

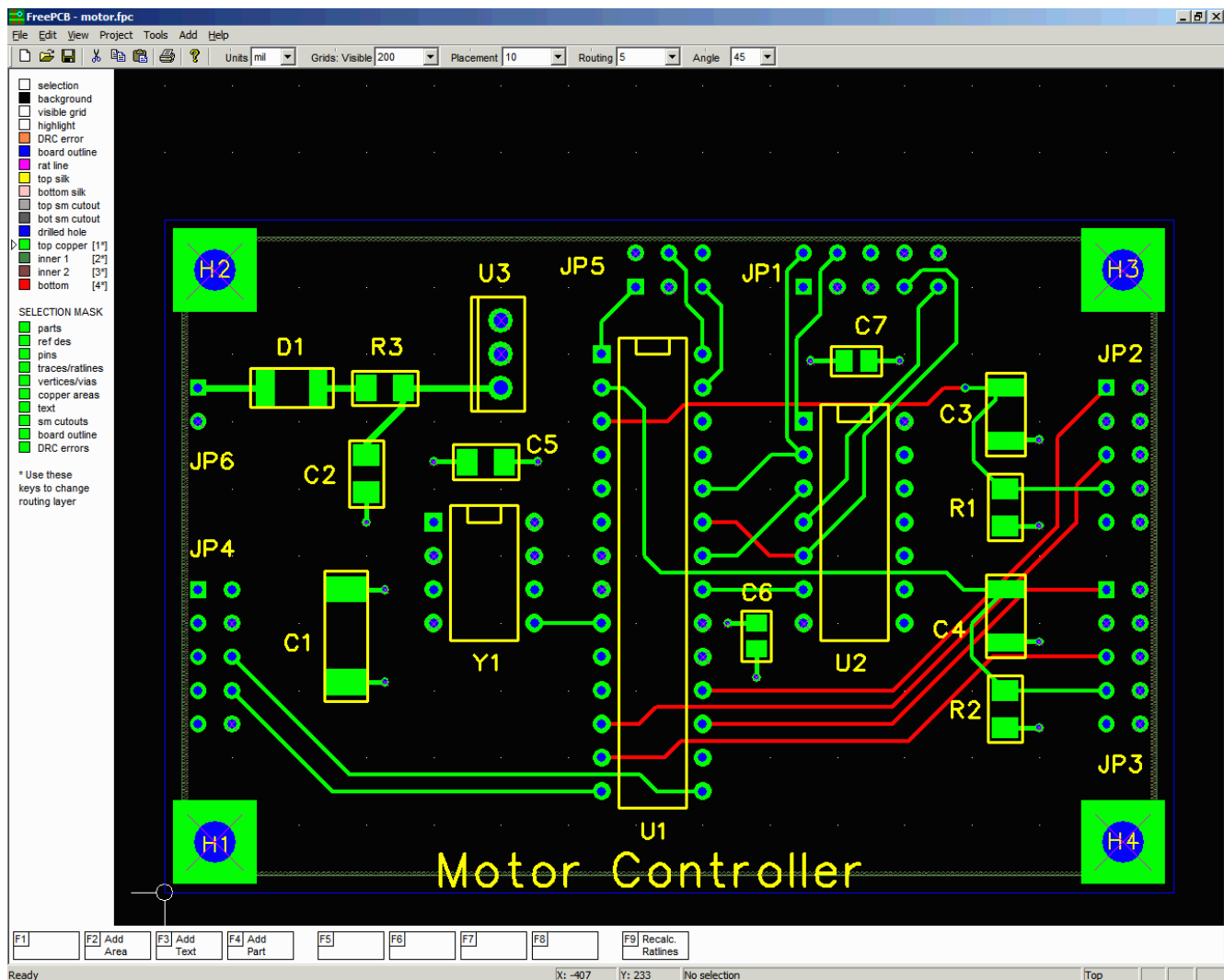
Руководства пользователя FreePCB

Версия 1.4

Allan Wright

April 14, 2007

Перевел Валентин Володин
email:valvolodin@narod.ru



Оглавление

1. Введение	3	5.20.3 Размеры сверла	73
2. История изменений	4	5.20.4 Зазоры сверления	74
2.1 Что нового в версии 1.4	4	6. Отпечатки и библиотеки	75
2.2 Что нового в версии 1.2	4	6.1 Библиотеки отпечатков	75
3. Установка FreePCB	6	6.1.1 Библиотеки ядра	76
4. Краткий обзор процесса PCB дизайна	7	6.1.2 Дополнительные библиотеки	76
4.1 Принципиальная схема	7	6.1.3 Пожертвованные библиотеки	77
4.2 Определение корпусов, упаковок и номеров выводов	7	6.2 Мастер создания отпечатков	77
4.3 Список корпусов	7	6.2.1 Пример 1: Создание компонента с одним выводом	80
4.4 Список соединений	8	6.2.2 Пример 2: Резистор с осевыми выводами	81
4.5 Создание файлов списка соединений	8	6.2.3 Пример 3: DIP кор. с прямоугольными площадками	82
4.6 Импорт файла списка соединений в FreePCB	9	6.2.4 Пример 4: 100 выводной корпус QFP	83
4.7 Добавление корпусов и связей "на лету"	9	6.3 Редактор отпечатков	84
4.8 Размещение компонентов	9	6.3.1 Окно редактора отпечатков	84
4.9 Разводка трасс	9	6.3.2 Элементы отпечатка	86
4.10 Добавление текста	9	6.3.3 Начало создания нового отпечатка	87
4.11 Файлы плоттера и сверления	9	6.3.4 Добавка и редактирование выводов	88
5. Трассировка платы	10	6.3.5 Добавка ломанных линий	91
5.1 Копия экрана	10	6.3.6 Изменение позиционного обозначения	92
5.2 Меню	11	6.3.7 Сохранение отпечатка	93
5.3 Панель задач	13	6.3.8 Импорт отпечатка	94
5.4 Панель состояния	14	6.3.9 Использование мастера создания отпечатка	95
5.5 Лист слоёв и выбор маски	15	6.3.10 Создание PDF файла содержимого библиотеки	97
5.5.1 Список слоёв	15	7. Учебник	99
5.5.2 Выбор маски	15	7.1 Схема	99
5.6 Функциональные клавиши и контекстное меню	16	7.2 Создание проекта	100
5.7 Настройка панорамы и размера окна	17	7.3 Импорт списка соединений	102
5.8 Проекты	18	7.4 Рисование границы платы	106
5.9 Элементы платы	21	7.5 Добавление отверстий	108
5.9.1 Отдельные элементы	21	7.6 Размещение компонентов	118
5.9.2 Группы элементов	25	7.7 Добавление компонентов и редактирование соединений	124
5.9.3 Перемещение предметов или групп стрелками	25	7.8 Добавление полигонов	133
5.10 Контур платы	26	7.9 Трассировка	140
5.11 Корпуса	28	7.10 Добавление текста	146
