, а затем перетащите её мышью по сегменту дорожки (Рис.3.30).

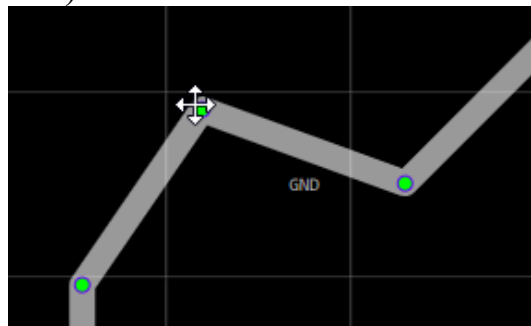


Рис.3.29 Создание новой вершины

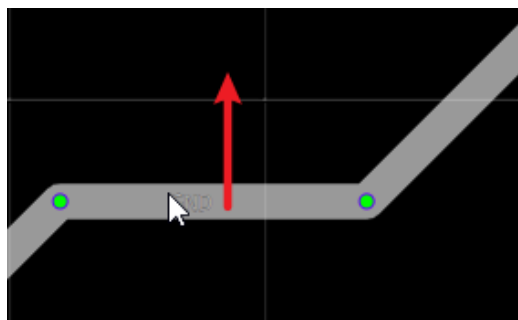


Рис.3.30 Выравнивание дорожки мышью

Если угол дорожки прямой, а угол трассировки равен 45 градусам, то можно перетащить дорожку, расположенную рядом с узлом «Прямой угол», чтобы создать скос. Таким образом вместо перетаскивания всего фрагмента мы просто переместим всю дорожку целиком (Рис. 3.31).

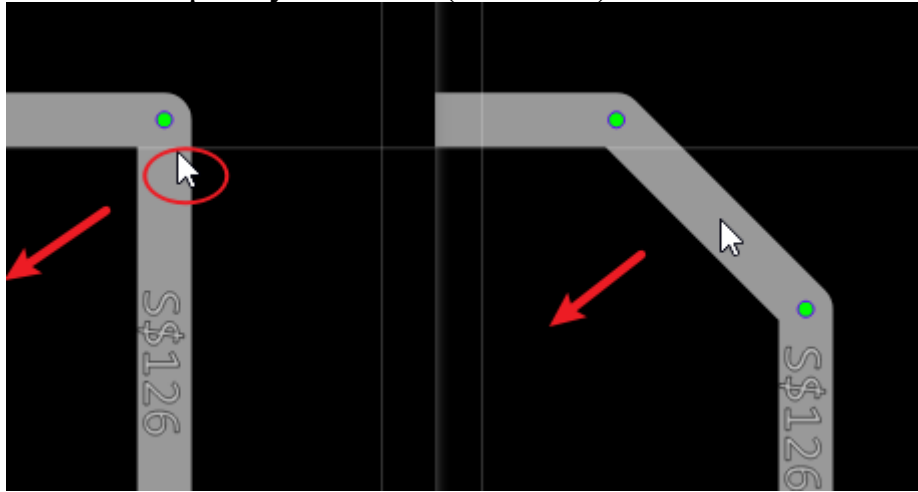


Рис.3.31 Перемещение дорожки с угловым узлом

Если мы хотим создать отверстие для паяльной маски на дорожке, то можно использовать функцию Expose Copper "Открыть медь" при выборе дорожки на правой панели. Размер паяльной маски будет на 4 миллиметра больше, чем размер дорожки (Рис.3.32).

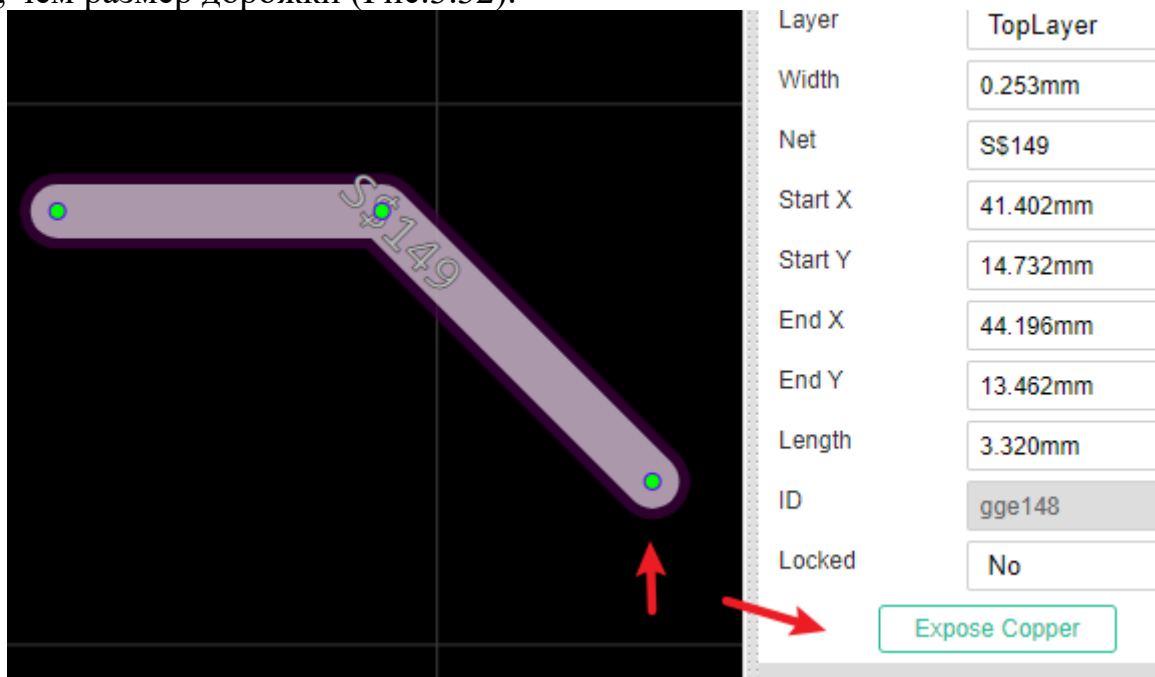


Рис.3.32 Отверстие для паяльной маски

После того как выбрана дорожка, мы можем воспользоваться свойствами дорожки и задать её длину (Рис.3.33).

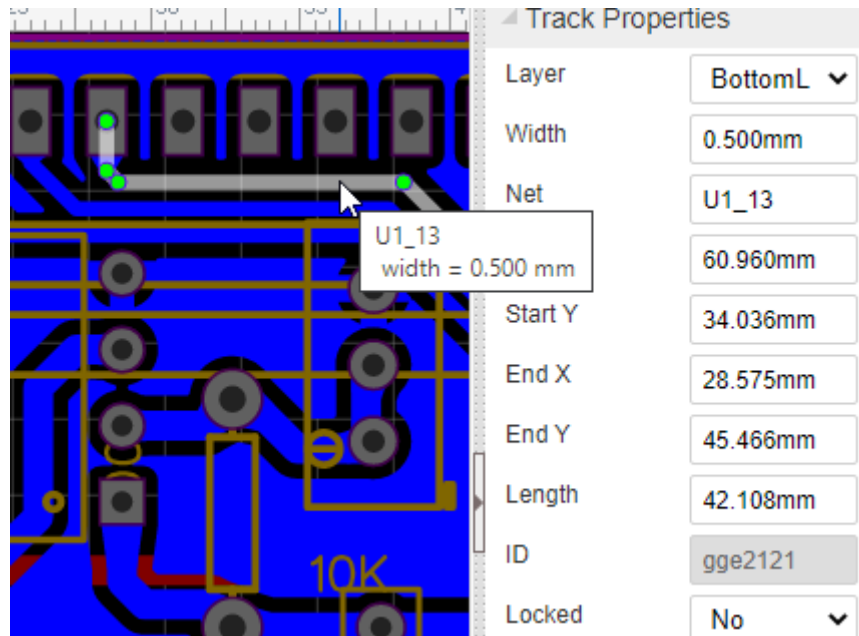


Рис.3.33 Определение длины дорожки

Также можно в левой панели диспетчера проектирования кликнуть мышью по цепи, и тогда откроется диалоговое окно с отображением длины дорожки этой цепи. Если кликнуть по дорожке и нажать горячую клавишу Н, выделится эта дорожка вместе со всей электрической цепью, а также отобразится её длина. Далее можно удалить сегмент с дорожки. Для этого во время трассировки, если мы хотим отменить предыдущий путь дорожки, то можно нажать клавишу «Delete» или «Backspace». Также можно навести курсор мыши на сегмент, который хотим удалить, кликнуть по нему, а затем, удерживая клавишу SHIFT, дважды по нему кликнуть. Сегмент будет удален. Можно также кликнуть правой кнопкой мыши, чтобы удалить весь узел. Для этого надо кликнуть правой кнопкой мыши по узлу дорожки и тем самым удалить дорожку вместе с узлом. Чтобы удалить дорожку напрямую – просто кликните по дорожке правой кнопкой мыши или нажмите клавишу «Delete».

При преобразовании схемы печатной платы автоматически откроется окно «Конфликт трассировки — блок». На правой панели атрибутов в разделе «Прочее» находится опция «Конфликт трассировки» (Рис.3.34). Здесь у нас есть несколько опций:

- Игнорировать: мы можем прокладывать дорожку, перекрывая объекты с разными именами цепей.
- Блокировать: если имя цепи дорожки отличается от других объектов, то эта дорожка будет заблокирована при прокладке.
- Обходная дорожка: во время прокладки дорожка будет обходить объекты с разными именами цепей.

- Отправить: пока не используется.

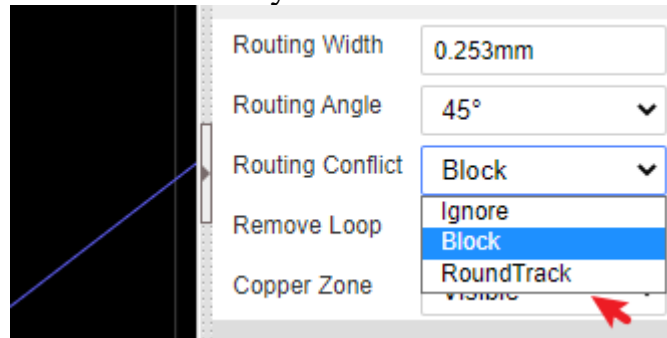


Рис.3.34 Конфликт трассировки

В EasyEDA также есть возможность трассировки дифференциальных пар. По своей сути это специальный режим прокладки проводников, который позволяет одновременно размещать на печатной плате два сигнальных провода, работающих как дифференциальная (или симметричная) пара. Этот метод используется для передачи таких сигналов, как USB (особенно высокоскоростные версии), Ethernet, HDMI, аудиосигналы и т.д. Основная цель — обеспечить максимально одинаковые условия для обоих проводников пары, чтобы сохранить целостность сигнала и минимизировать электромагнитные помехи.

В EasyEDA процесс трассировки дифференциальных пар реализован через: Главное меню - Трассировка - Трассировка дифференциальных пар. Перед тем как начинать трассировку дифференциальных пар, надо убедиться, что имена цепей дифференциальной пары имеют формат XXX_N, XXX_P или XXX+,XXX-. Затем необходимо установить правило для цепей дифференциальной пары в меню "Главное меню - Инструменты - Правила проектирования". Для реализации трассировки дифференциальной пары необходимо выполнить следующие шаги:

1. Установить имя цепи дифференциальной пары как XXX_N, XXX_P или XXX+,XXX-, и также установить правило для цепи дифференциальной пары в разделе "Правила проектирования".

2. Кликнуть мышью меню "Главное меню" - Трассировка - Трассировка дифференциальных пар

3. Кликнуть по одной из контактных площадок дифференциальной пары

4. Выполните трассировку (Рис.3.35)

Стоит отметить, что для трассировки под углом 45 градусов не поддерживаются горячие клавиши L и пробел. Также не поддерживается трассировка с разветвлением и не работает блокировка DRC. Если предыдущая точка трассировки расположена слишком близко к конечным площадкам, то трасса создаст дополнительные сегменты. Настоятельно рекомендуется расположить предыдущую точку трассировки на значительном расстоянии от конечных площадок (Рис.3.36).

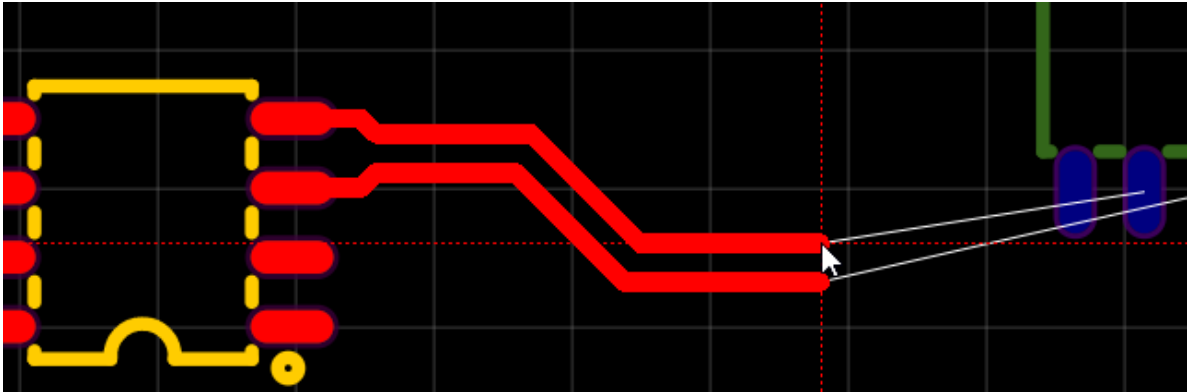


Рис.3.35 Трассировка дифференциальной пары

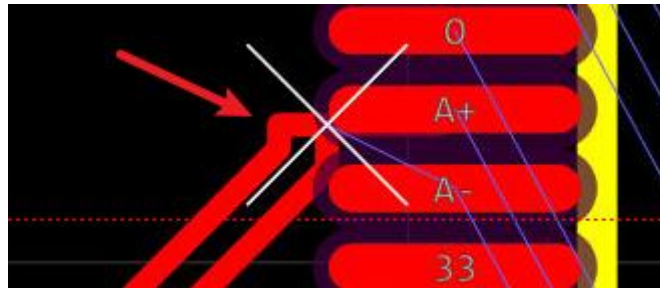


Рис.3.36 Ошибка при размещении точек дорожки

Ещё одной из функций редактора трассировки является Настройка длины дорожки. Её можно очень легко настроить в редакторе через: Главное меню - Маршрут - Настройка длины дорожки (Track length Tuning) (Рис.3.37).

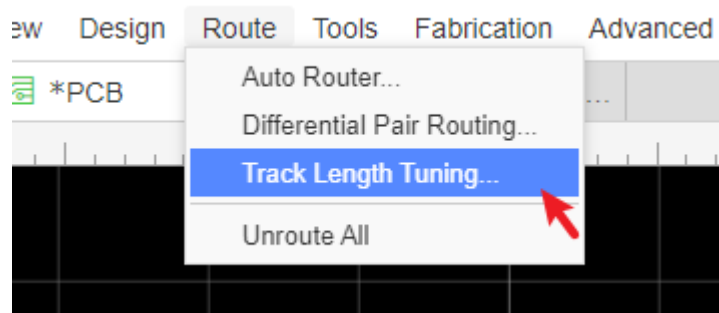


Рис.3.37 Настройка длины дорожки

Для настройки длины дорожки необходимо:

1. Выбрать дорожку, которую необходимо настроить.
2. Нажать на кнопку меню: Главное меню - Маршрут - Настройка длины дорожки.
3. Установить нужные параметры и запустить настройку.
4. Щелкнуть левой кнопкой мыши по дорожке, с которой хотим начать настройку, и двигать курсор мыши в нужном направлении (Рис.3.38).
5. Когда длина дорожки приблизится к заданному значению, настройка остановится.

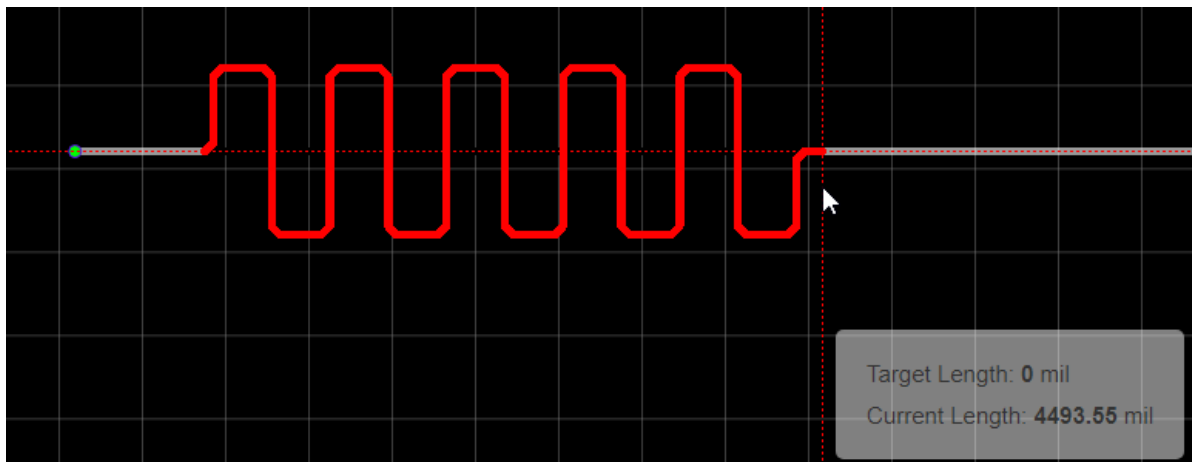


Рис.3.39 Пользовательская настройка длины дорожки

Для простых или прототипов печатных плат может потребоваться функция автоматической трассировки для экономии времени. Трассировка - довольно трудоемкая и утомительная работа, и автоматическая трассировка значительно её упрощает. Перед использованием автоматической трассировки необходимо задать контур платы. По умолчанию в EasyEDA используется встроенный модуль автоматической трассировки, работающий в облаке. Но часто бывает так, что автоматической трассировки недостаточно. В этом случае можно настроить параметры автоматической трассировки вручную. Для этого надо использовать опцию "RoundTrack (Walk Around)" для трассировки дорожек через правую панель — Конфликт трассировки.

Для запуска процесса автоматической трассировки необходимо:

1. Нажать кнопку автоматической трассировки в верхнем меню "Верхнее меню > Трасса > Автоматическая трассировка"
2. Настроить автоматическую трассировку

После нажатия этой кнопки появится диалоговое окно настройки (Рис.3.40). В диалоговом окне конфигурации можно задать правила для профессиональной настройки автоматической трассировки. Эти правила должны быть равны или превышать значение параметра DRC.

К общим параметрам автоматической трассировки относятся:

- **Единица измерения:** Единица измерения соответствует единице измерения холста печатной платы.
- **Ширина дорожки:** Ширина дорожки при автоматической трассировке.
- **Зазор:** Зазор между объектами.
- **Диаметр переходного отверстия/Диаметр сверления переходного отверстия:** Размещение переходных отверстий при автоматической трассировке.