5.11.1 Анатомия корпуса	28	7.11 Проверка правил дизайна	148
5.11.2 Список корпусов	30	7.12 Создание Gerber файла и файла сверления	154
5.11.3 Редактирование корпусов	32	8. Форматы файлов	158
5.11.4 Перемещение или изменение размеров позиционного обозначения	34	8.1 Файл проекта	158
5.11.5 Создание невидимого поз. Обозначения	34	8.2 Файлы библиотек	161
5.12 Установка отверстий	35	8.3 Файлы конфигурации	161
5.13 Соединения, связи и разводка	36		
5.13.1 Соединения	36		
5.13.2 Список соединений	36		
5.13.3 Ratlines	38		
5.13.4 Изменение ratlines	39		
5.13.5 Трассировка с ratlines	40		
5.13.6 Удаление	42		
5.13.7 Трассировка обрубленных трасс	42		
5.13.8 Трассировка переходов	43		
5.13.9 Переходные отверстия	44		
5.13.10 Изменение трасс	45		
5.13.11 Обмен выводов	46		
5.14 Импорт списка соединений	47		
5.14.1 Файлы списка соединений	47		
5.14.2 Импорт списка соединений в проект	49		
5.14.3 Экспорт списка соединений	54		
5.15 Полигоны	55		
5.15.1 Вырезы в полигоне	57		
5.16 Текст	58		
5.17 Вырезы в маске пайки	59		
5.18 Группы	60		
5.19 Проверка правил дизайна	62		
5.20 Экспорт Gerber файла и файла сверловки	69		
5.20.1 Создание файлов	69		
5.20.2 Просмотр и печать файлов	72		

1. Введение

FreePCB является бесплатной, с открытыми исходниками, программой редактора печатных плат (PCB) под Windows, которую я начал писать, потому что был недоволен имеющимися к настоящему времени бесплатными или дешевыми PCB редакторами. Те, которые я пробовал, были либо непригодны по ограничениям выводов и слоёв, либо имели большое количество багов, либо были трудными в использовании. В конце концов я решил, что любой идиот может написать лучше и стал тем идиотом, который это сделал!

Это руководство пользователя содержит главы описывающие процесс разработки PCB и интерфейс пользователя программы FreePCB, а также учебник, который проводит пользователя через процесс создания PCB из схемы и файла списка соединений (netlist). В процессе изложения описывается большая часть основных особенностей программы FreePCB.

FreePCB написана для Microsoft Windows, но может быть запущена под Linux, с использованием Wine, или на компьютерах Macintosh, с использованием VirtualPC. Исходный код охраняется авторским правом, но выпущен под открытое лицензионное соглашение GNU (версия 2 или более поздняя). Условия этого соглашения можно посмотреть [здесь](#).

Если у Вас есть вопросы относительно FreePCB, пожалуйста сначала просмотрите форум www.freepcb.com. Для тех кто хочет связаться со мной напрямую, мой адрес электронной почты allan@freepcb.com
Благодарю за использование FreePCB.

Примечание от переводчика:

В данном руководстве описывается бесплатная программа FreePCB, которая позволяет проектировать печатные платы. Благодаря своей простоте и высокой функциональности, FreePCB завоевала высокую популярность в США, а также в Индии. Уже длительное время эта программа, установленная на домашнем компьютере, помогает и мне разрабатывать печатные платы для различных электронных самоделок.

К сожалению эта прекрасная программа практически не известна русскоязычной аудитории и отсутствие русской документации играет здесь не малую роль. Чтобы восполнить этот пробел, я решил перевести на русский язык руководство этой программы, написанное её автором. Представляю на Ваш суд то, что у меня получилось. При переводе данного руководства я не ставил своей целью получения некоего литературного шедевра (каким впрочем не является и сам оригинал). А руководствовался целью создания, на основе оригинала, сносно читаемого руководства, позволяющего быстро и в достаточной мере освоить программу FreePCB.

Соответственно, при переводе руководства возникли некоторые сложности с переводом тех или иных терминов. С одной стороны эти термины как-бы требовалось привести в соответствие с ГОСТ-ами, а с другой стороны, в среде профессиональных разработчиков уже давно прижились и используются англоязычные термины. Последнее обстоятельство является реальным фактом, который нельзя не учитывать. Ведь в конце концов практически все программы проектирования печатных плат имеют интерфейс на английском языке. И поэтому излишнее "напирание" с альтернативной интерфейсу терминологией будет всего лишь усложнять понимание документации и увеличивать уровень тавтологии.

Для большей ясности, привожу таблицу связи некоторых терминов интерфейса программы и их синонимов в переведённой документации:

В интерфейсе	Пояснение	В переводе
footprint	Посадочное место, включающее контактные площадки и контур корпуса компонента.	футпринт
part	Корпус компонента на печатной плате.	корпус
pin	Вывод штыревого или SMT компонента	штыревой вывод или вывод
ratline	Эластичная ("резиновая") связь между двумя точками одной цепи	ratline (решил оставить как есть)
net	Именованная электрическая цепь	цепь
vertex	Точка излома линии (дорожки, контура платы, полигона и т.д.)	излом
via	Переходное отверстие	переход или переходное отверстие

*С уважением,
Валентин Володин*

2. История изменений

2.1 Что нового в версии 1.4

Вот новые особенности, которые были добавлены в программу, начиная с версии 1.2:

- Добавлены функции для импорта и экспорта файлов в/из WEB автотрассировщик FreeRoute.
- Пункт меню **Project > Options** теперь позволяет переименовывать проект, изменить заданную по умолчанию библиотечную папку, а также изменять число слоев.
- Авто сохранение улучшено так, чтобы автоматически сохраненные файлы хранились в подпапке проектной папки. Возрастающие имена этих файлов генерируются автоматически.
- Изменился формат Gerber с 2.6 на 2.4.
- Добавлена функция группового копирования/вставки. Группу можно сохранить как проектный файл и проектный файл можно вставить как группу в другой проект.
- Теперь трассы могут иметь ветви.
- Добавлена новая функция **Tools > Check Traces**, которая улучшает трассировку, комбинируя коллинеарные сегменты и устраняет сегменты нулевой длины.
- Трассировка из точек вне сетки улучшена, с тем чтобы "dogleg (излом соединительной линии)" сегменты трассировки создавались по сетке в один шаг.
- Ширина трасс и переходных отверстий может теперь изменяться независимо в **Project > Nets**.
- Можно изменять позиционное обозначение компонента при помощи пункта меню **Edit > Part**.
- Добавлена функция изменения слоя **Change Layer** для полигонов.
- Редактирование полигонов улучшено. Вырезы в полигонах теперь могут содержать другие полигоны.
- В редакторе футпринтов, при изменении параметров одного вывода, можно применять замену к другим выводам.
- Gerber файлы теперь включают маски пасты.
- Gerber файлы и файл сверловки теперь генерируются данными панели.
- Плата теперь может содержать несколько контуров.