- **Отображение в реальном времени:** при выборе этой опции будет отображаться состояние трассировки в реальном времени.
- **Сервер трассировки:**
 - **Облако:** Использование онлайн-сервера EasyEDA.
 - **Локальный:** Использование локального сервера автоматической трассировки. При нажатии на значок «Автоматическая трассировка» редактор автоматически проверит наличие или отсутствие локального сервера трассировки.
- **Слой трассировки:** если мы хотим трассировать внутренний слой, необходимо сначала включить внутренний слой.
- **Специальные цепи:** для дорожки питания может потребоваться больший диаметр, поэтому можно добавить специальные правила.
- **Пропуск цепей:** если мы хотим сохранить цепь без трассировки, то можно пропустить её. Например, если мы хотим использовать медную дорожку для соединения с цепью GND, то мы можем пропустить цепь GND. Если мы хотим зарезервировать трассированную дорожку, то нам необходимо выбрать опцию «Пропустить трассированные цепи».

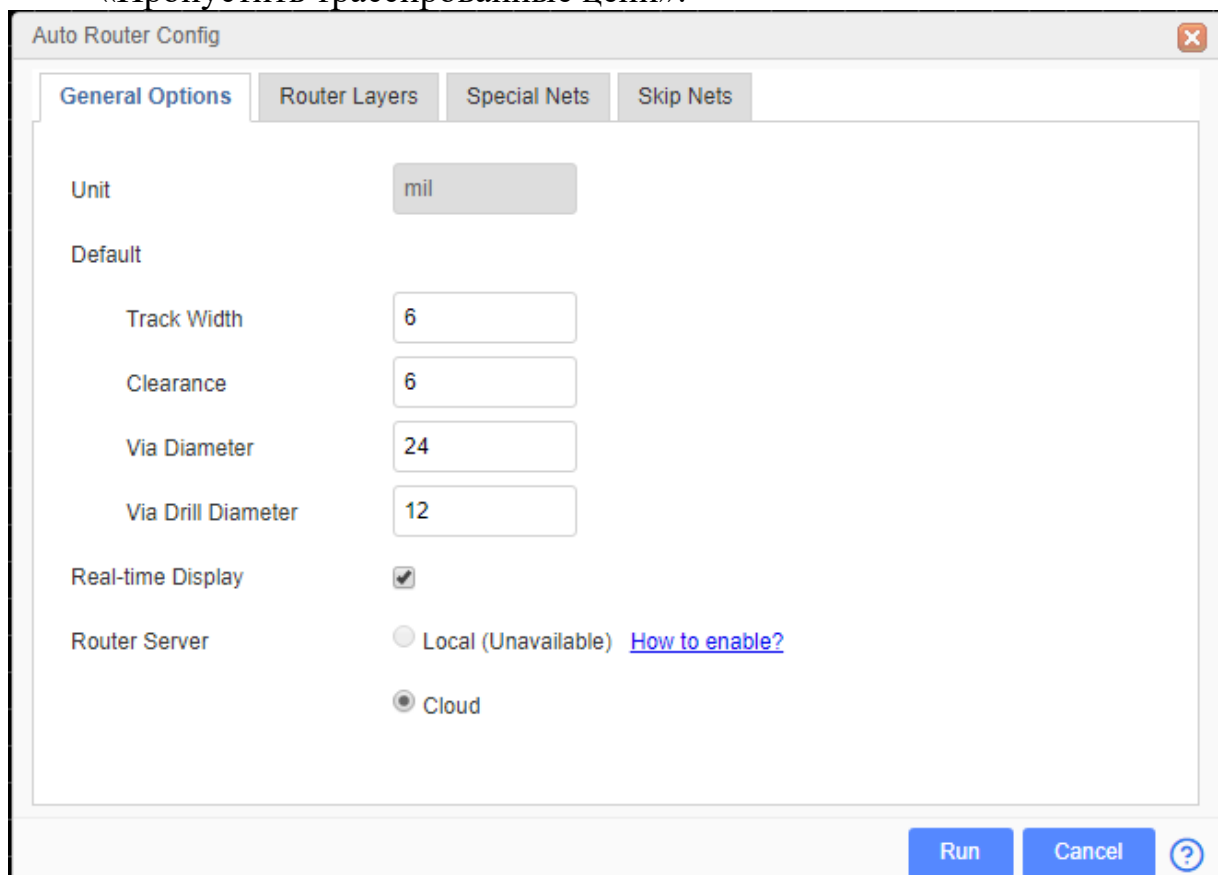


Рис.3.40 Диалоговое окно настройки автоматической трассировки

После нажатия кнопки «Запустить» (Run), если у нас установлен флажок «В режиме реального времени» (Real-time Display), то это позволит отслеживать ход выполнения процесса автоматической трассировки. После завершения процесса добавления нижнего и верхнего медного слоя мы получим готовую печатную плату, и появится окно, в котором будет видно, сколько токопроводящих дорожек было соединено в процессе автоматической трассировки (Рис.3.41).

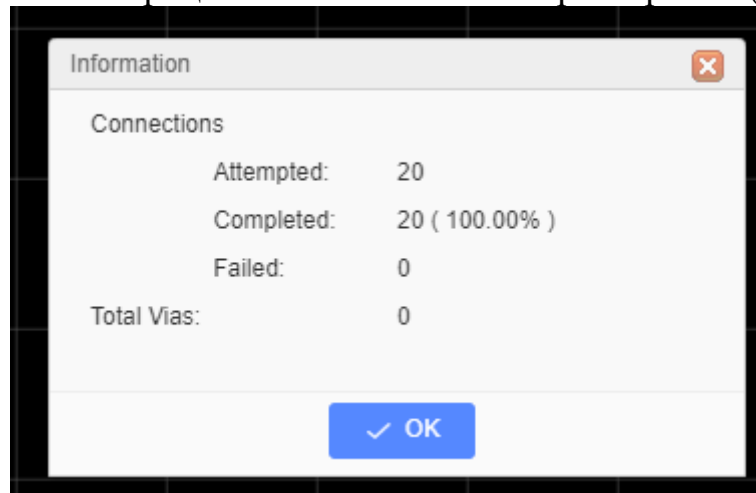


Рис.3.41 Окно завершения процесса автоматической трассировки

Кроме облачного инструмента, для автоматической трассировки можно использовать и локальный трассировщик. Более того, специалисты EasyEDA рекомендуют использовать локальный автоматический маршрутизатор вместо облачного сервера, поскольку при большом количестве пользователей, использующих облачный сервер, автоматический маршрутизатор в облаке может работать с большими задержками.

Также как и для проектирования схем, для проектирования печатных плат существует диспетчер проектирования. Диспетчер проектирования печатных плат можно найти на левой панели навигации в разделе проектирования (Рис.3.42), или можно просто нажать сочетание клавиш CTRL+D (Рис.3.43).

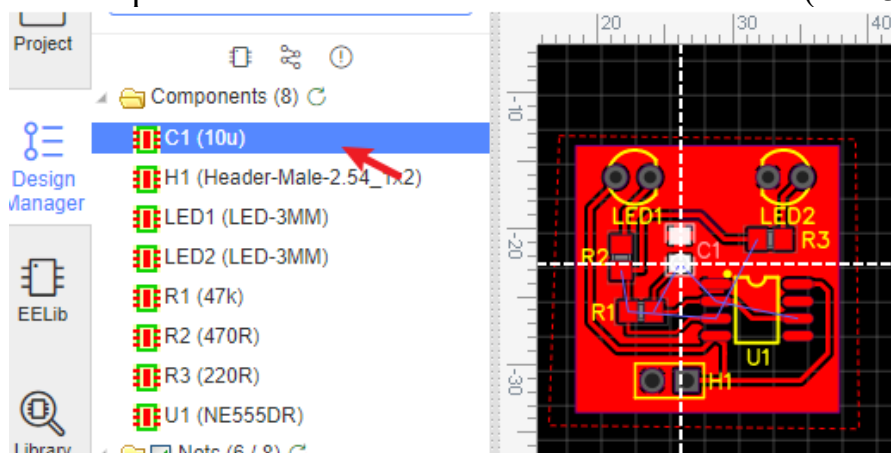


Рис.3.43 Диспетчер проектирования печатных плат

Диспетчер проектирования печатных плат позволяет фильтровать, проводить поиск компонентов, удалять дорожки.

Также EasyEDA предоставляет удобный режим просмотра изображений, который позволяет проверить печатную плату. Для перехода в режим просмотра изображений надо выбрать в верхнем меню «Вид» (View) – «2D-вид» (2D View) (Рис.3.44).

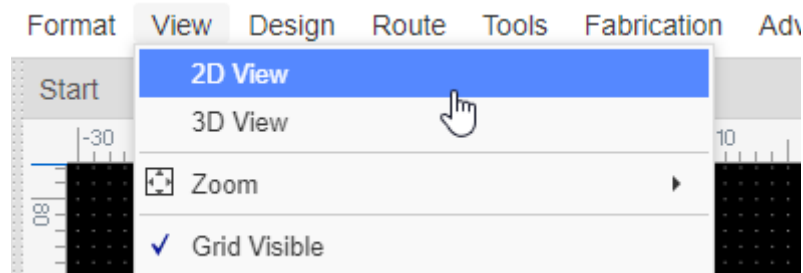


Рис.3.44 Меню 2D View

После преобразования печатной платы в фото-формат (Photo View) появится двухмерное изображение спроектированной печатной платы (Рис.3.45).

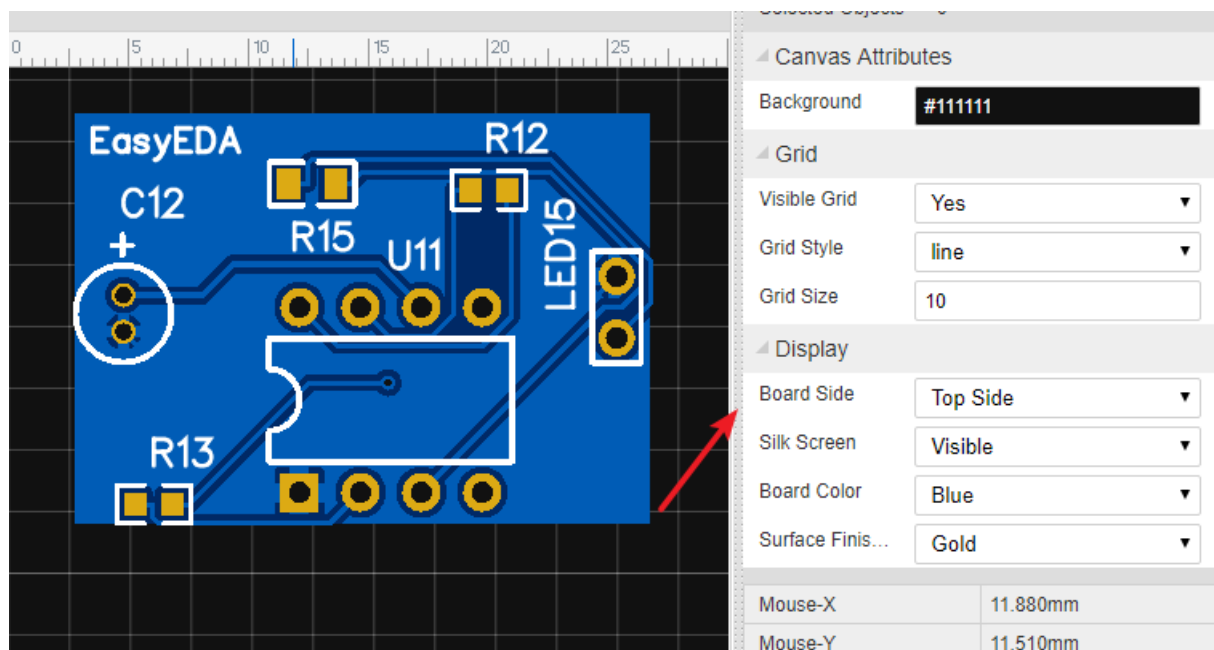


Рис.3.45 двухмерное изображение печатной платы

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие ключевые особенности отличают редактор печатных плат от редактора схем?
2. В чем разница между свойствами контактной площадки (Pad) для выводного (DIP) и SMD-компонента?
3. Как добавить переходное отверстие (Via) на уже проложенную дорожку и как это изменит дорожку?

4. Какие слои являются токопроводящими (медными), а какие — служебными (шелкография, паяльная маска)?
5. Как измерить расстояние между двумя точками на печатной плате?
6. В чем заключается принцип трассировки дифференциальных пар и какое требование предъявляется к именам их цепей?
7. Для чего используется функция настройки длины дорожки (Track Length Tuning)?

4. Работа с 3D моделями, модулями и создание Гербер-файлов

EasyEDA предоставляет довольно развитые возможности для работы с 3D-моделями, которые позволяют не только визуализировать плату, но и создавать для неё конструктивные элементы, например, простые корпуса. Сразу стоит отметить, что функционал несколько отличается в зависимости от того, какая версия используется: стандартная онлайн-версия или более продвинутую EasyEDA Pro.

EasyEDA поддерживает импорт 3D-моделей, позволяя просматривать интересующие нас 3D-модели печатных плат в режиме предварительного просмотра, однако экспорт файлов 3D-моделей печатных плат пока программой не поддерживается (Рис.4.1).

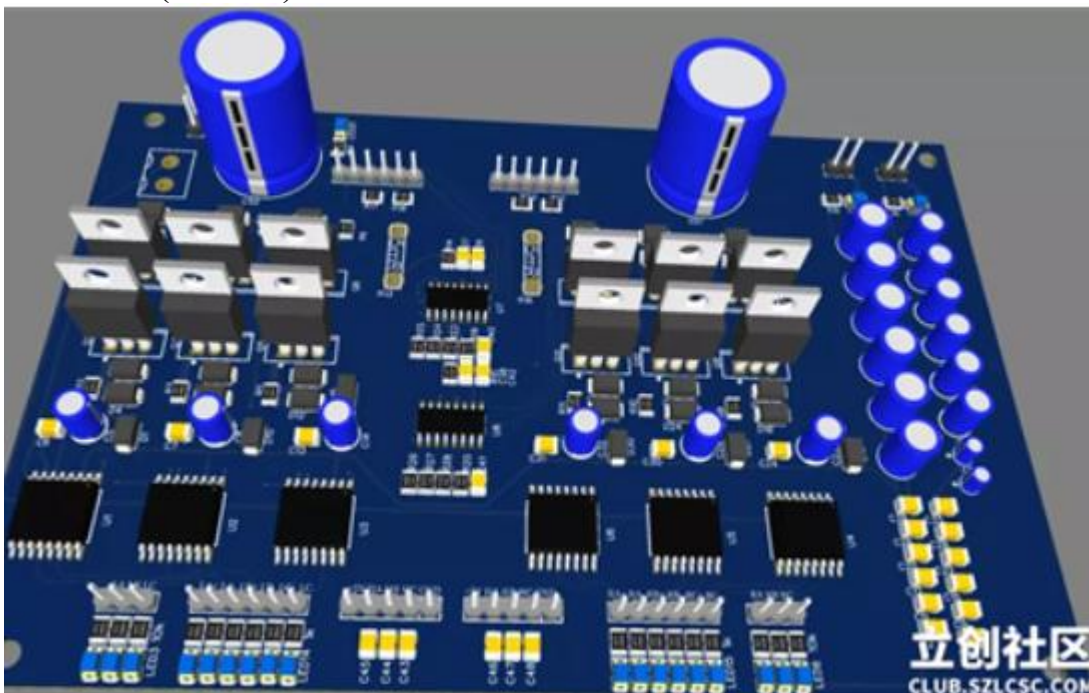


Рис.4.1 3D модель печатной платы

Для работы с 3D моделями используется менеджер 3D моделей, который можно найти на панели Инструменты (Рис.4.2.).

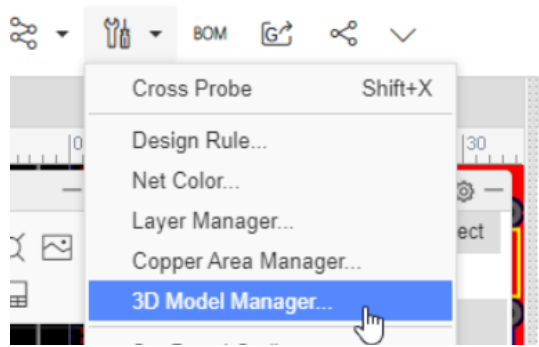


Рис.4.2 Менеджер 3D моделей

При открытии программы можно привязывать 3D-модели к вашим отпечаткам (Footprint), а также импортировать или искать 3D-модели, созданные пользователями.

Для работы с отпечатками следует придерживаться следующих шагов (Рис.4.3):

1. Кликнуть мышкой по отпечатку в списке слева, для того чтобы предварительный просмотр всех доступных отпечатков отображился в центральной области. Поддерживается множественный выбор: удерживайте CTRL + щелчок мыши для выделения; удерживайте SHIFT + щелчок для выделения.

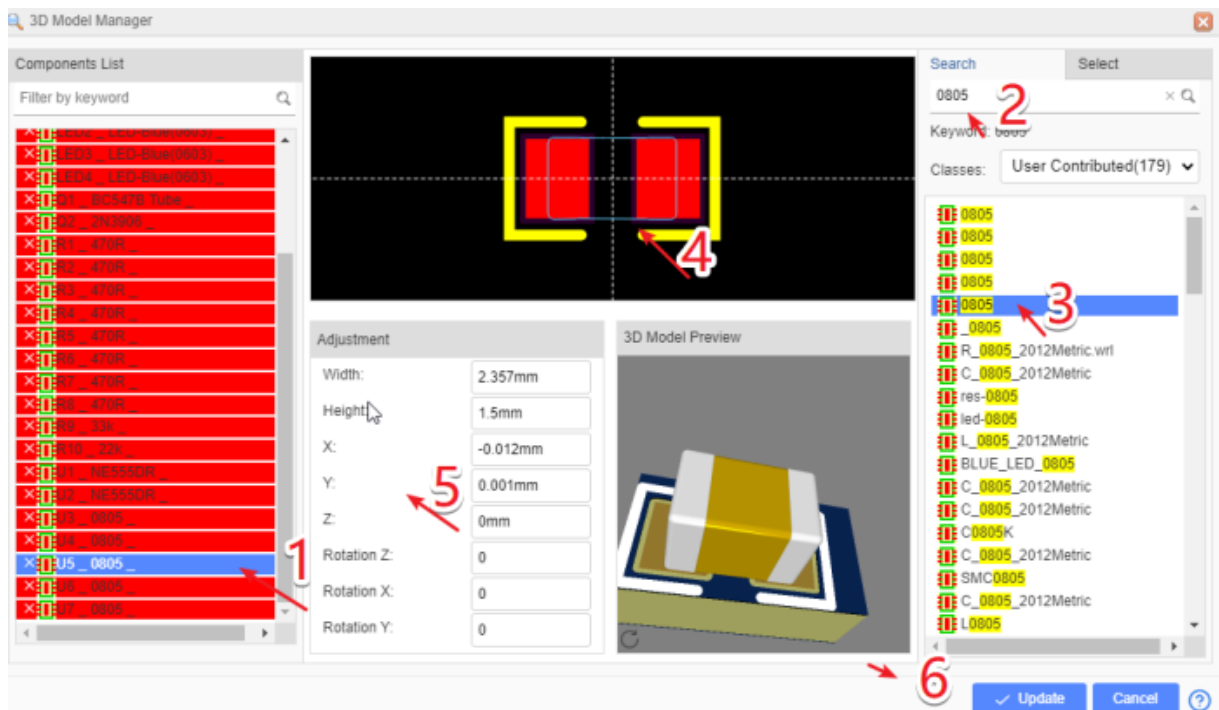


Рис. 4.3 Работа с отпечатками

2. Выбрать импортированные 3D-модели из списка справа или выполнить прямой поиск 3D-модели, загруженной пользователем, по ключевому слову.