2.2 Что нового в версии 1.2

Вот новые особенности, которые были добавлены начиная с версии 1.0:

- При прокладке ratline (связи), можно завершить трассу на любом выводе, трассировкой в вывод. Вы можете также делать это с обрубленными трассами.
- Пункт меню **View > Show part...** позволяет выбрать компонент в проекте через позиционное обозначение, а затем центрируете окно на нём.
- Футпринт теперь может содержать текст шелкографии
- Поддерживаются овальные, восьмиугольные и закруглённый квадратные контактные площадки.
- Функциональная кнопка и меню списка слоёв теперь "кликабельны"
- Расширены несколько меню клика правой кнопки мышки.
- Отпечаток может содержать SMT площадки на обеих сторонах платы. Эта характеристика добавлена главным образом для краевых коннекторов.
- Добавлены опции в пункте меню **File > Import Netlist**, позволяющие ручной выбор компонентов, футпринтов и соединений, которые уже существуют в проекте.
- Лист "последних файлов" теперь работает должным образом.
- Можно обменивать соединение выводов, выбрав один вывод и, удерживая кнопку "s", выбрать другой вывод.
- Можно создать контур в слоях маски пайки (для примера, устранять "дамбы" маски пайки между штифтами края коннектора).
- Добавлен инструмент **Check connectivity** (проверка соединений) в меню **Tools**. Также, возможен контроль правил дизайна, сигнализирующий об ошибках соединений.
- В полигоны могут быть добавлены вырезы.
- Инструмент **Move Origin**, позволяющий перемещать начало координат, добавлен в меню **Tools**.
- Всю трассу можно выделить, удерживая клавишу "t" и нажав на сегмент или излом. Всё соединение может быть выделено, удерживанием клавиши "n" и нажатием на сегмент, излом или вывод.
- Функция "Change layer" добавляется, когда выбран сегмент или трасса.
- Изменяя ширину трассы соединения в **Project > Nets...** диалоге, можно применить новую ширину к существующим трассам.
- Контактные площадки выводных компонентов теперь формируются на каждом слое меди. Слой "through-hole (отверстие вывода)" заменён слоем "drilled hole(просверленное отверстие)".
- Большинство элементов может быть перемещено с клавишами курсора.
- Можно выбрать группу элементов (таких как компоненты, трассы, полигоны, и т.д.) нарисовав

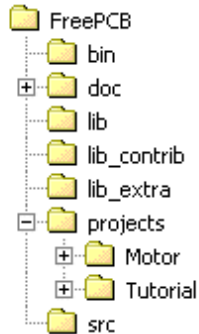
прямоугольник мышкой. Затем вся группа может быть перемещена с помощью мышки или клавишами курсора.

- Добавлены опции к диалогу **File > Generate CAM files...**, где таким образом можно выбирать независимое использование теплового барьера для площадок и переходных отверстий, а также независимо создавать открытые области в паяльной маске для площадок переходных отверстий.
- Было добавлено меню "Selection mask", где таким образом стало возможно управлять типами элементов, которые могут быть выбраны мышью.
- При перемещении элементов, в строке состояния отображается относительное расстояние.
- В меню **Help** есть элемент, который показывает список горячих клавиш.

3. Установка FreePCB

В конце концов, FreePCB обзаведётся хорошим инсталлятором, но пока процедуру установки необходимо делать вручную. Вот инструкции

- Загрузите последнюю версию программного обеспечения с www.freepcb.com. Это может быть файл в форме архива zip с названием freepcb_1000_bin.zip, исполняемый файл самоустанавливающегося архива с названием freepcb_1000_src.exe или полный файл инсталлятора, такой как freepcb_1000_setup.exe.
- Установите программное обеспечение в папку на Вашем жестком диске. Например, в папку C:\FreePCB или C:\Program Files\FreePCB. Эта папка должна содержать подпапки, как показано на рисунке:



- Подпапка **bin** содержит исполняемый файл **FreePCB.exe** самой программы, файл конфигурации **default.cfg**, задающий конфигурацию по умолчанию, и несколько других файлов.
 - Подпапка **doc** содержит документацию (главным образом это Руководство пользователя).
 - Подпапка **lib** содержит основные библиотеки футпринтов.
 - Подпапка **lib_contrib** содержит библиотеки футпринтов внесенные другими пользователями.
 - Подпапка **lib_extra** содержит редко используемые библиотеки футпринтов.
 - Подпапка **projects** содержит папки для каждого проекта PCB.
 - Подпапка **src** содержит исходный код программы FreePCB.
- Если Вы использовали инсталлятор, то в процессе установки Вам предложат создать ярлык на рабочем столе, чтобы запустить FreePCB. Если Вы использовали один из архивов, то придётся создать ярлык вручную. Для этого откройте папку **.\FreePCB\bin** в Windows Explorer и перетащите файл **FreePCB.exe** на рабочий стол правой кнопкой мышки. После этого появиться выпадающее меню в котором необходимо выбрать опцию "Создать ярлык".

4. Краткий обзор процесса проектирования PCB

Это - краткий обзор процесса проектирования PCB, с объяснениями некоторых терминов, которых имеют особое значение в FreePCB. Эти термины выделены **жирным** шрифтом.

4.1 Схема

Большинство проектов PCB начинаются со схемы **Schematic Diagram**, которая показывает компоненты **Devices**, используемые в проекте, и соединения **Connections** между ними. У каждого компонента в схеме есть позиционное обозначение **Reference Designator**, такое как "U1" или "R3". Точки подключения компонентов называют выводами или штырями **Pins**, даже в том случае, когда они фактически имеют не штыревую конструкцию, как винтовые зажимы, например. В общем и конечном счёте печатная плата **PCB** должна содержать компоненты соединённые точно так, как показано на схеме. Если проектировщик производит изменения в схеме размещения PCB, которые создают несоответствия между PCB и схемой, схема должна быть скорректирована **Back-Annotated**, чтобы отразить изменения.

4.2 Определение корпусов, упаковочной информации и названий выводов

Первым шагом в проектирование PCB из схемы является выбор физического корпуса **Part** для каждого компонента в схеме. Спецификация корпуса, по крайней мере, должна включать упаковочную информацию - упаковку **Package** и схему расположения выводов **Pinout** для корпуса. Как только корпуса и упаковочная информация были выбраны, необходимо возвратиться к схеме и назначить название выводов **Pin Names**. Название должно быть назначено для каждого вывода в проекте, даже в корпусах, которые имеют взаимозаменяемые выводы, такие как резисторы.

Названия выводов обычно содержат числа, но также могут содержать буквы. Если используются буквы, то требуется, чтобы они предшествовали любым числам. Например, "12", "A", "SOURCE" и "A23" являются допустимыми названиями выводов, в то время как "1A" и "A1A" нет. Другие символы кроме букв и чисел не допускаются.

Идентификатор упаковки **Package Identifier** является строкой, такой, например, как "DIP16", которая идентифицирует упаковку и определяет какой футпринт **Footprint** используется для корпуса. Футпринт включает медные контактные площадки **Pads** к которым припаиваются выводы компонентов, а так же графические элементы, такие как контур корпуса **Part Outline** и текстовая строка **Text String** для позиционного обозначения.

4.3 Список корпусов Partlist

Partlist, это список всех корпусов проекта, с их позиционными обозначениями и идентификаторами упаковки.

Пример списка корпусов показан ниже:

Позиционное обозначение	Идентификатор упаковки
U1	DIP14
R1	RES_1/4W_AXIAL
C1	CHIP_0805

4.4 Список соединений

Соединение **Net** определяет выводы компонентов, которые соединены вместе линиями на схеме. Каждый вывод в соединении идентифицирована текстовой строкой, состоящей из позиционного обозначения корпуса, содержащего данный вывод, символ "." и название вывода. Например, вывод 8 корпуса U5 был бы "U5.8". У каждого соединения должно быть уникальное имя, которое может быть выразительным и описательным, или просто отличительным.

Перечень выводов в соединении называется списком выводов **Pin List**.

Список соединений **Netlist** является списком всех соединений в проекте, с их списками выводов. Типовой список соединений показан ниже:

Имя соединения	Список выводов
VCC	U1.14, R1.1, C1.1, Q1.C
GND	U1.7, C1.2, Q1.E
\$\$1234	U1.1, R1.2, U1.2, Q1.B

4.5 Создание Файлов списка соединений

Если схема была создана схемным редактором, список корпусов и список соединений могут быть автоматически записаны в файл списка соединений **Netlist File**. Большинство схемных редакторов позволяют генерировать файлы списка соединений в нескольких форматах. Вы должны выбрать формат "PADS-PCB", который распознаётся программой FreePCB. Файл списка соединений в этом формате показан ниже. Распечатка в значительной степени очевидна.

```
*PADS-PCB*
*PARTS*
U1 DIP14
R1 RES_1/4W_AXIAL
C1 C0805

*NETS*
*SIGNAL* GND
U1.7 C1.2

*SIGNAL* $1234
U1.1 R1.2 U1.2
```

Если Вы работаете с напечатанной или нарисованной от руки схемой, то придётся сделать файл списка соединений вручную. Это довольно легко, хотя может стать утомительным на большом проекте. Я обычно делаю фотокопию схемы. Затем начинаю делать файл списка соединений, используя редактора текста. По мере пополнения списка корпусов, я подсвечиваю желтым фломастером на схеме позиционное обозначение каждого добавляемого компонента. Затем назначаю названия соединениям и выводам (если они уже не указаны на схеме), и делаю список соединений. Для каждого соединения я использую желтый маркер и отмечаю каждое подключение, по мере пополнения списка выводов. После завершения процедуры, каждый компонент и каждое подключение на схеме должны быть закрашены жёлтым цветом. Тогда, я распечатываю файл списка соединений и проверяю его построчно. Поскольку идёт проверка, я снова подсвечиваю компоненты и подключения в схеме, но на сей раз красным фломастером, удостоверяясь, что каждый компонент и каждое подключение учтены. Я делал весьма большие файлы списка соединений этим путем без ошибок.