3. Выбрать библиотеку 3D-моделей из списка, и в центральной области предварительного просмотра отобразится 2D-контур 3D-модели с видом сверху.
4. Настройка параметров. Например, вращение модели по оси Z (Рис.4.4).
5. После внесения изменений надо нажать кнопку «Обновить», чтобы завершить привязку 3D-модели.
6. В меню предварительного просмотра вверху нажать «Предварительный просмотр 3D», чтобы просмотреть 3D-модель.

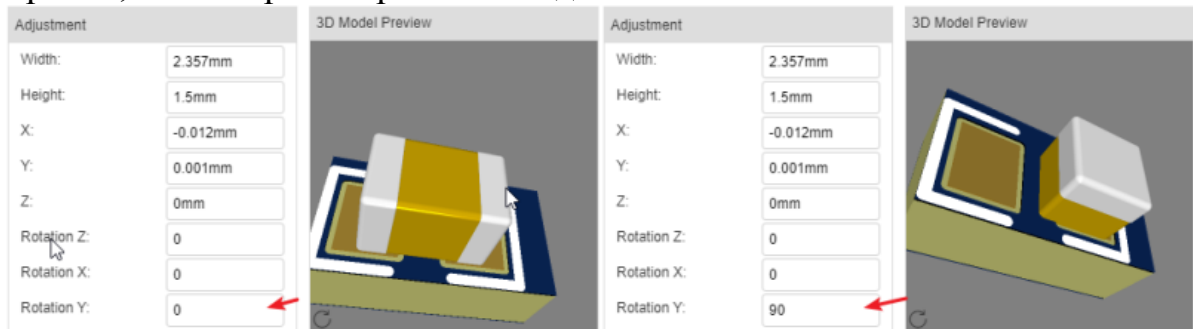


Рис.4.4 Вращение модели по оси Z

EasyEDA также поддерживает создание модулей из печатных плат. Для создания модулей сначала необходимо создать новый модуль из печатных плат (Рис.4.5).

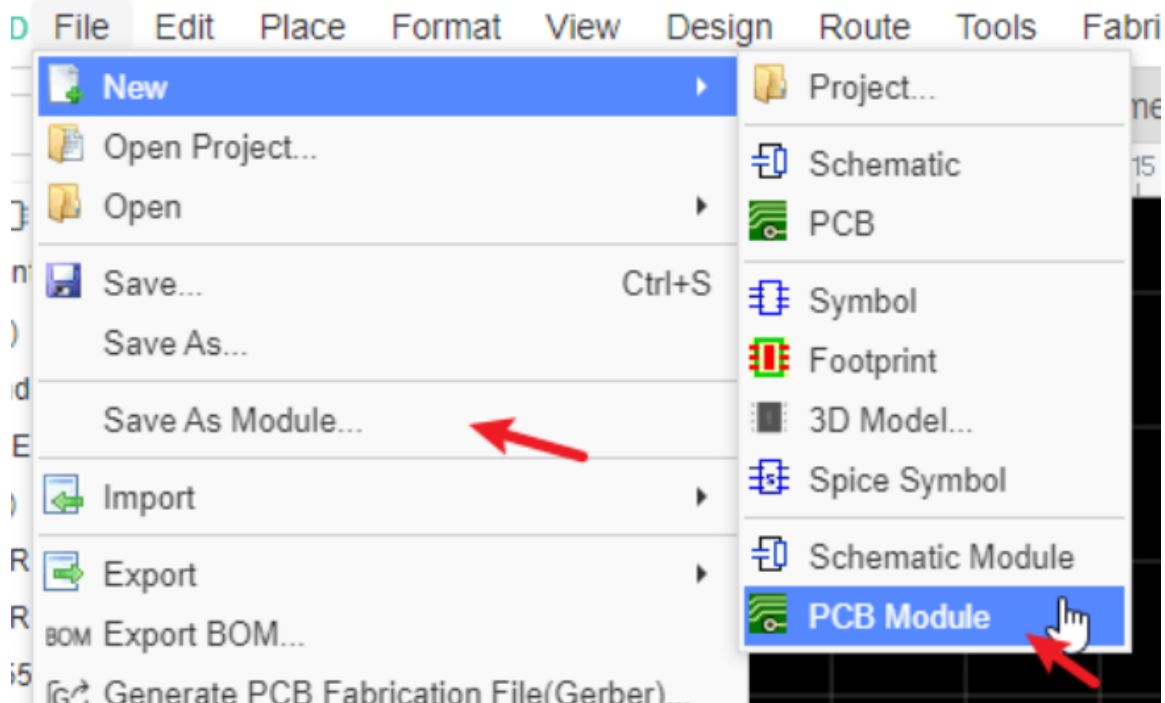


Рис.4.5 Варианты создания модулей из печатных плат

Сохранённые модули печатных плат хранятся в Библиотека > Модуль схемы/печатной платы > Рабочее пространство > Мои библиотеки

В последних версиях программы после размещения модулей схемы и модулей печатной платы поддерживается сохранение расположения элементов на рабочем листе.

Для создания модулей из печатных плат следует:

1. Нарисовать модули схемы и модули печатной платы и убедиться, что префиксы их компонентов соответствуют друг другу, а также что посадочные места совпадают. Префиксы компонентов модулей не могут содержать вопросительных знаков и повторяющихся префиксов, таких как U? или два R1.

2. Открыть схему и печатную плату в одном проекте.

3. Открыть «Библиотека» и выбрать модуль.

4. Нажать кнопку «Разместить», чтобы разместить ранее сохраненные модуль схемы и модуль печатной платы.

5. Появится окно для ввода символа. Символ, соответствующий букве на схеме модуля, должен соответствовать букве на печатной плате модуля (Рис.4.6). Например: компонент в модуле схемы обозначен как U2, вводим букву К, нажимаем ОК, чтобы разместить его на холсте, тогда он будет обозначен как KU2, и модуль печатной платы также будет иметь обозначение KU2. Далее нажимаем «ОК» и входим в режим размещения. После каждого размещения всплывающее окно будет продолжать вводить идентификационную букву. Остаётся только убедиться, что введенные идентификационные буквы каждый раз уникальны.

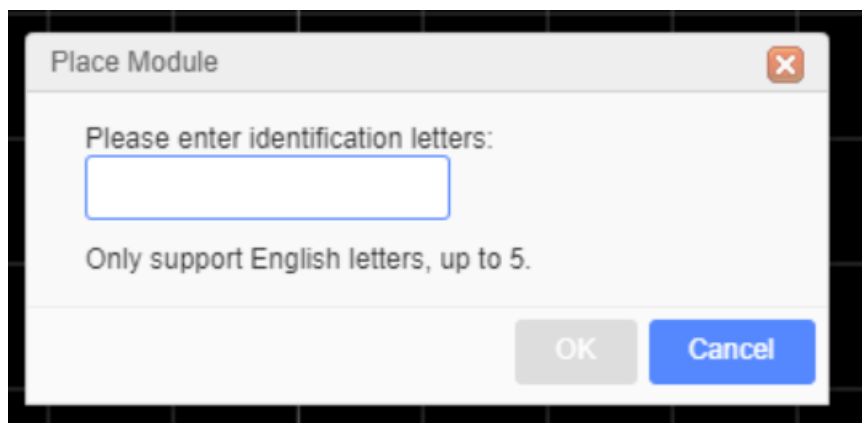


Рис.4.6 Ввод символа для названия модуля

6. После завершения размещения модуля уникальный идентификатор компонента печатной платы будет совпадать с уникальным идентификатором компонента схемы, и после импорта изменений местоположение компонента сохранится. После этого мы также можем обновить цепочку дорожек в соответствии с метками цепей схемы.

После завершения проектирования печатной платы можно сгенерировать и вывести файлы для изготовления (файл Gerber). Это можно сделать следующим

образом: Файл > Создать файл для изготовления печатной платы (Gerber) или Изготовление (Fabrication) > Файл для изготовления печатной платы (PCB Fabrication file Gerber) (Рис.4.7). Гербер-файл в EasyEDA — это стандартный формат производственных файлов, который экспортируется из редактора для передачи на завод по изготовлению печатных плат. Процесс его создания в EasyEDA максимально упрощен и часто интегрирован с сервисами печати, такими как JLCPCB.

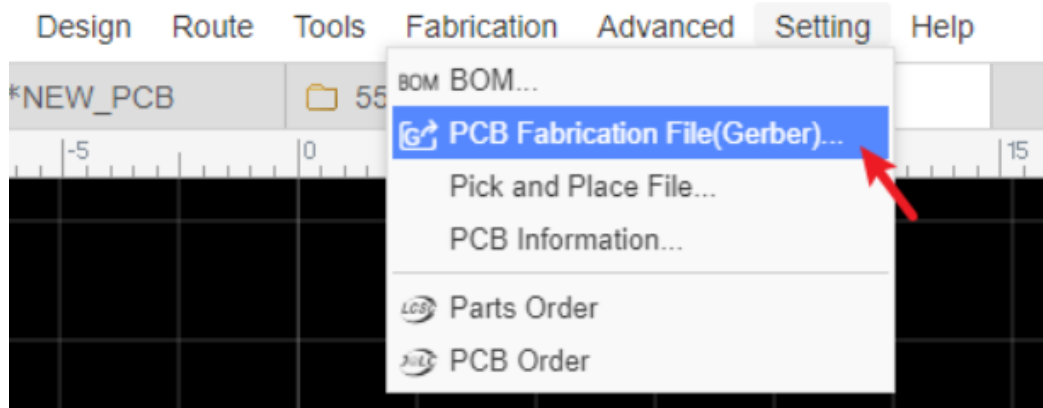


Рис.4.7 Вывод Гербер файла

В открывшемся диалоговом окне генерации можно создать гербер-файл или сразу перейти к заказу печатной платы в одном из установленных сервисов по производству печатных плат (Рис.4.8).

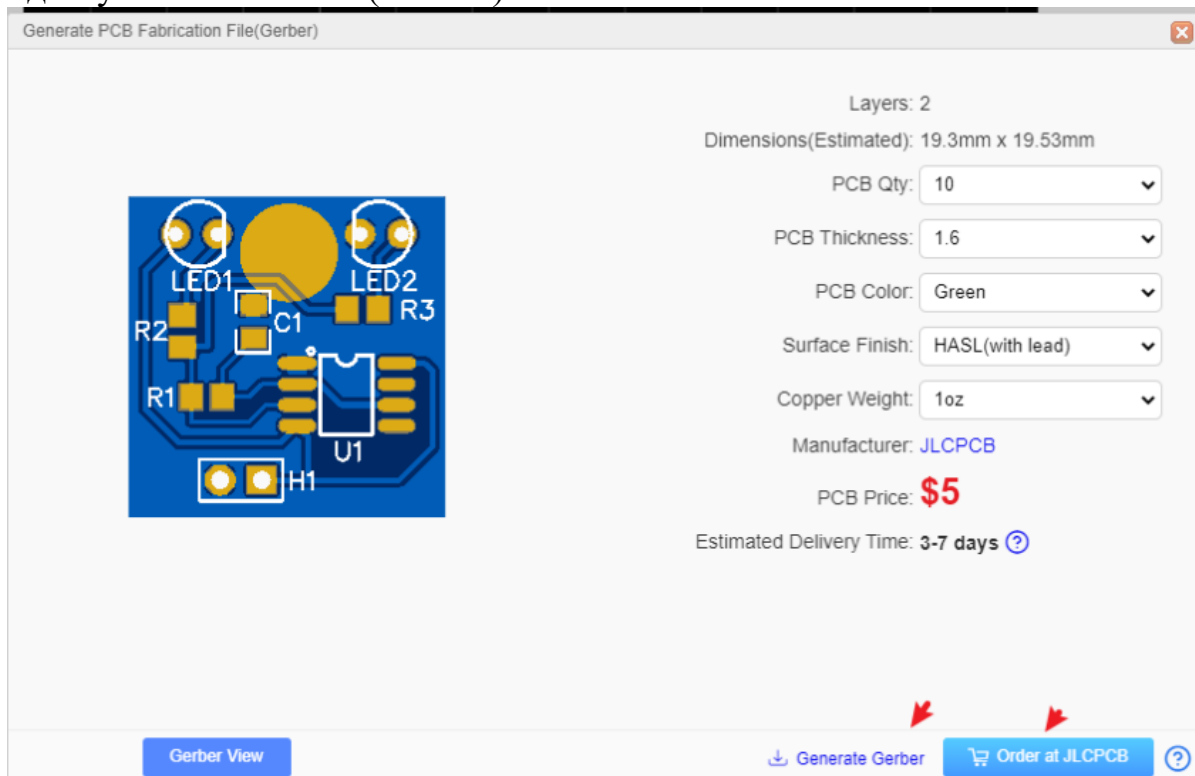


Рис.4.8 Диалоговое окно генерации Гербер файла

EasyEDA упаковывает все необходимые файлы в один ZIP-архив. После распаковки мы увидим набор файлов, каждый из которых отвечает за свой слой печатной платы (Таблица 1). Всегда проверяйте Gerber перед отправкой на завод. Рекомендуется использовать встроенный просмотрщик в EasyEDA или специализированные программы (например, Gerbv), чтобы убедиться, что все слои выглядят правильно и нет смещений.

Таблица 1

Имя файла	Описание
Gerber_BoardOutlineLayer.GKO	Контур платы. Завод по этому файлу вырезает плату.
Gerber_TopLayer.GTL	Верхний слой меди. Дорожки и полигоны сверху.
Gerber_BottomLayer.GBL	Нижний слой меди. Дорожки и полигоны снизу.
Gerber_Inner1.G1 / .GP2	Внутренние слои. Для многослойных плат (сигнальные или полигоны).
Gerber_TopSilkLayer.GTO	Верхняя шелкография. Обозначения компонентов, рамки.
Gerber_BottomSilkLayer.GBO	Нижняя шелкография.
Gerber_TopSolderMaskLayer.GTS	Верхняя паяльная маска. Определяет, где не будет маски (открытые контактные площадки).
Gerber_BottomSolderMaskLayer.GBS	Нижняя паяльная маска.
Drill_PTH_Through.DRL	Сверловка для металлизированных отверстий (PTH). Координаты отверстий для выводов компонентов.

Имя файла	Описание
Drill_NPTH_Through.DRL	Сверловка для неметаллизированных отверстий (NPTH). Отверстия под винты и т.д.
Gerber_TopPasteMaskLayer.GTP	Паяльная паста (для трафарета). Используется при SMT монтаже.
Gerber_TopAssemblyLayer.GTA	Сборочный чертеж. Информационный слой, не влияет на производство платы.
Gerber_MechanicalLayer.GML	Механический слой. Служебная информация (например, параметры обработки).

После генерации файла следующий шаг – получение файла спецификации материалов (BOM – Bill of Materials). Спецификация материалов — это структурированный список всех электронных компонентов, которые должны быть установлены на печатную плату. EasyEDA автоматически генерирует BOM на основе принципиальной схемы и данных, которые мы вводим для каждого компонента (номинал, корпус, производитель, номер партии). Для экспорта файла спецификации материалов нужно в верхнем главном меню выбрать Изготовление > BOM (Рис.4.9).

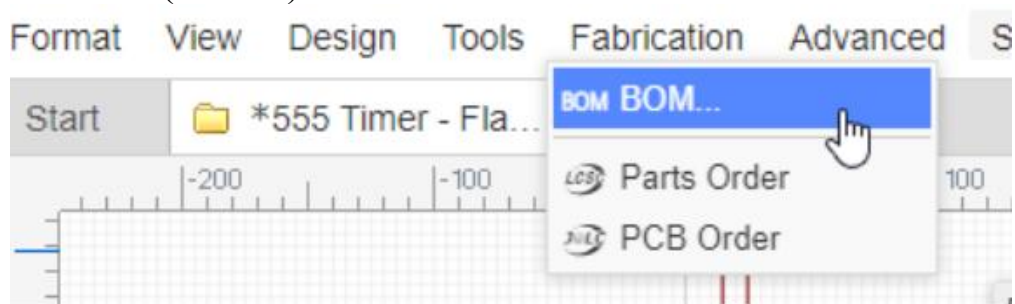


Рис.4.9 Меню экспорта файла спецификации материалов (BOM)

В открывшемся диалоговом окне необходимо кликнуть мышью на Assign LCSC Part#, чтобы присвоить код заказа компонентам, которые используются в плате (Рис.4.10). После нажатия на значок «Назначить» откроется следующее диалоговое окно - поиска компонентов и посадочных мест, и мы сможем

выбрать, какой компонент хотим назначить (Рис.4.11). Когда мы нажимаем кнопку «Заказать детали/Проверить наличие на складе», система поможет нам составить список всех компонентов нашей спецификации материалов на LCSC.com (необходимо сначала войти в систему LCSC).

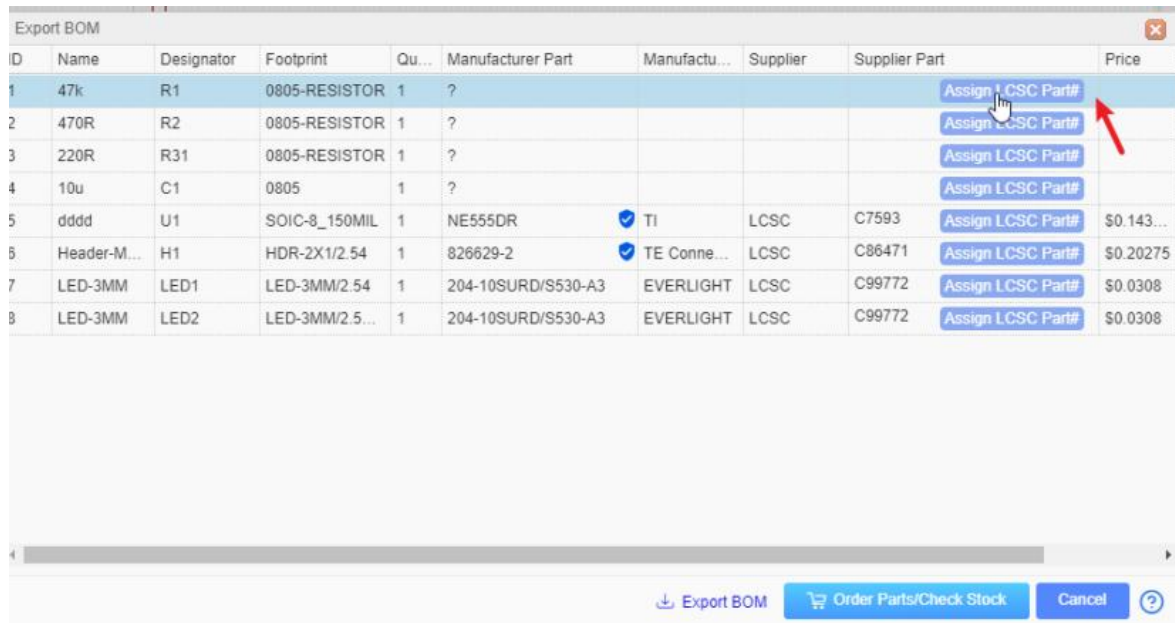


Рис.4.10 Присвоение кода заказа

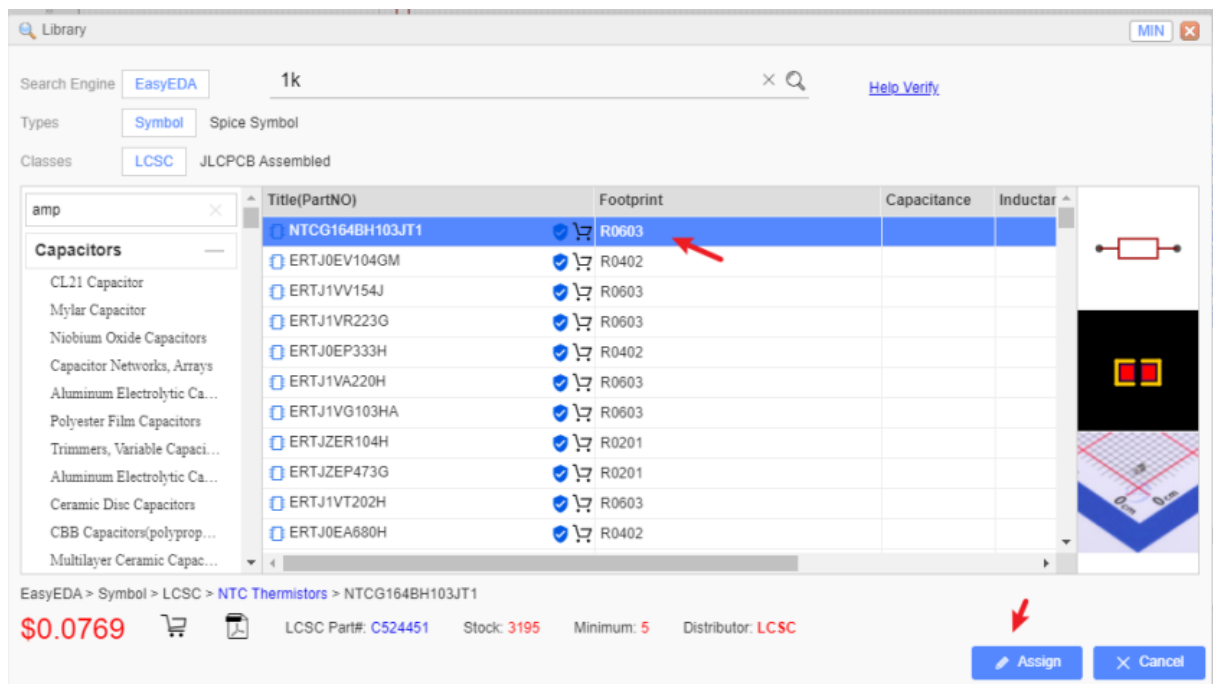


Рис.4.11 Назначение компонентов

Если нам не нужно заказывать компоненты, то мы можем просто экспортировать файл спецификации материалов в файл CSV и открыть его для редактирования в любом табличном редакторе, например Excel (Рис.4.12).

ID	Name	Designator	Footprint	Quantity	Manufacturer	Manufacturer	Supplier	Supplier Part	LCSC Assembly
1	HDR-M-2.54	KJ1,AJ1,BJ1	HDR-M-2.54	8			LCSC	C66690	
2	NE555P	NAU1	DIP-8	1	NE555P	TI	LCSC	C46749	
3	MC306(6pF)	C1	CAP-D3.0X	1	HV010M05C	CapXon	LCSC	C59954	
4	0.1u	C63,C73	C1210K	2					
5	MC306(6pF)	C8	C1210	1					
6	19-217/GHC	LED1,LED2	LED0603-R-	2	19-217/GHC	EVERLIGHT	LCSC	C72043	Yes
7	1N4148W	KD1,AD1,B1	SOD-123FL	8	1N4148W	Tak Cheong	LCSC	C129216	
8	CAP-1uF	C2	C0805	1	RVT2A1R0N	HONOR	LCSC	C87863	
9	CAP-1uF	C4	RAD-0.1	1	?				
10	CAP-1uF	C5	R0805	1	?				
11	HDR-IDC-2.	P1	IDC-TH_6P-	1	2X3 2.54mn	BOOMELE	LCSC	C11214	
12	0.1u	KC1,AC1,BC	C1210	8					
13	1KOHM	R2	R0805	1	?				
14	1KΩ	R1	AXIAL-0.3	1	?				
15	2N3906(TO-	KQ1,AQ1,B1	TO-92-3_L4	8	2N3906	CJ	LCSC	C9809	
16	1m	KL1,AL1,BL1	L0402	8					

Рис.4.12 Редактирование спецификации материалов в Excel

Вопросы для самоконтроля:

1. Как открыть 3D-вид спроектированной печатной платы?
2. С помощью какого инструмента (менеджера) производится привязка 3D-модели к посадочному месту компонента?
3. Для чего используются модули (схемные и модули печатных плат) и какова цель их создания?
4. Что такое Гербер-файл (Gerber) и для каких целей он создается?
5. Перечислите основные слои, для которых генерируются файлы при экспорте в формат Gerber (например, GTL, GBL, GTO, GTS, GKO). Какой слой отвечает за сверловку отверстий?
6. Что представляет собой файл спецификации материалов (BOM) и какая информация в нем содержится

5. Задание для практических занятий

Для проведения практических работ со студентами рекомендуется использовать облачную версию программы EasyEDA.

Цель работы: научиться создавать принципиальную схему, разрабатывать топологию печатной платы и подготавливать производственные файлы (Gerber) в среде EasyEDA. Вариант задания выдаётся преподавателем из перечня принципиальных электрических схем, которые можно найти в приложении.

Ход выполнения работы (Этапы работы).

1. Зарегистрируйтесь/войдите в EasyEDA (веб-версия или десктопная) (Рис.5.1).

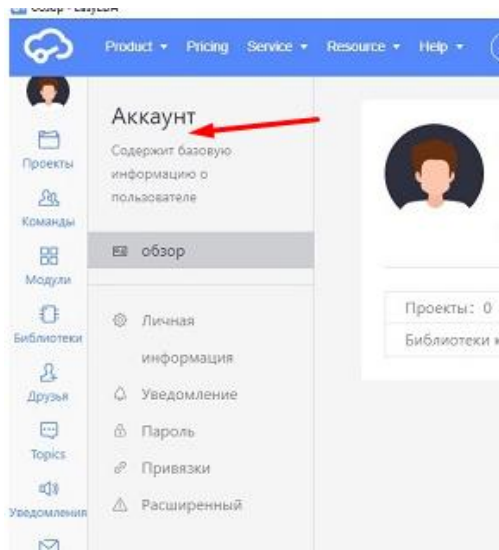


Рис.5.1 Регистрация и вход в EasyEDA

2. Создайте новый проект: File -> New -> Project, назовите его Practise_Name (Рис.5.2). Название проекта вводится латиницей (не менее 8 символов)

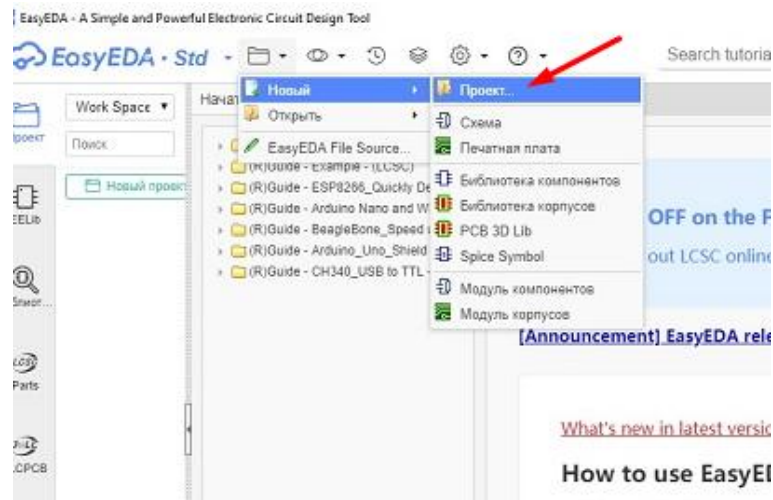


Рис.5.2 Создание нового проекта

После сохранения нового проекта открывается рабочее поле с рамкой для чертежа схемы (окно редактора). Вместе с окном редактора появляются 2 меню, первое с выпадающим списком — Инструменты рисования и Соединения, второе — боковое меню для задания параметров данного окна (Рис.5.3).

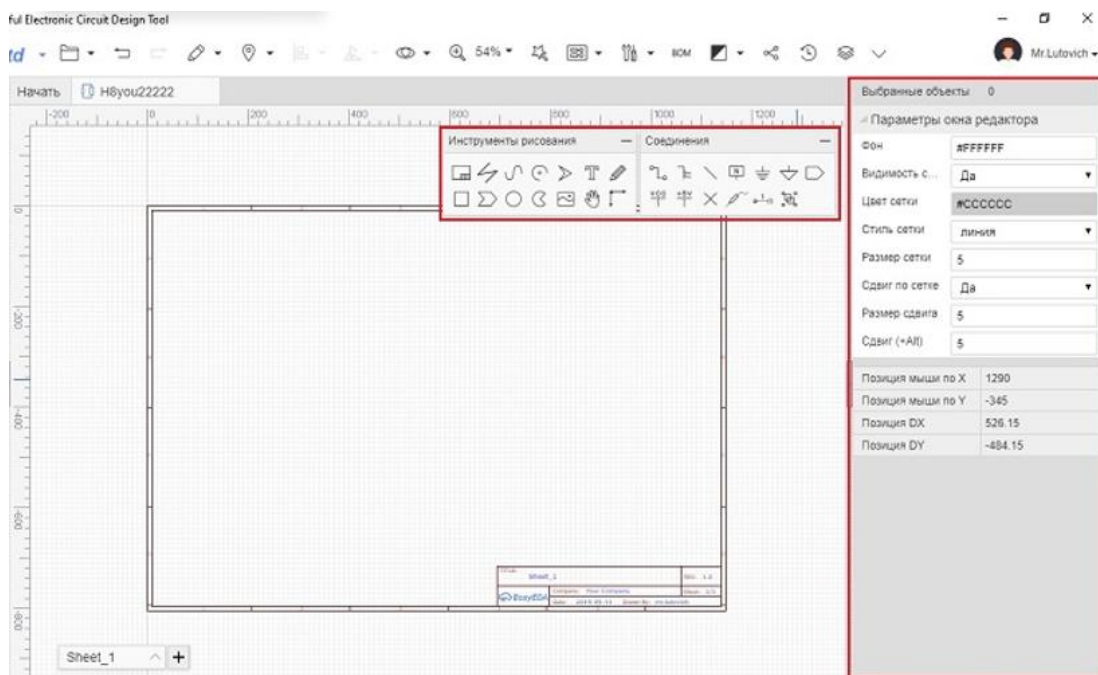


Рис.5.3 Окно редактора

3. Работа с редактором схем.

Для размещения компонентов электрической схемы используются вкладки левого бокового меню. Вкладка EElib в основном используется для быстрого размещения простейших компонентов, например, резистор, транзистор, конденсатор, диод.

Достаточно кликнуть курсором на нужный элемент и перетащить его на рабочее поле (Рис.5.4).

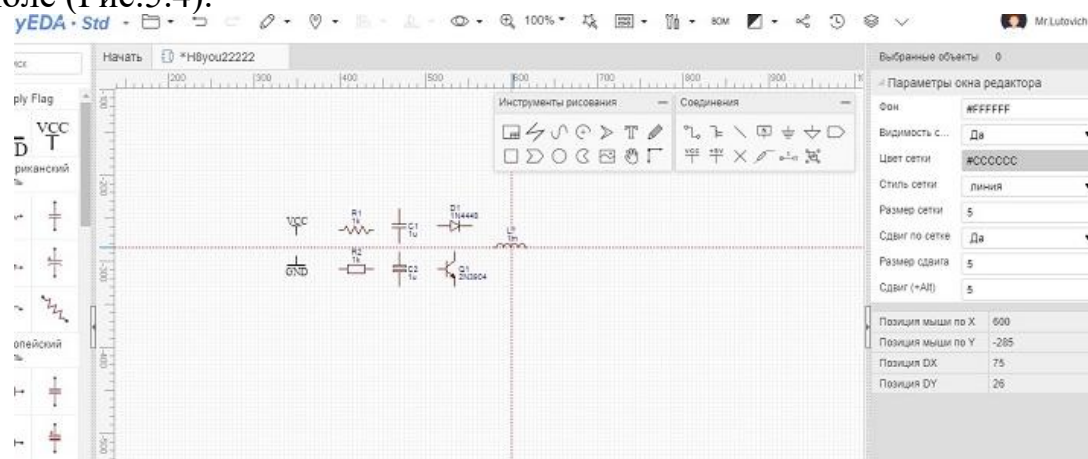


Рис.5.4 Редактор схем

Во вкладке Поиск библиотек хранится более миллиона свежих библиотек с электронными компонентами. Находим необходимый компонент и размещаем его в рабочей области (Рис.5.5).

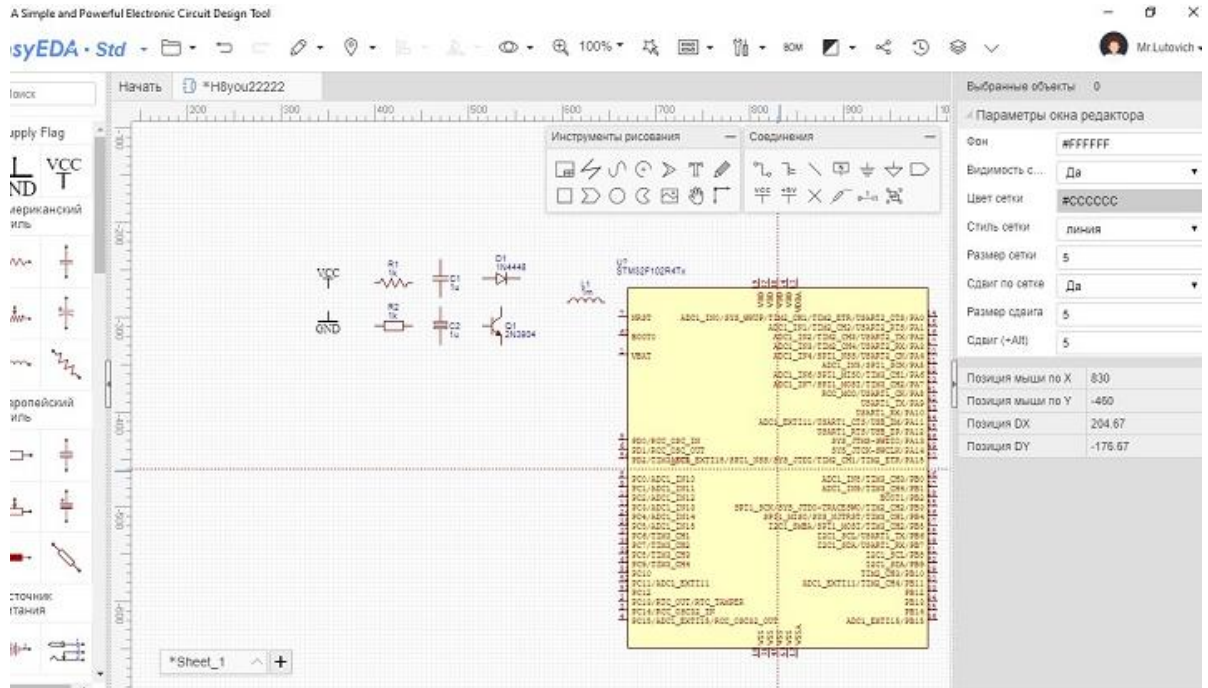


Рис.5.5 Размещение компонентов проекта

Перемещение по рабочему полю осуществляется с помощью зажатого колесика мышки, а при его вращении активируется зум. Для создания электрических связей между компонентами используется меню с выпадающим списком — Соединения (Рис.5.6).

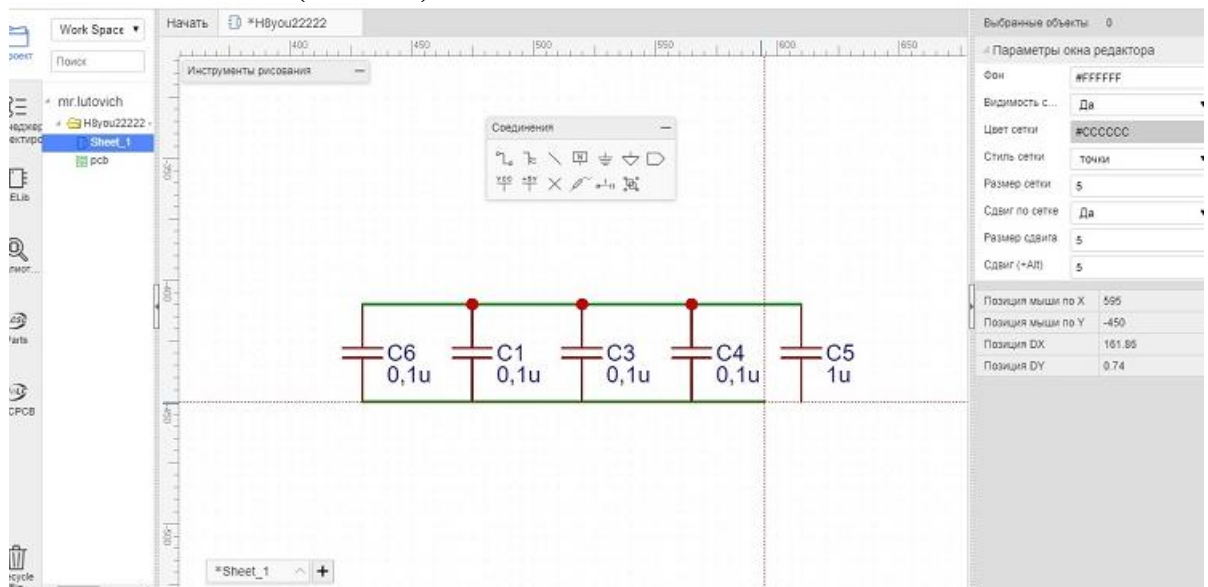


Рис.5.6 Соединение компонентов

Для того, чтобы не тянуть провод через все рабочее поле и не загромождать схему, рекомендуется использовать порты и шины (Рис.5.7).