4.6 Импортирование Файлов Списка соединений в FreePCB

Когда файл списка соединений будет готов, можно импортировать его в FreePCB, чтобы запустить Ваш проект. FreePCB попытается найти футпринт соответствующий идентификатору упаковки для каждого корпуса. Если это завершится неудачно, можно назначить футпринты вручную или возвратиться и отредактировать список соединений. Все футпринты будут помещены в левом нижнем углу области проекта PCB. Затем FreePCB загружает соединения из списка соединений, разрывая каждое соединение в последовательность подключений между ближайшими выводами. Они появятся как розовые линии между ножками, обычно называемые **Ratlines** (линии или просто связи). Если Вы перемещаете корпуса, то эти связи будут перемещаться, растягиваться или сжиматься вместе с ними.

4.7 Добавление корпусов и соединений "На лету"

В качестве альтернативы, Вы можете создать проект в FreePCB без файла списка соединений при использовании методики редактирования "на лету". Начиная с пустого проекта, добавьте каждый корпус, соединение и подключение, используя пункты меню **Modify** и **Add**. Вы будете опрошены относительно позиционных обозначений и названий соединений по мере необходимости. Это работает разумно хорошо для маленьких проектов, но я предпочитаю создавать файл списка соединений как описано выше.

4.8 Размещение корпусов

Следующим шагом является размещение **Place** корпусов на плате, двигая и вращая их по мере необходимости. После того, как Вы переместите корпус, FreePCB автоматически переназначит связи каждого соединения, подключенного к корпусу, минимизируя их полную длину. Использование сетки **Snap Grid** делает выравнивание компонентов более простым.

4.9 Разводка дорожек (Трассировка)

Когда корпуса размещены, можно приступить к разводке. Это обычно самая сложная часть процесса проектирования PCB, отнимающая много времени. Каждое подключение должно быть преобразовано в медную дорожку **Trace**, состоящую из множественных прямолинейных сегментов **Segments**. Точки, где сегменты объединены называются изломами **Vertices**. Все сегменты могут размещаться на одном том же медном слое **Layer** или могут быть на различных слоях, и в этом случае они будут подключены через переходные отверстия (переходы) **Vias**. FreePCB поддерживает только сквозные переходы и не поддерживает слепых или скрытых переходов. Дорожки могут содержать ответвления **Branches** к альтернативным выводам, помимо оригинальных конечных точек дорожки. Можно создавать полигоны **Copper Areas**, которые могут быть полезными для создания обширных областей разводки питания и земли. Для подключения площадок SMT к полигонам можно использовать обрубленные дорожки **Stub Traces**. Сетка излома полезна для выравнивания дорожек. Вы можете также установить угол излома **Snap Angle**, который вынуждает сегменты дорожки ориентироваться под различными углами (обычно 45°).

4.10 Добавить текст

Текстовая строка может быть добавлены для примечаний, исправления чисел, объявлений об авторском праве и т.д. Текстовая строка размещаться в слое шелкографии.