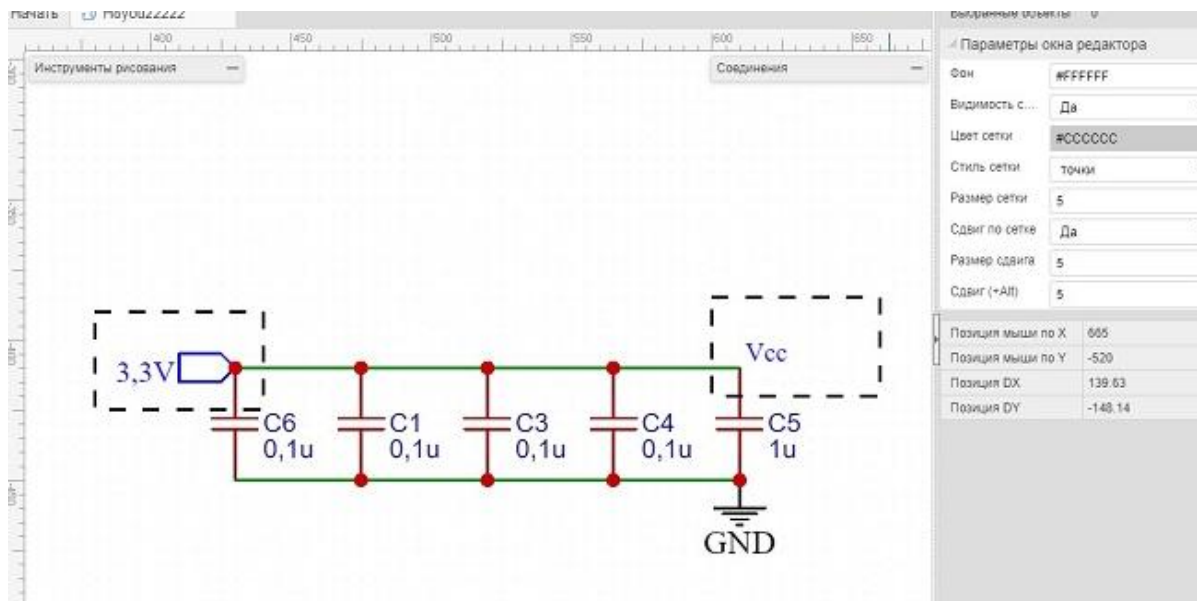


Рис.5.7 Добавление портов и шин

4. Моделирование принципиальной электрической схемы. Для переключения системы в режим симуляции необходимо в левом верхнем углу изменить Std на Sim (рядом с иконкой EasyEDA). Данное переключение доступно, только когда не ведется работа над каким-либо проектом и все закрыто (Рис.5.8).

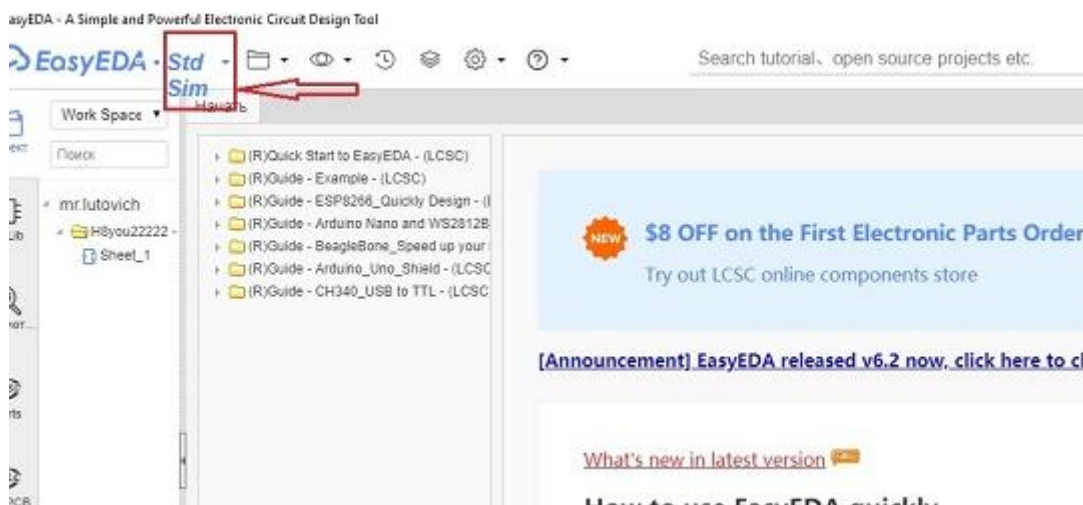


Рис.5.8 Переключение программы в режим симуляции

Открыв вкладку EElib на левом боковом меню можно увидеть, что в режиме симуляции появились дополнительные инструменты: мультиметр, осциллограф и генератор сигналов (Рис.5.9). Необходимо измерить выходы согласно выданному варианту.

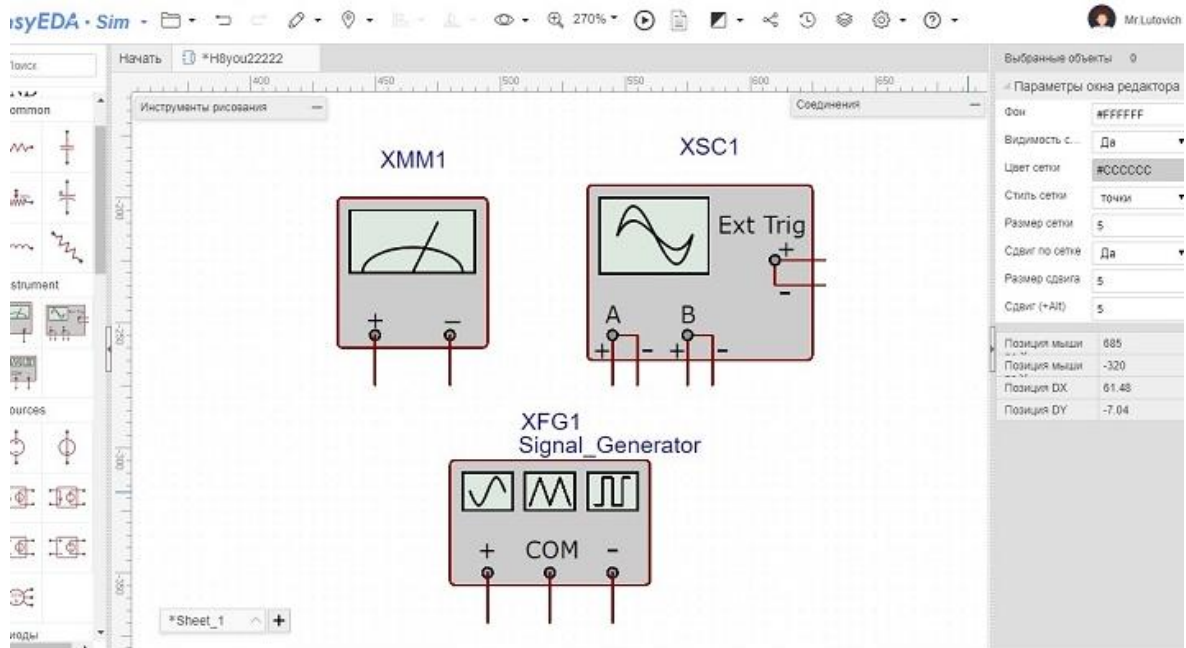


Рис.5.9 Инструменты симуляции

5. Работа с редактором печатной платы. После того как электрическая схема готова и её исправность подтверждена симуляцией, переходим к этапу проектирования печатной платы. Для перехода к редактору и созданию печатной платы (PCB) в верхнем меню во вкладке Конвертировать жмем Конвертировать в печатную плату (Рис.5.10).

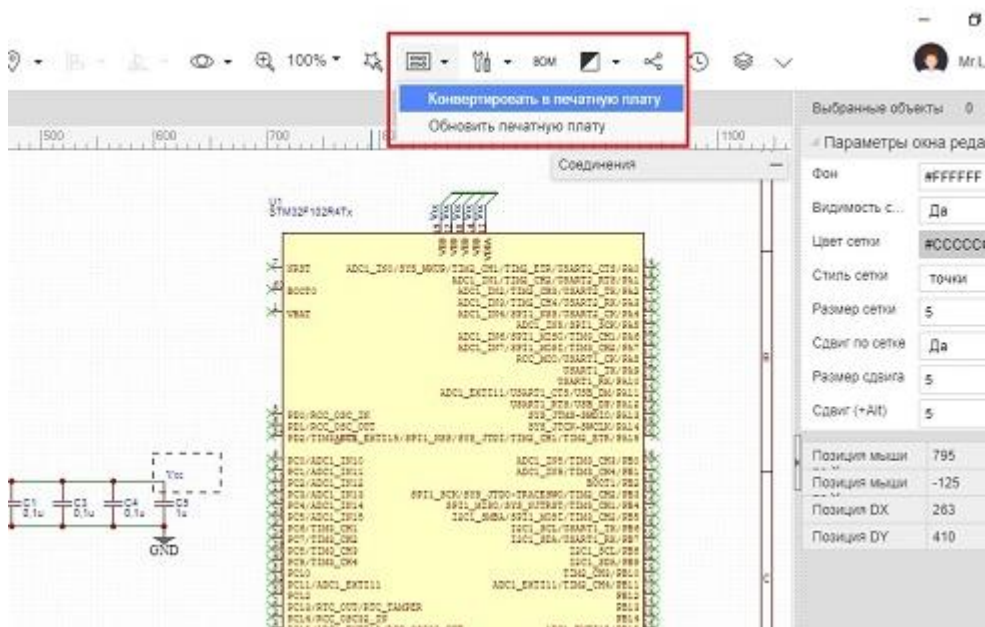


Рис.5.10 Переход в режим редактирования печатной платы

Теперь мы автоматически перемещаемся в редактор печатной платы (Рис.5.11).

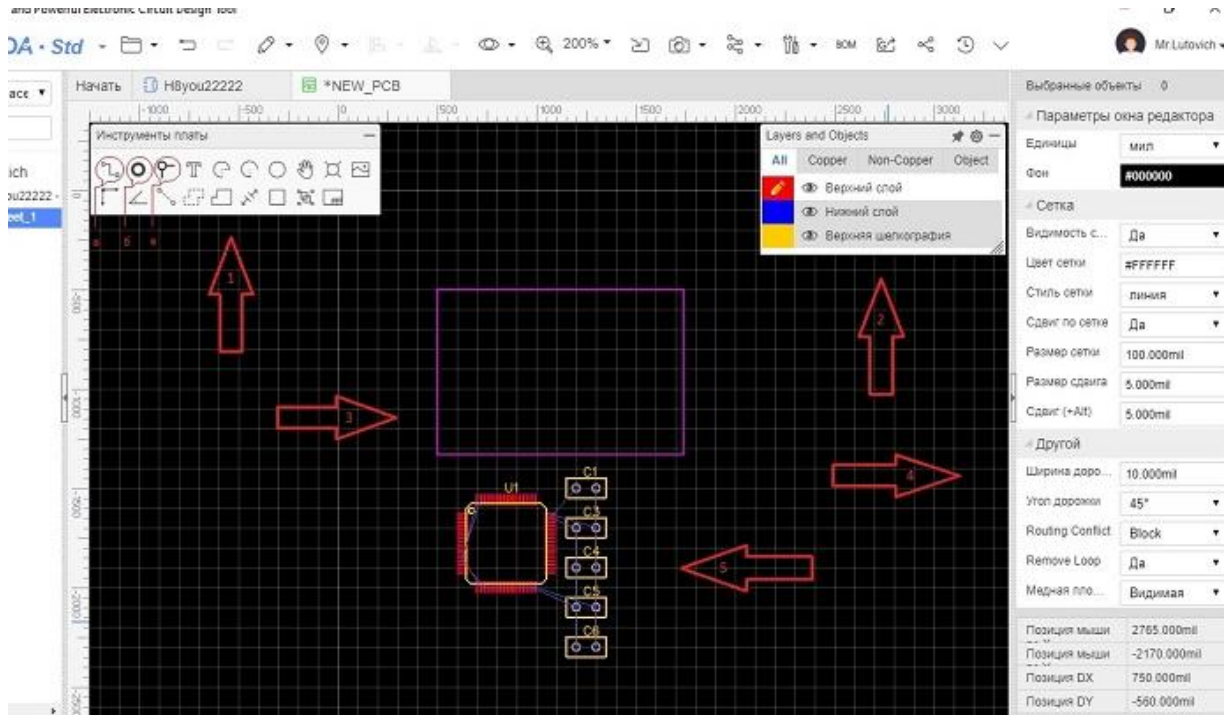


Рис.5.11 Режим редактирования печатной платы

Здесь мы можем использовать следующие элементы (Рис.5.12):

1. Меню Инструменты платы. В этом меню есть все необходимое для рисования топологии печатной, например:
 - а) Дорожка;
 - б) Полигон (монтажное отверстие);
 - в) Переходное отверстие;
2. Меню Layers and Objects, предназначенное для работы со слоями печатной платы и составляющими ее объектами;
3. Рамка ограничивающая размер печатной платы Board Outline;
4. Правое боковое меню для изменения параметров окна редактора;
5. Не скомпонованные посадочные места элементов печатной платы.

EasyEDA не имеет «автокомпоновщика», поэтому мы компоуем элементы на печатной плате вручную (Рис.5.13).

Трассировку печатной платы можно сделать как в автоматическом, так и в ручном режиме.

Для автотрассировки в верхнем меню редактора во вкладке Разводка нужно вызвать Автотрассировщик, предварительно изменив единицы измерения на мм (в правом боковом меню) (Рис.5.14). В открывшемся окне устанавливаем необходимые параметры трассировки и нажимаем запустить (Рис.5.15).