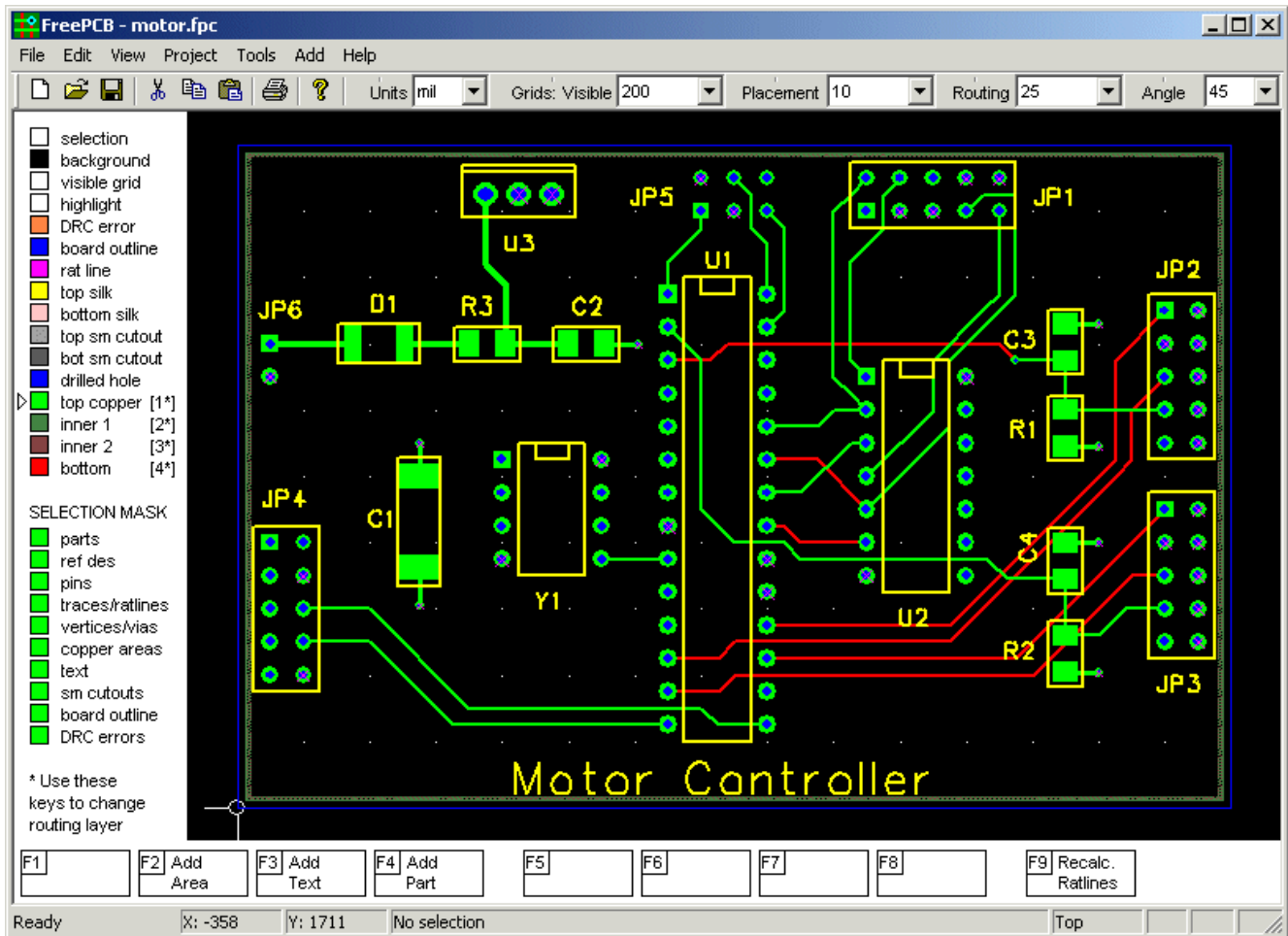
4.11 Файлы прорисовки и сверления

Прорисовки каждого слоя, могут быть экспортированы в виде гербер файлов **Gerber Files**, которые используются для создания фотошаблонов **Photoplots** для изготовления печатной платы. FreePCB может также генерировать файлы сверловки **Drill Files**, которые определяют все отверстия, которые будут просверлены в плате. Так как FreePCB не имеет встроенного просмотрщика гербер файлов, то для просмотра Ваших гербер-файлов Вы можете использовать бесплатный гербер просмотрщик **Gerber Viewer**, такой как [ViewMate](#) от PentaLogix, и сделать проверочную прорисовку **Check Plots** на принтере Windows. Для приверженцев утюгово-лазерной технологии этого будет уже достаточно. Желаящие получить печатные платы фабричного исполнения могут послать свои гербер-файлы и файл сверловки в компанию изготовления PCB **PCB Fabrication Company** (вместе с некоторым количеством денег **Money**). Они в течении нескольких дней выполнят Ваш заказ и пришлют назад законченные платы. Ведь это круто!

5. Размещение PCB

5.1 Копия экрана

Копия экрана FreePCB показана ниже.



Основные элементы окна:

1. Строка меню, содержащая меню [File](#), [Edit](#), [View](#), [Project](#), [Tools](#), [Add](#) и [Help](#)
2. Панель задач (непосредственно ниже строки меню), с 8 иллюстрированными кнопками и 5 выпадающими меню для установки единиц измерения [Units](#) (mil или мм), интервалов сетки видимости [Visible](#), размещения [Placement](#) и трассировки [Routing](#), и угла излома [Angle](#) (в градусах).
3. Список слоёв на левой стороне клиентской области, с окошками рядом с каждым слоем, показывающими его цвет и видимость.
4. Выбор маски, ниже списка слоёв, с полями, чтобы разрешить/запретить выбор различных элементов.
5. Окно размещения, где показана PCB.
6. Меню функциональных клавиш ниже списка слоёв и окна размещения, показывает доступные команды функциональных клавиш.
7. Строка состояния в нижней части окна.

Эти элементы описаны более подробно в следующих разделах.