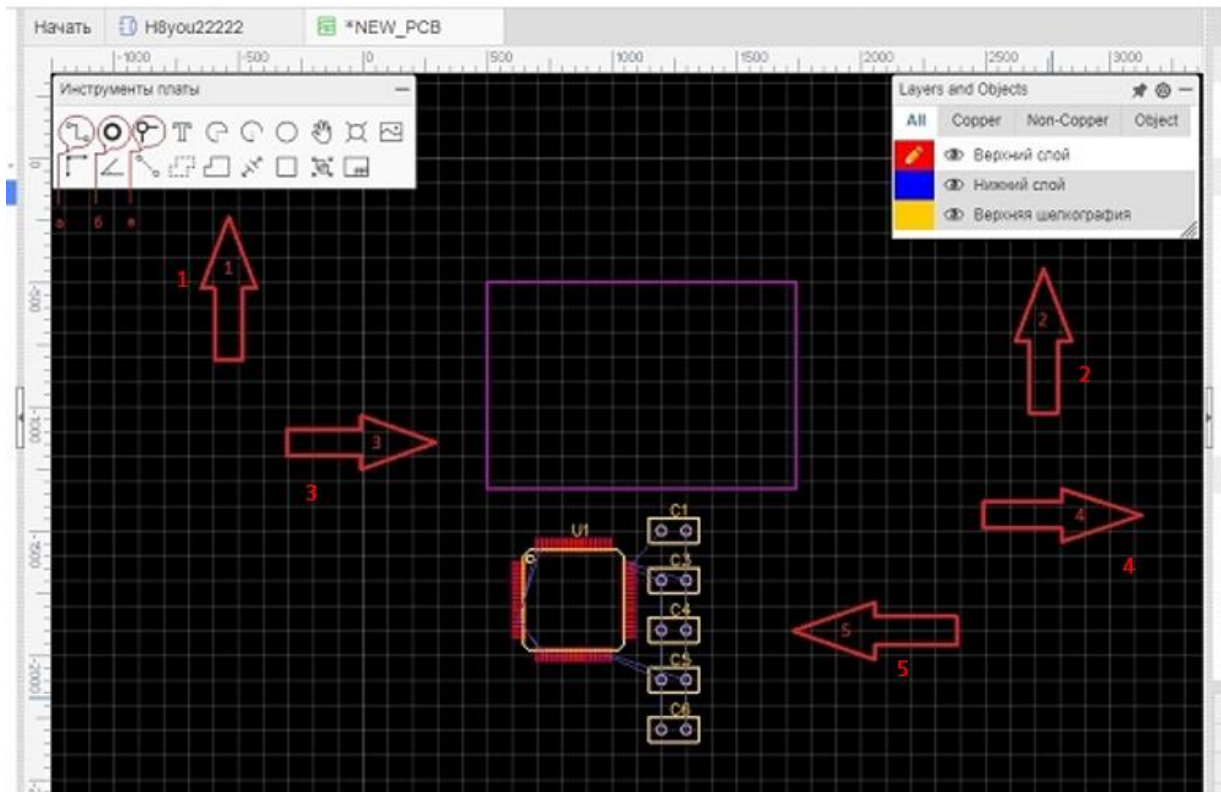


Рис.5.12 Элементы редактора печатной платы

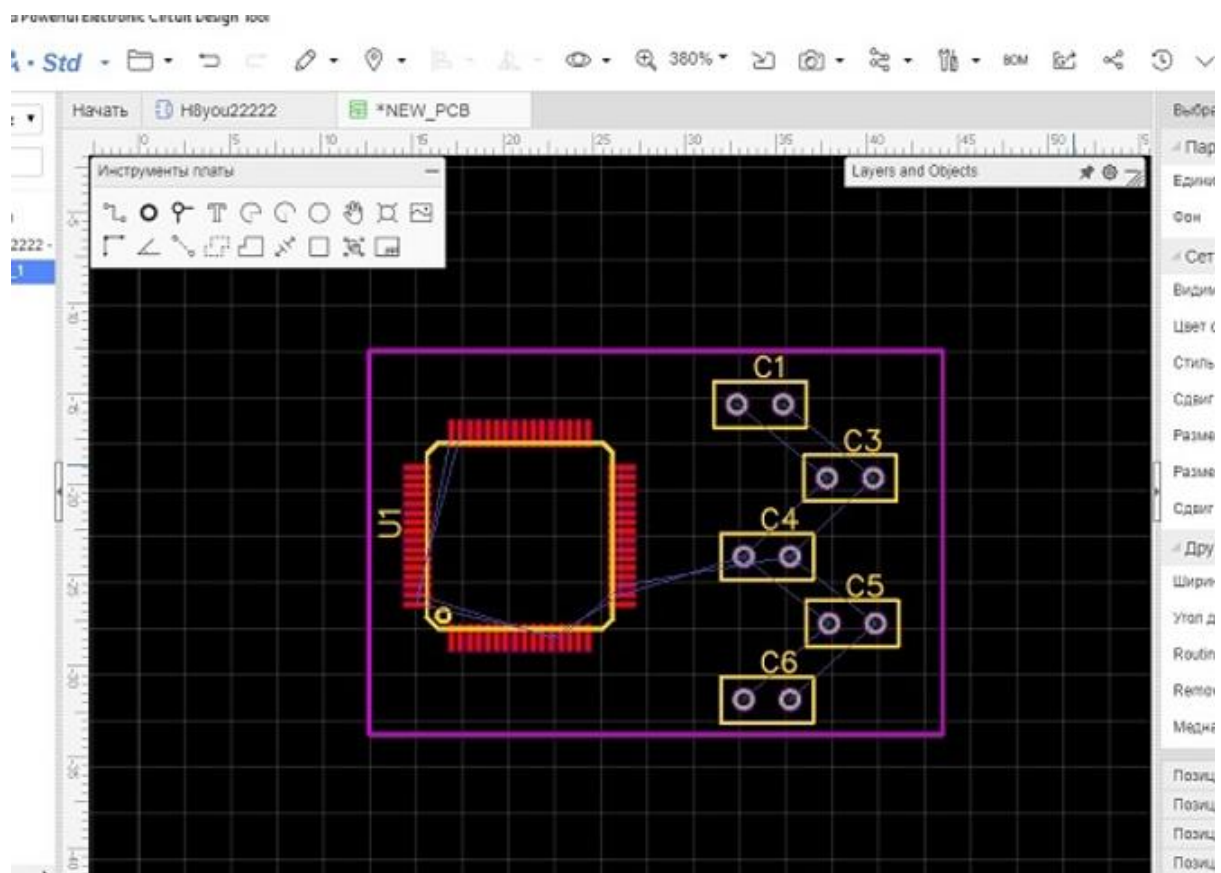


Рис.5.13 Компоновка элементной базы

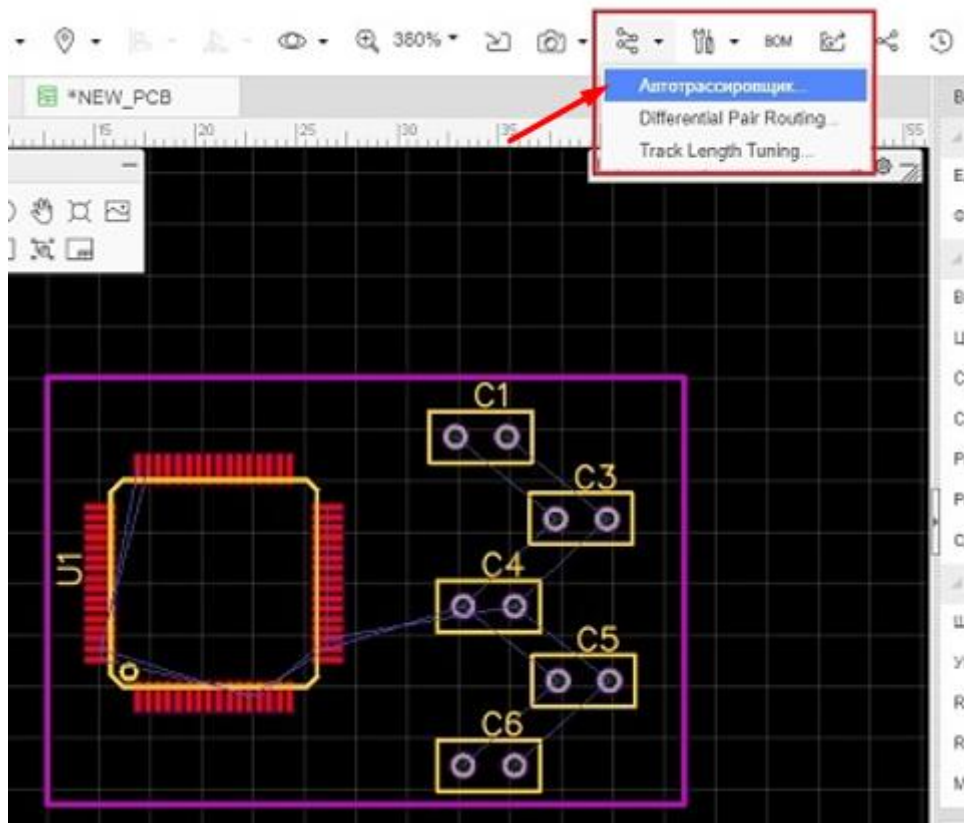


Рис.5.14 Включение автоматического трассировщика

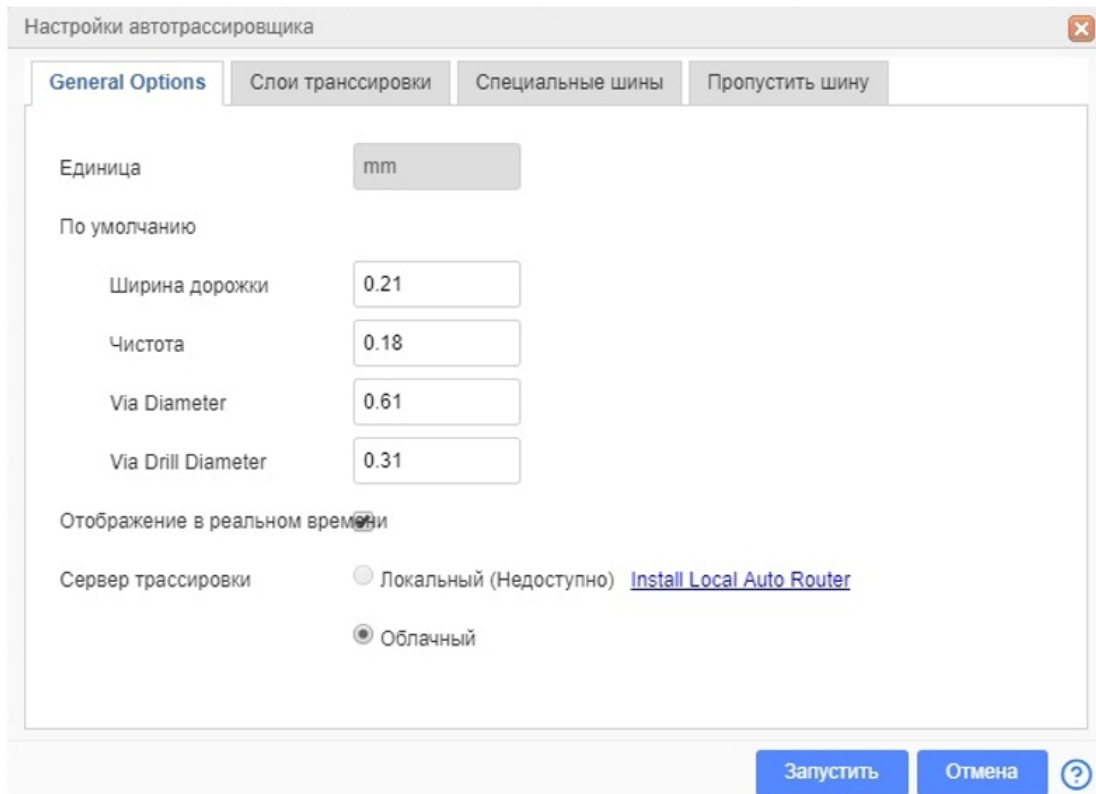


Рис.5.15 Настройка автоматического трассировщика

Если мы хотим выполнить какую-нибудь шину в качестве медного полигона по всему периметру печатной платы, то при установке параметров автотрассировщика необходимо отменить трассировку шины земли (Рис.5.16). Для этого в меню Инструменты платы выбираем Медный полигон (Рис.5.17).

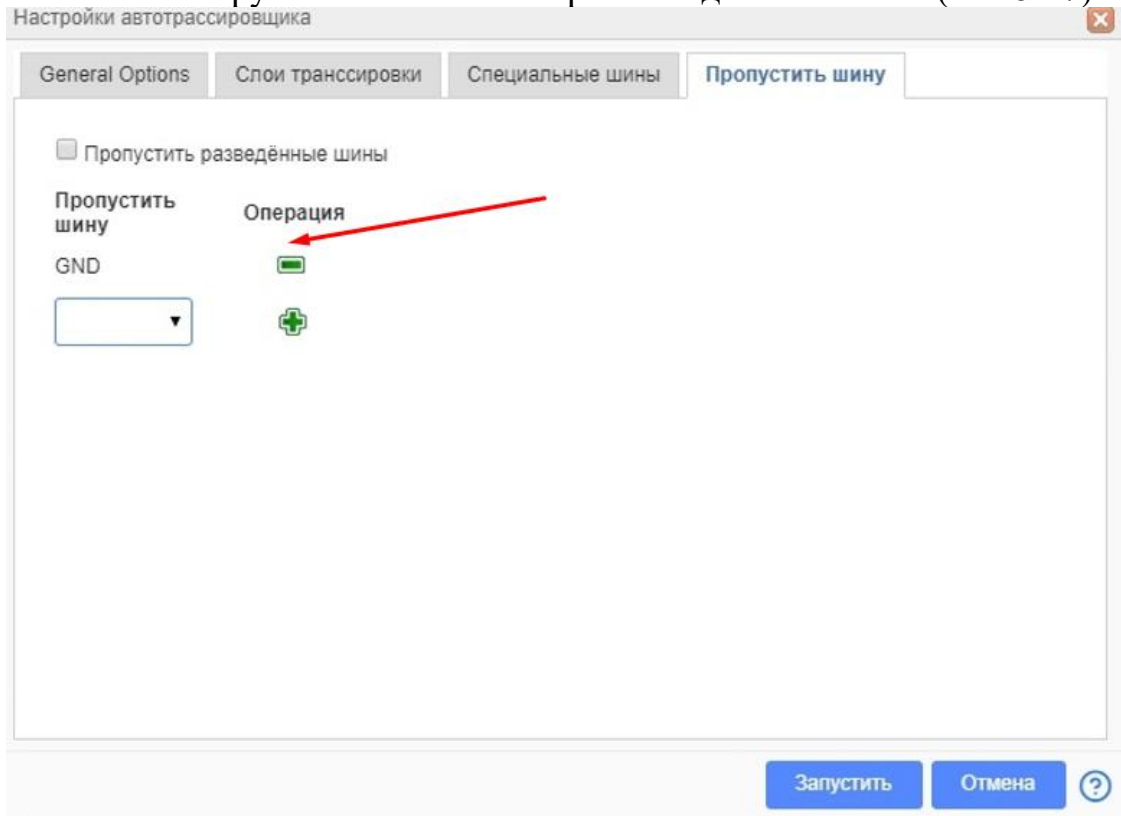


Рис.5.16 Отмена трассировки шины земли (GND)

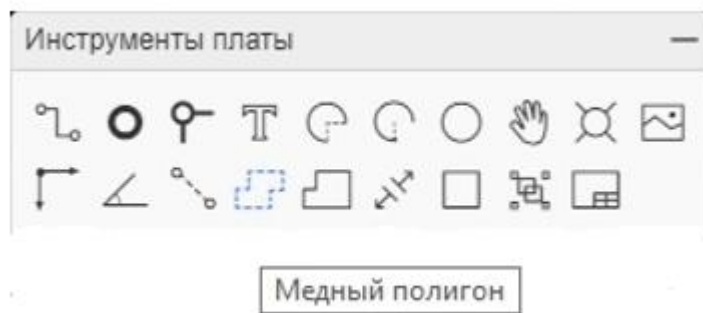


Рис.5.17 Инструмент медный полигон

Затем необходимо задать границы медного полигона (Рис.5.18). Далее необходимо нажать правую кнопку мыши и определить полигон для нижнего слоя металлизации. В итоге мы имеем готовый проект печатной платы (Рис.5.19 и рис.5.20).

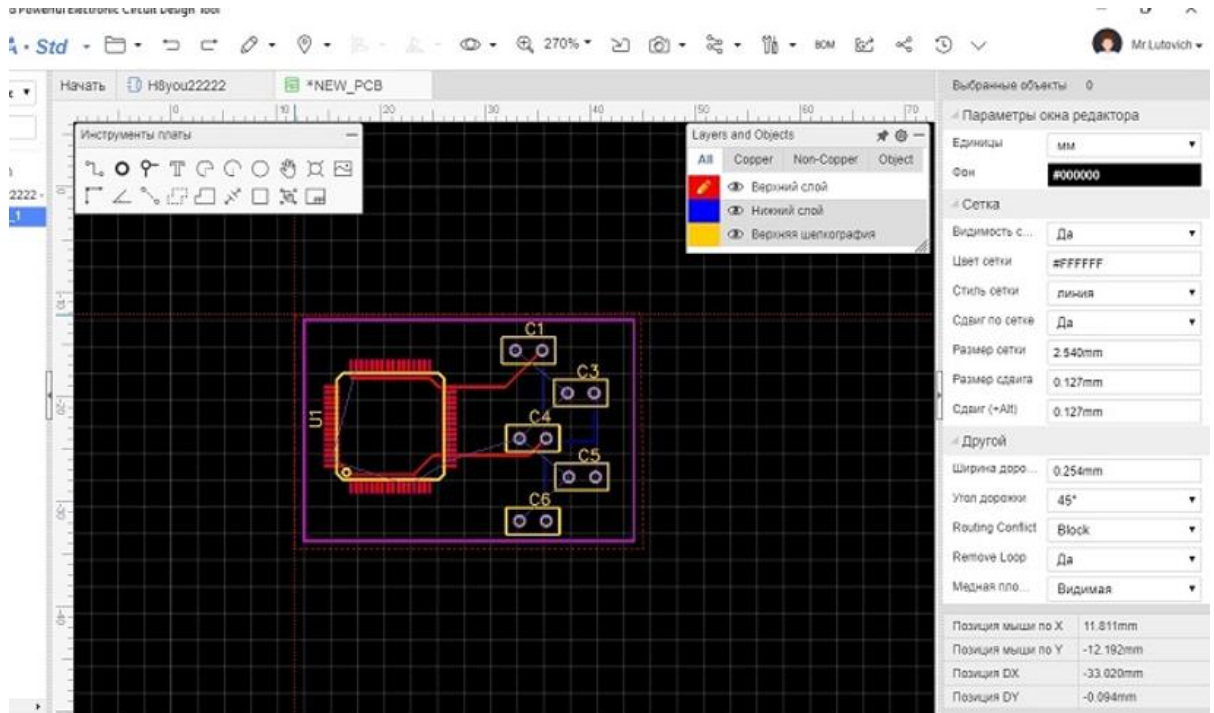


Рис.5.18 Определение границ медного полигона

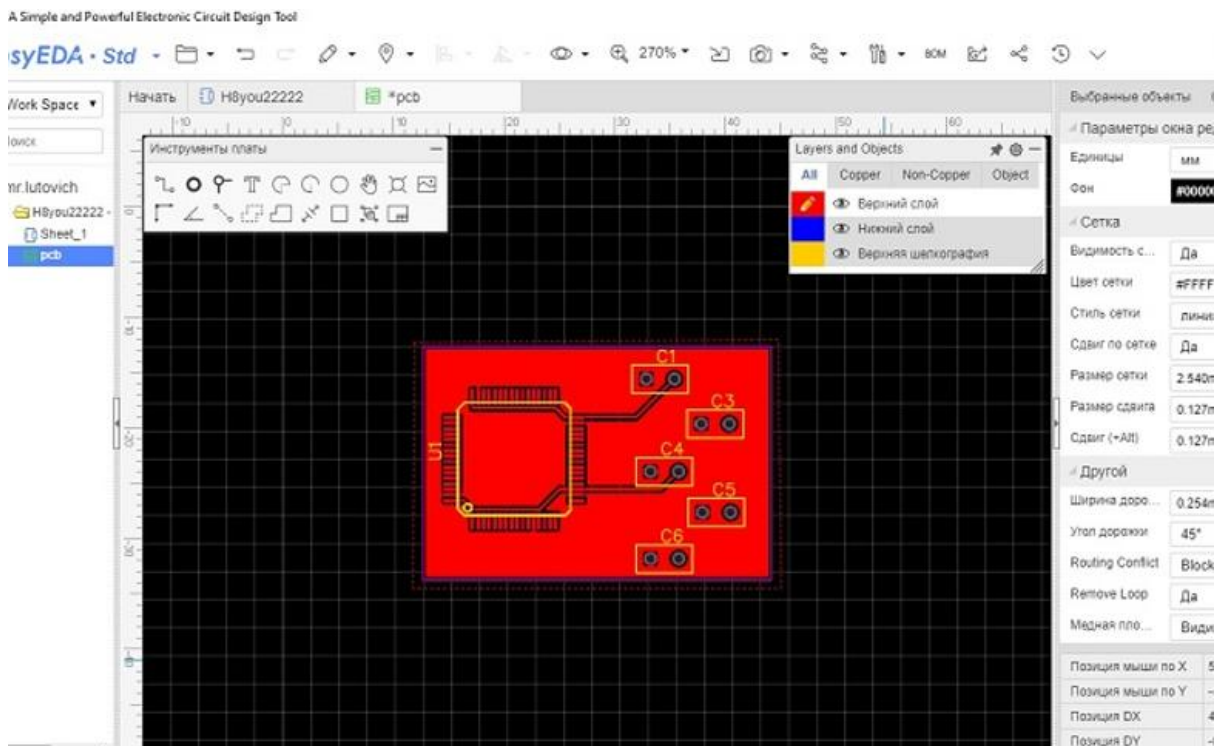


Рис.5.19 Готовая печатная плата (верхняя сторона)

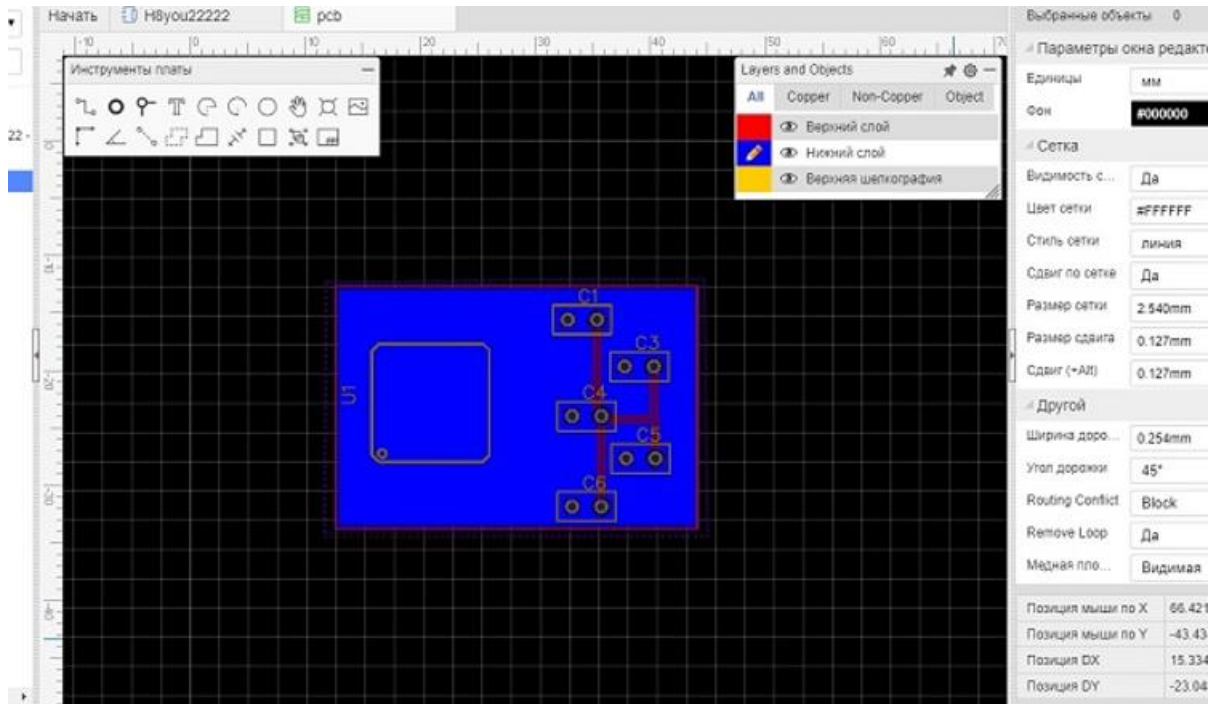


Рис.5.20 Готовая печатная плата (нижняя сторона)

6. Следующий этап – создание 3D модели печатной платы. Для этого в верхнем меню редактора во вкладке Предпросмотр надо нажать 3D View (Рис.5.21).

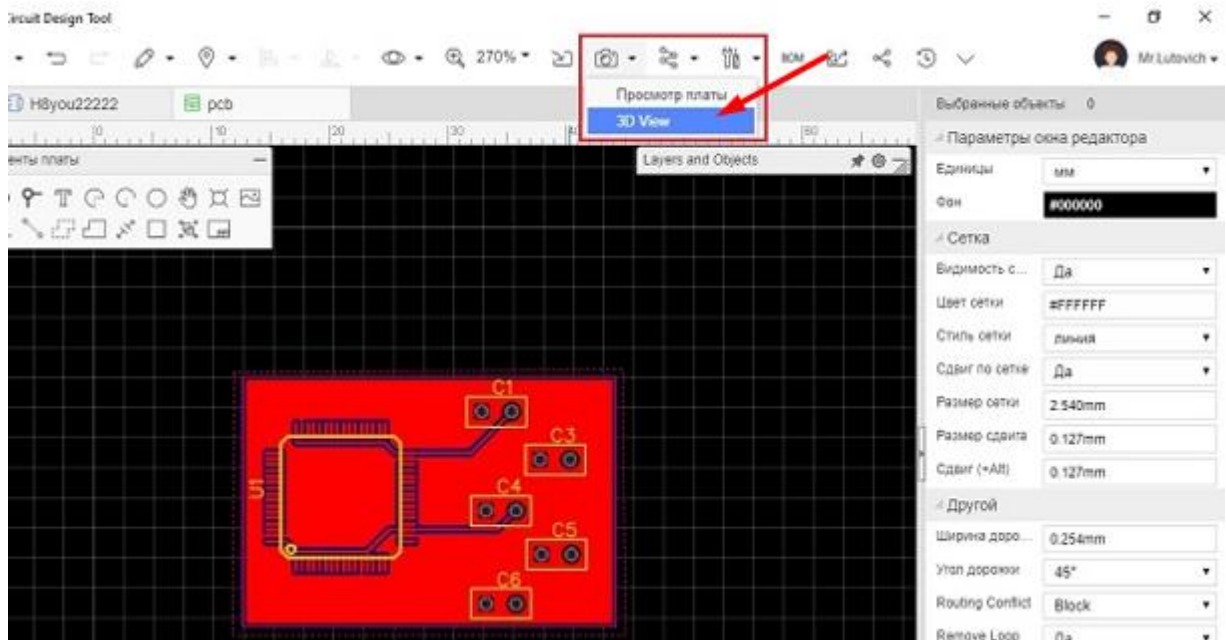


Рис.5.21 Режим 3D просмотра печатной платы

После загрузки мы получим трёхмерную модель печатной платы (Рис.5.22).

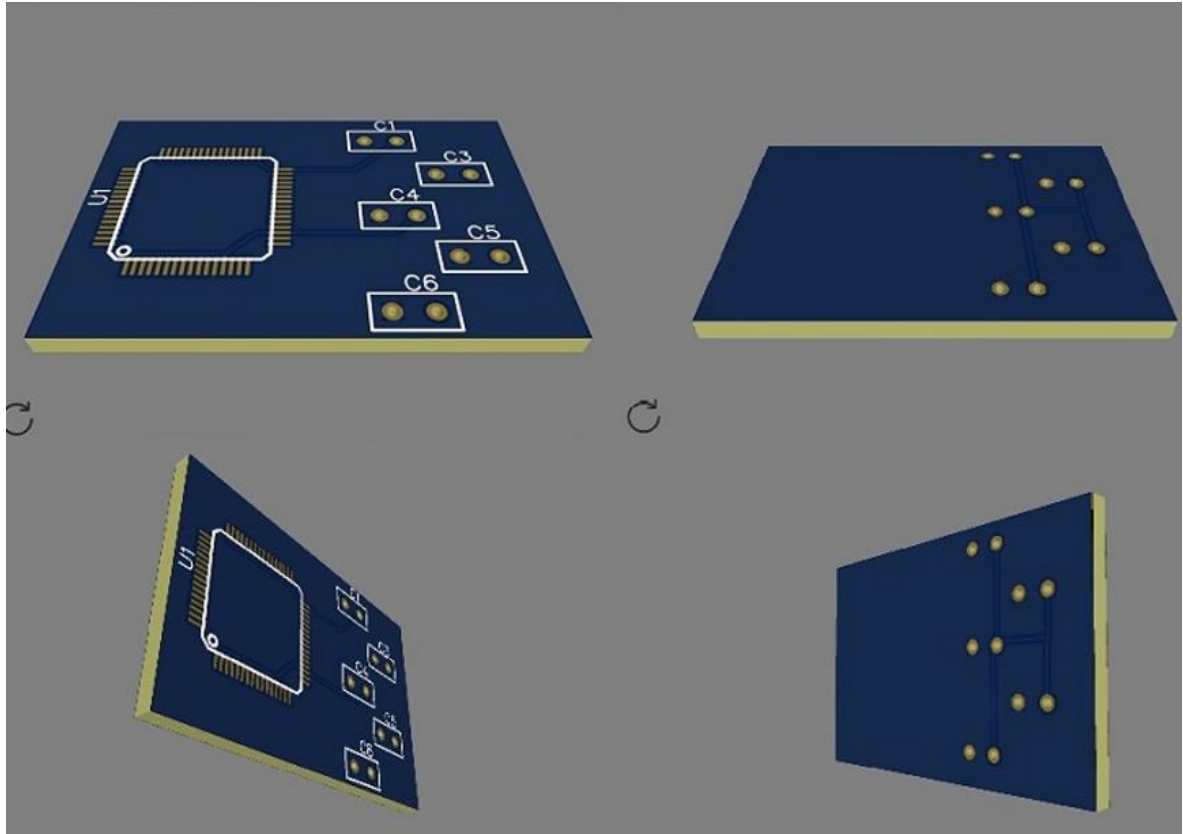


Рис.5.22 3D модель печатной платы

7. Создание Гербер-файла для изготовления печатной платы. С помощью инструментов EasyEDA можно создать Гербер-файлы, которые содержат в себе описание проекта печатной платы, необходимое для создания фотошаблона на спецоборудовании. Для генерации Гербер-файла в верхнем меню редактора печатных плат, во вкладке Документ надо нажать «Создать Gerber» (Рис.5.23).

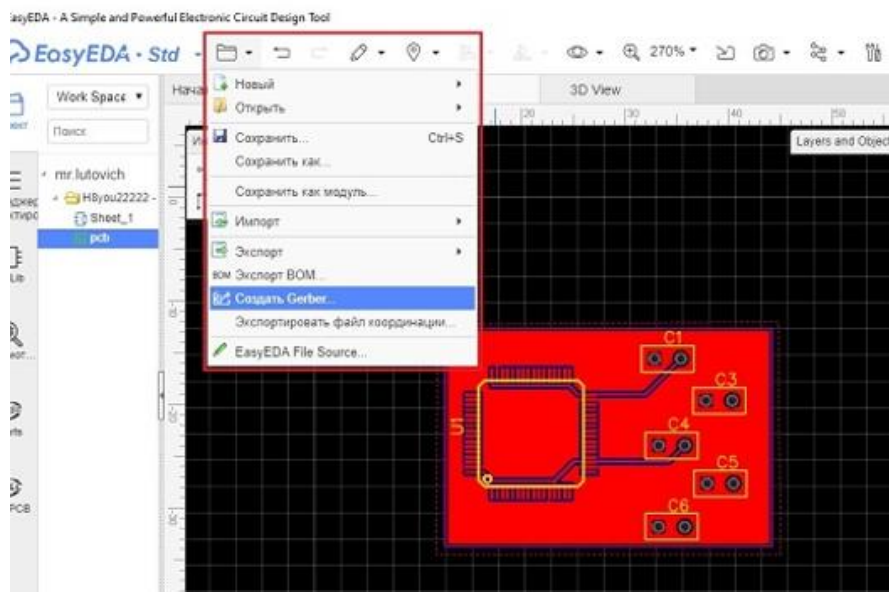


Рис.5.23 Создание Гербер файла

8. Создание спецификации материалов печатной платы (Рис.5.24).

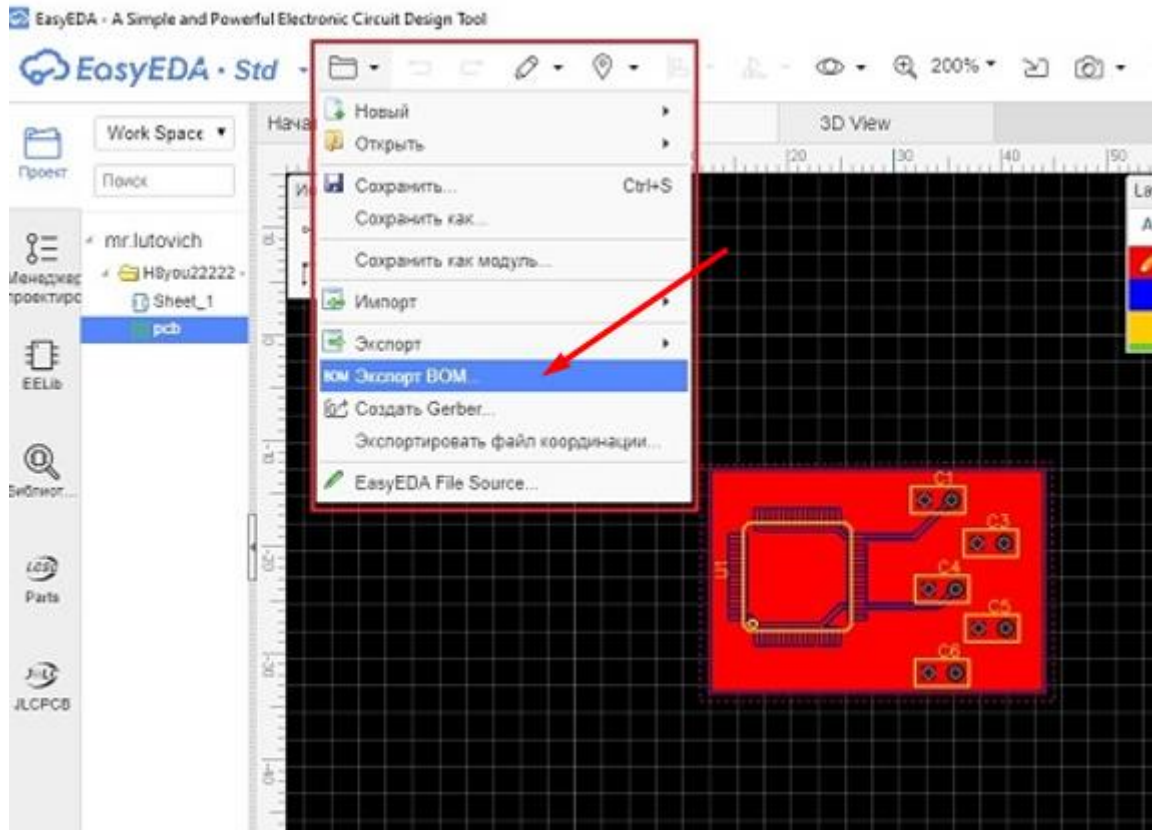


Рис.5.24 Создание спецификации материалов (BOM)

Спецификацию представить в виде CSV файла (Рис.5.25).

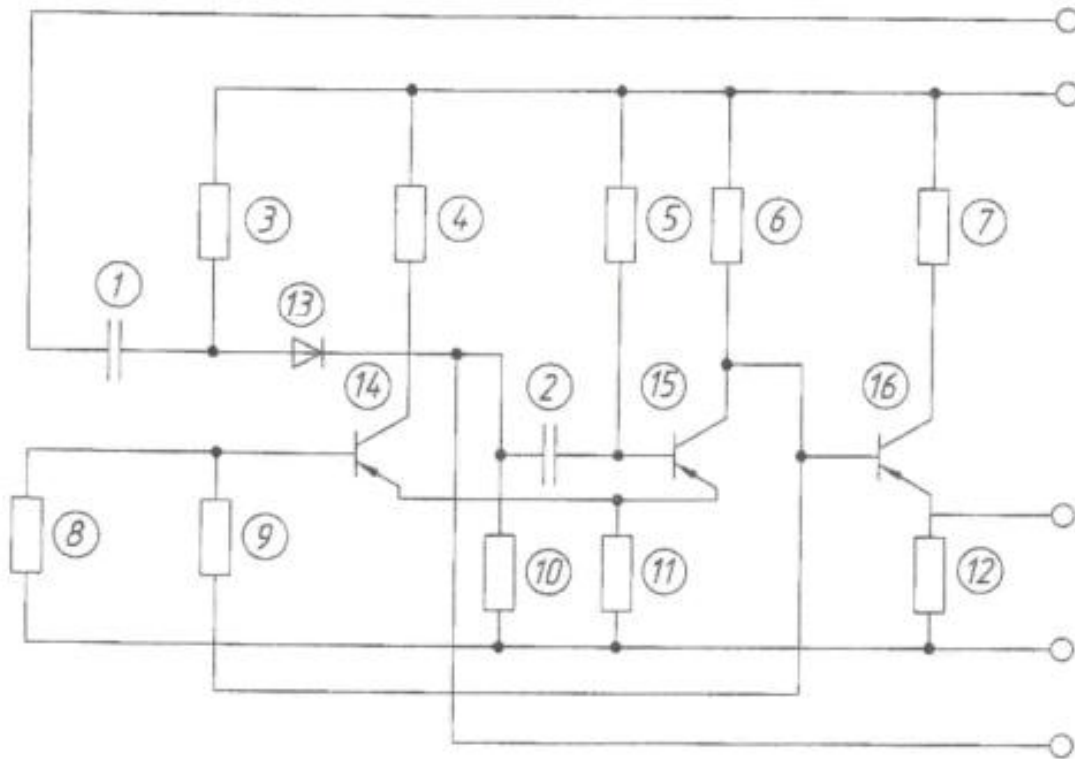
ID	Название	Designator	Шелкография	Ко...	Название	Производ...	Поставщик	Supplier Part	Price
12	0.1u	C2,C3,C4,...	C0805K	7					
13	1u	C7	C0805K	1					
14	TPS73133...	U14	SOT-23-5	1	TPS73133DBVT	TI	LCSC	C139344	\$1.8975
15	22uF	C10	CASE-B_3528	1	TC212B226M016B	Sunlord	LCSC	C124837	\$0.2063
16	LEDCHIP...	LED2	CHIPLED_0805	1					
17	S1J	D2	SMA(DO-214...	1	S1J	MDD	LCSC	C64914	\$0.0076
18	8MHz	Q19	HC49/S	1					
19	20pF	C23,C25,C...	C0805K	4					
20	32,768Hz	Q20	TC26H	1					
21	10k	R7,R8,R9	R0805	3					
22	?	D1	SMB	1					
23	Lithium C...	BT1	LITHIUM CR1...	1	Lithium CR1025	Keystone		C238060	\$1.7261
24	JUMPER	JP1	JUMPER2	1	?				
25	MMBTA42...	Q2,Q3,Q4,...	SOT23-3	12					
26	1K	R12,R13,R...	0603	12	RC0603JR-071KL	YAGEO	LCSC	C14676	\$0.0007
27	LTV-352T	U8,U9,U10...	SOP-4_P2.54	6	LTV-352T	LITEON	LCSC	C10800	\$0.2015
28	4.7uF	C1	CAP-TH_BD1...	1	4.7uF 400V	ValuePro	LCSC	C21570	\$0.043

Buttons: Order Parts/Check Stock, Экспорт BOM, Отмена

Рис.5.25 Спецификация в виде CSV файла

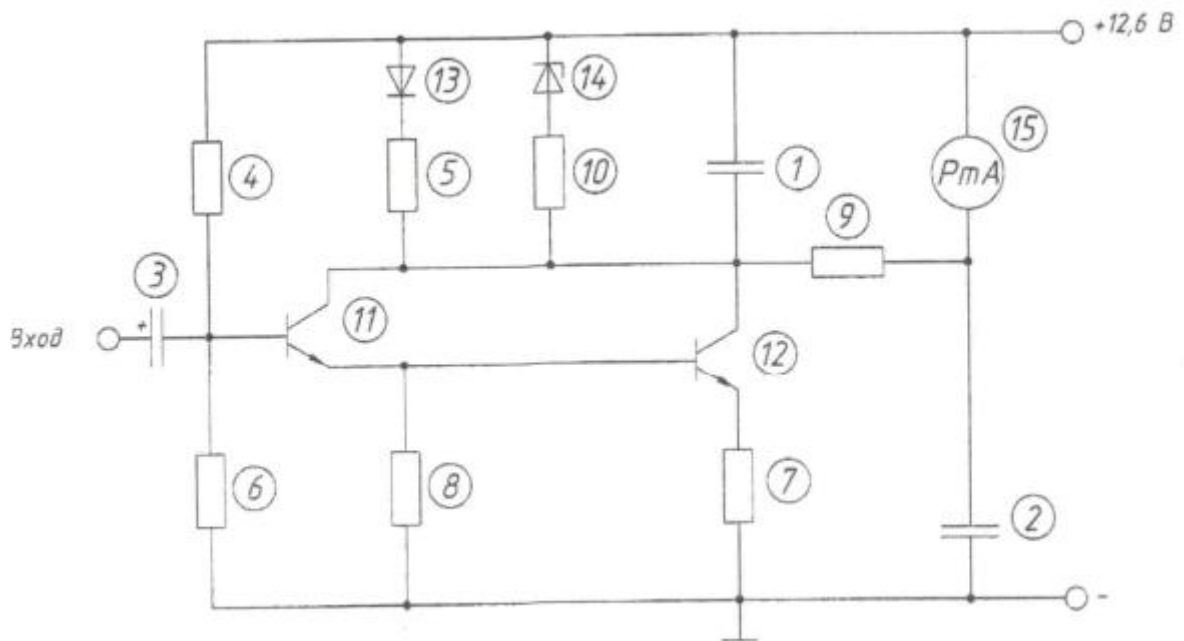
Приложение

Вариант №1 Мультивибратор ждущий с эмиттерным повторителем



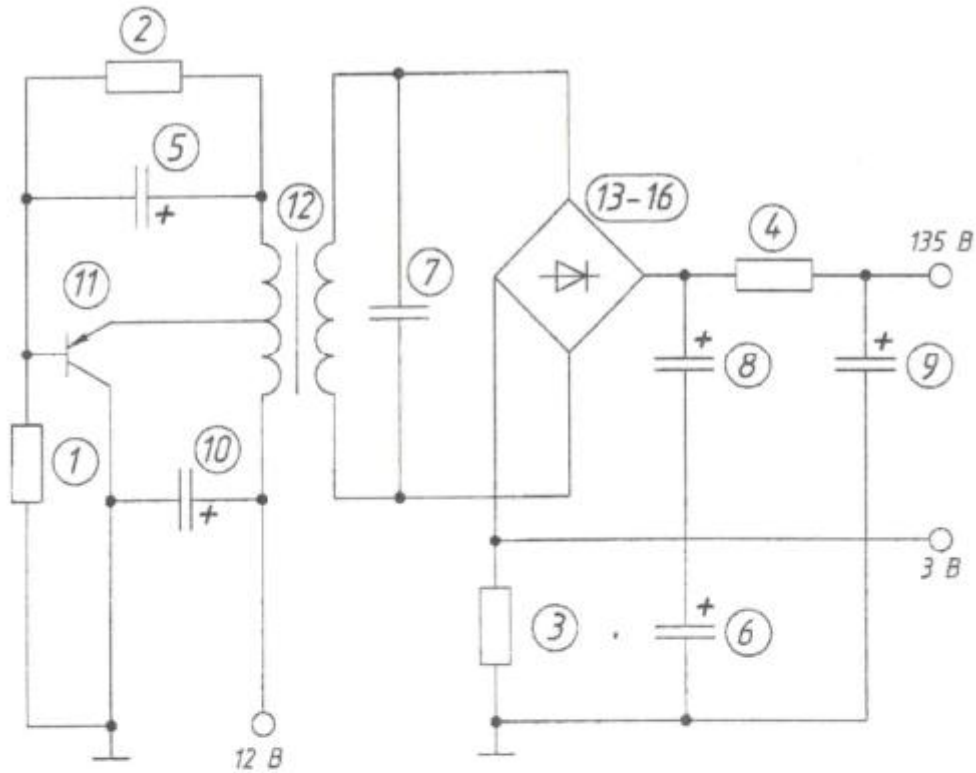
- 1 - Конденсатор МБМ-160-0,05
- 2 - Конденсатор БМ-2-200-0,015
- 3 - Резистор УЛМ-0,12-22 кОм
- 4 - Резистор МЛТ-0,25-4,7 кОм
- 5 - Резистор УЛМ-0,12-22 кОм
- 6, 12 - Резистор МЛТ-0,25-4,7 кОм
- 7 - Резистор МЛТ-0,25-330 Ом
- 8 - Резистор УЛМ-0,12-4,7 кОм
- 9 - Резистор УЛМ-0,12-18 кОм
- 10 - Резистор УЛМ-0,12-10 кОм
- 11 - Резистор УЛМ-0,12-150 Ом
- 13 - Диод Д223
- 14-16 - Транзистор П14А

Вариант №2 Индикатор уровня



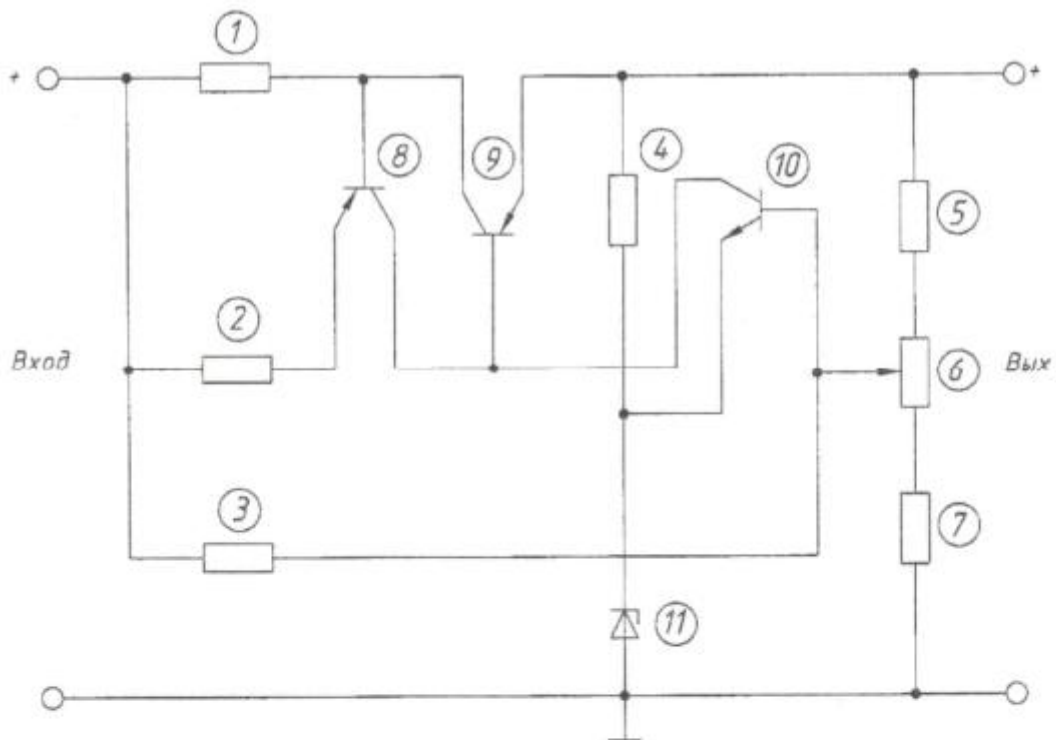
- 1 - Конденсатор К50-6 20,0
- 2 - Конденсатор К50-6 50,0
- 3 - Конденсатор К50-6 10,0
- 4 - Резистор ОМЛТ-0,125-0,15 мОм
- 5, 6 - Резистор ОМЛТ-0,125-5,1 кОм
- 7 - Резистор ОМЛТ-0,125-1,2 кОм
- 8 - Резистор ОМЛТ-0,5-33 кОм
- 9 - Резистор ОМЛТ-0,125-39 кОм
- 10 - Резистор ОМЛТ-0,125-220 Ом
- 11, 12 - Транзистор КТ315Б
- 13 - Диод Д106
- 14 - Стабилитрон КС133
- 15 - Микроамперметр ИП-150 мкА

Вариант №3 Транзисторный преобразователь напряжения



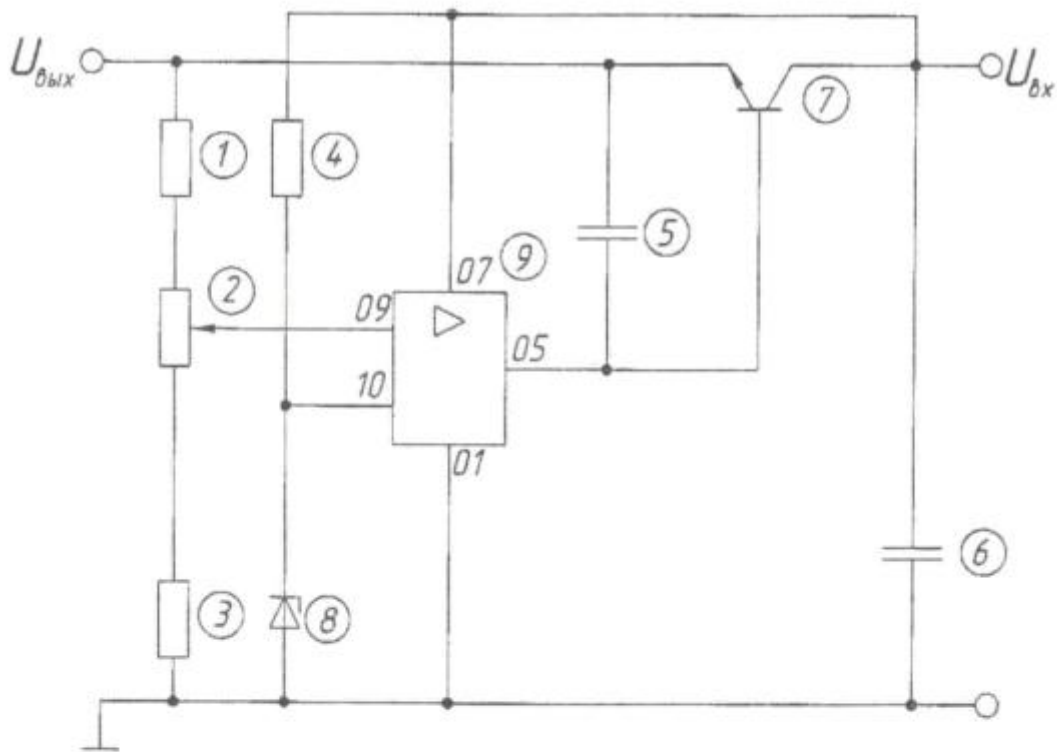
- 2 - Резистор МЛТ-0,25-27 Ом
- 3 - Резистор МЛТ-0,5-68 Ом
- 4 - Резистор МЛТ-2-150 Ом
- 5, 6 - Конденсатор К50-3Б-5 мкФ
- 7 - Конденсатор К21У-3-П33-5600 пФ
- 8, 9 - Конденсатор К50-3Б-100 мкФ
- 10 - Конденсатор К50-3Б-500 мкФ
- 11 - Транзистор П216В
- 12 - Трансформатор ТА
- 13-16 - Диод Д226Б

Вариант №4 Стабилизатор напряжения



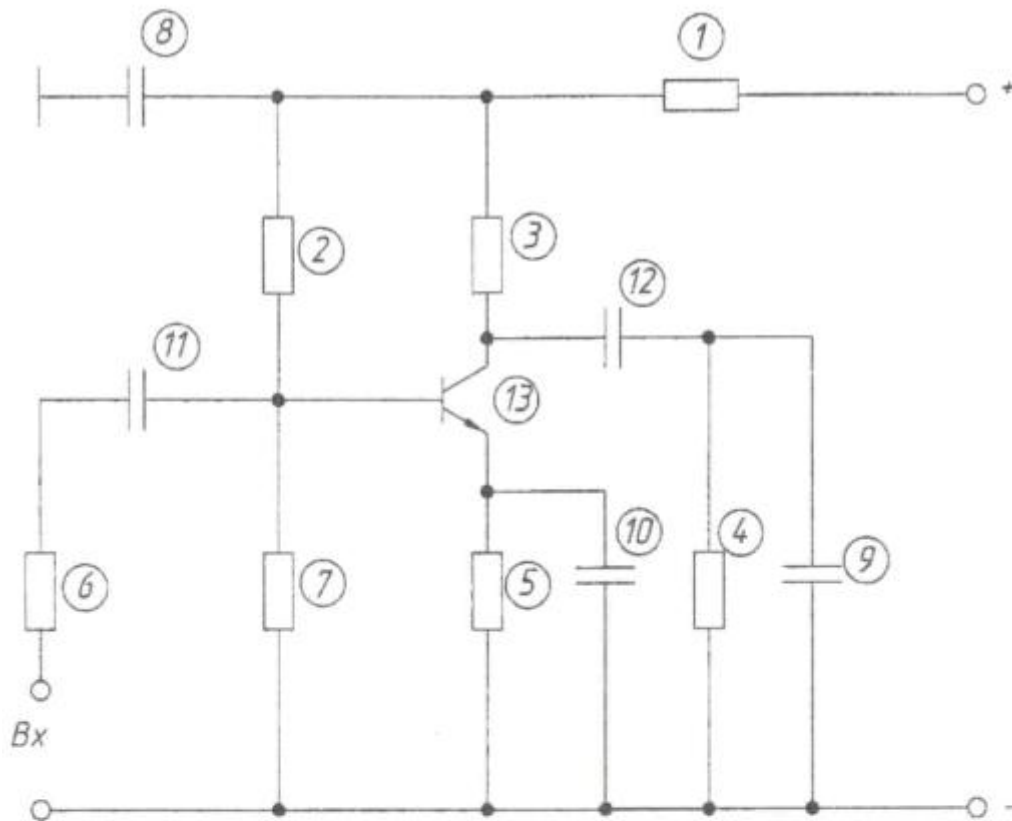
- 1 - Резистор ОМЛТ-0,25-12 Ом
- 2 - Резистор ОМЛТ-0,25-820 Ом
- 3 - Резистор ОМЛТ-0,25-5,6 кОм
- 4 - Резистор ОМЛТ-0,25-750 Ом
- 5, 6 - Резистор ОМЛТ-0,25-430 Ом
- 7 - Резистор СПО-0,25-470 Ом
- 8 - Транзистор КТ361Г
- 9 - Транзистор КТ602Б
- 10 - Транзистор КТ315Г
- 11 - Стабилитрон КС168А

Вариант №5 Стабилизатор напряжения №2



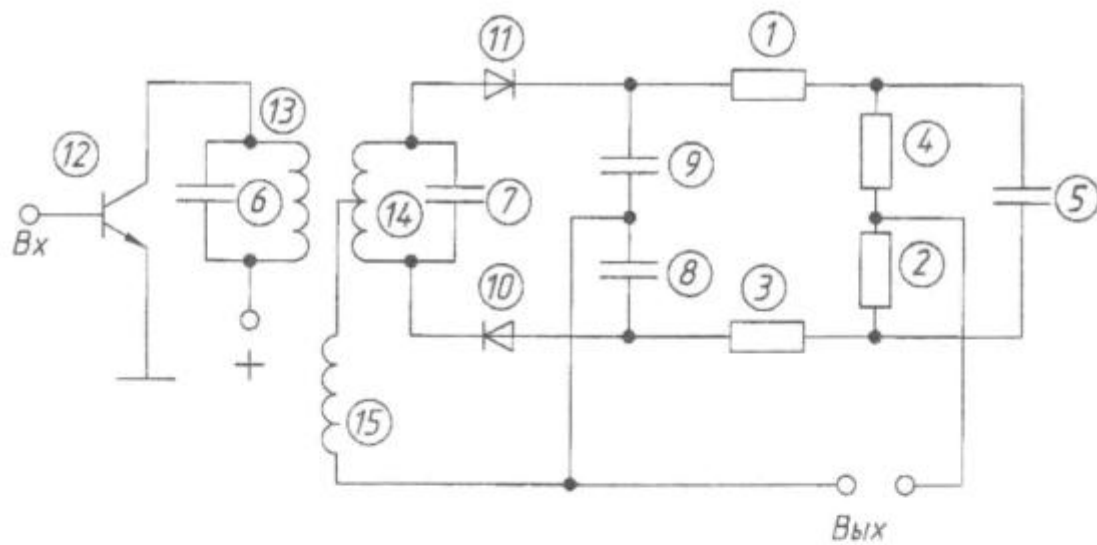
- 1 - Резистор МТ-0,25-9,1 кОм
- 2 - Резистор СПО-0,25-3,3 кОм
- 3 - Резистор МТ-0,25-8,2 кОм
- 4 - Резистор МТ-0,25-2,7 кОм
- 5 - Конденсатор КЛС-Н90-1000 пФ
- 6 - Конденсатор К50-3Б-1000 мкФ
- 7 - Транзистор КТ608Б
- 8 - Стабилитрон КС-156А
- 9 - Микросхема 140УД2

Вариант №6 Предварительный каскад усиления



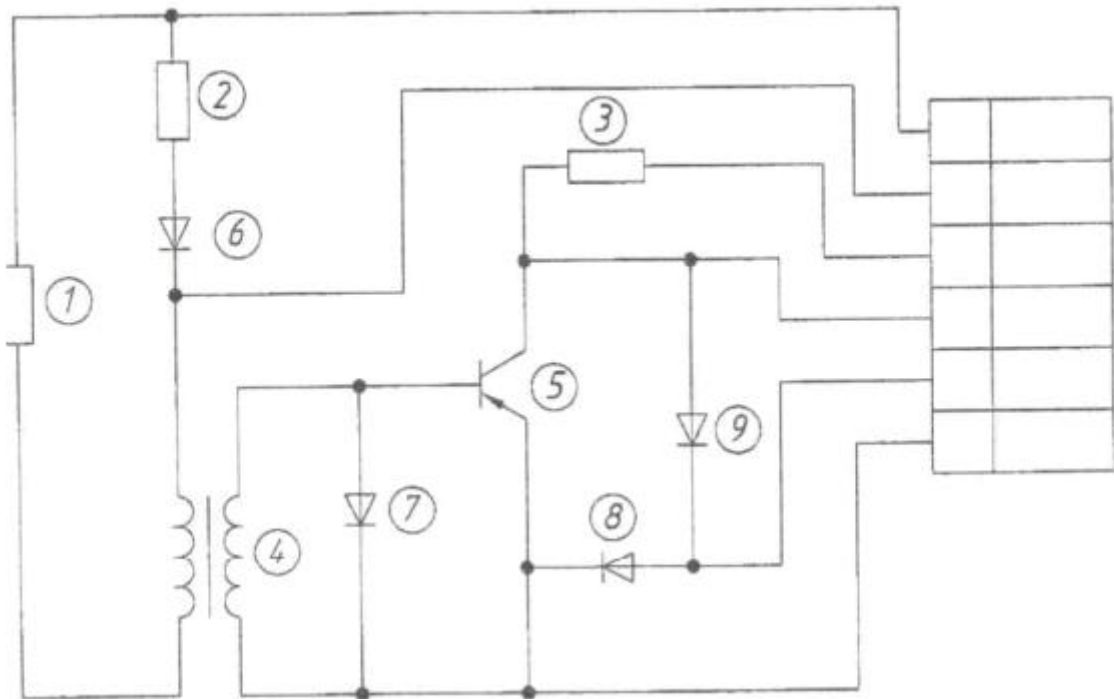
- 1 - Резистор МЛТ-0,125-3 кОм
- 2 - Резистор МЛТ-0,125-4,7 кОм
- 3 - Резистор МЛТ-0,125-22 кОм
- 4 - Резистор МЛТ-0,125-10 кОм
- 5 - Резистор ОМЛТ-0,125-330 Ом
- 6 - Резистор МЛТ-0,125-18 кОм
- 7 - Резистор МЛТ-0,125-3 кОм
- 8 - Конденсатор КМ-6-0,15 мкФ Н50
- 9 - Конденсатор КМ-6-0,05 мкФ Н33
- 10 - Конденсатор КМ-6-1 мкФ Н33
- 11 - Конденсатор КМ-6-0,15 мкФ Н50
- 12 - Конденсатор КМ-6-0,01 мкФ Н33
- 13 - Транзистор КТ315А

Вариант №7 Детектор отношений



- 1 - Резистор МЛТ-0,125-330 Ом
- 2 - Резистор МЛТ-0,125-5,6 кОм
- 3 - Резистор МЛТ-0,125-330 Ом
- 4 - Резистор МЛТ-0,125-5,6 кОм
- 5 - Конденсатор КМ-6-5 нФ
- 6 - Конденсатор КМ-6-150 нФ
- 7 - Конденсатор КМ-6-62 нФ
- 8 - Конденсатор КМ-6-1000 нФ
- 9 - Конденсатор КМ-6-1000 нФ
- 10 - Диод Д18
- 11 - Диод Д18
- 12 - Транзистор КТ315Г
- 13 - Катушка 0,1 мГн
- 14 - Катушка 0,1 мГн
- 15 - Катушка 0,2 мГн

Вариант №8 Усилитель с гальванической развязкой



- 1 - Резистор МЛТ-0,25-3000 м
- 2 - Резистор МЛТ-0,25-150 кОм
- 3 - Резистор МЛТ-0,25-2 кОм
- 4 - Трансформатор ТА
- 5 - Транзистор П605
- 6 - Диод Д9
- 7-9 - Диод Д220

Список литературы

1. Исследование электрических цепей в облачном приложении EasyEDA : практикум, Ушакова Н.Ю., Быковская Л.В., Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2025. — 106 с.
2. Farzin Asadi Electric Circuit Analysis with EasyEDA (1st ed. 2022) Springer International Publishing ISBN: 978-3-031-00294-6
3. The EasyEDA Simulation eBook

Третьяков Сергей Дмитриевич

**Методические указания по выполнению
практических занятий по дисциплине "Технология
производства радиоэлектронной аппаратуры"**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49