5.2 Меню

В строке меню доступны следующие меню:

♦ File

- , New — создать новый проект PCB (быстрая клавиша = Ctrl-N)
- , Open... - открыть файл проекта PCB (быстрая клавиша = Ctrl-O)
- , Save — сохранить файл проекта PCB (быстрая клавиша = Ctrl-S)
- , Save As... - сохранить файл проекта PCB под новым именем
- , Close — закрыть проект
- , Import netlist... - импорт файла списка соединений
- , Export netlist... - экспорт файла списка соединений
- , Convert library... - конвертировать библиотеку футпринтов из формата Ivex в формат FreePCB
- , Generate CAM files... - генерировать гербер файлы и файл сверловки
- , Open Footprint Editor... - перейти из редактора PCB в редактор футпринтов
- , Export .dsn file... - Экспортировать файл дизайна в автотрассировщик
- , Import .ses file... - импортировать файл сессии из автотрассировщика
- , Print... - (пока не осуществлено)
- , Print Preview - (пока не осуществлено)
- , Print Setup... - (пока не осуществлено)
- , Exit — закрыть приложение

♦ Edit

- , Undo — отменить последнюю операцию (быстрая клавиша = Ctrl-Z)
- , Cut — сохранить в буфер обмена и удалить (доступно только для групп)
- , Copy — сохранить в буфер обмена (доступно только для групп)
- , Paste — вставить из буфера обмена (доступно только для групп)
- , Save group to file... - сохранить группу как файл проекта
- , Paste group from file... - вставить файл проекта как группу

♦ View

- Show board outline — изменить масштаб, чтобы отобразить всю плату
- Show all — изменить масштаб, чтобы отобразить все элементы размещения (сокращённо=Home)
- Show part... - открыть диалог для выбора компонента
- Layers... - открыть диалог просмотр/редактирование слоёв
- Show log... - показать лог окна

♦ Project

- , Options — открыть диалог Опции Проекта для редактирования
- , Parts... - открыть диалог Смотреть/Редактировать корпуса для редактирования списка корпусов
- , Nets... - открыть диалог Смотреть/Редактировать соединения для редактирования списка соединений

◆ Tools

- , [Move origin](#) — переместить оригин системы координат в новую позицию
- , [Footprint Wizard](#) — открыть Мастер футпринта для создания нового футпринта
- , [Footprint Editor](#) — открыть редактор футпринта для создания или редактирования футпринта
- , [Check parts and nets](#) — Проверить проект на внутренние ошибки базы данных
- , [Check traces](#) — проверить и очистить дорожки
- , [Check connectivity](#) — проверить проект на неполные подключения списка соединений
- , [Check Copper Areas](#) — проверка полигинов, объединить если нужно
- , [Design Rule Check](#) — Проверить согласованность с правилами проекта и показать ошибки
- , [Clear DRC Errors](#) — Очистить символы для всех ошибок DRC
- , [FreeRoute autorouter...](#) - запустить on-line автотрассировщик FreeRoute

◆ Add

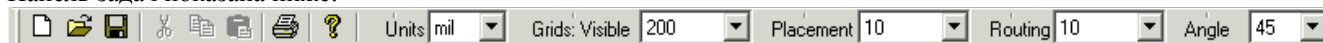
- , [Board Outline](#) — добавить контур платы
- , [Part](#) — добавить новый корпус
- , [Net](#) - (пока не осуществлено)
- , [Copper Area](#) — добавить полигон
- , [Text](#) — добавить строку текста
- , [Solder Mask Cutout](#) — добавить контур в слое паяльной маски

◆ Help

- , [User Guide](#) — показать это руководство пользователя
- , [FreePCB Website](#) — посетить вебсайт FreePCB
- , [FreeRouting Website](#) — посетить доступ к on-line трассировщику FreeRoute
- , [Keyboard shortcuts](#) — показать список быстрых клавиш
- , [About FreePCB...](#) — показать информацию о программе FreePCB

5.3 Панель задач

Панель задач показана ниже:



Она содержит 8 иллюстрированных кнопок, которые являются ярлыками для следующих пунктов меню:

- ◆ [New](#)
- ◆ [Open](#)
- ◆ [Save](#)
- ◆ [Cut](#)
- ◆ [Copy](#)
- ◆ [Paste](#)
- ◆ [Print](#)
- ◆ [About](#)

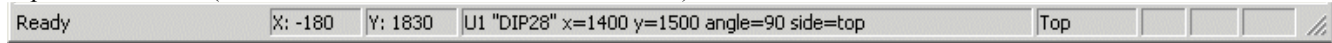
Они сопровождаются 5 раскрывающимися меню для установки единиц измерения и сетки, используемых в FreePCB. Это:

- ◆ **Units** – выбрать mils или mm для измерений размеров
- ◆ **Visible** – установить интервал прямоугольного массива точек в окне размещения, как видимые ссылки
- ◆ **Placement** – установить сетку для размещения корпусов, текста и т.п.
- ◆ **Routing** – установить сетку для разводки дорожек и прорисовки полигонов
- ◆ **Angle** – установить угол излома (в градусах) для разводки дорожек, прорисовки границ платы и полигонов

Заданные по умолчанию данные для раскрывающихся меню (кроме меню [Angle](#)) находятся в файле default.cfg, в папке, которая содержит FreePCB.exe. Когда проект создан, они копируются в секцию опций проектного файла. Они могут быть изменены при помощи любого текстового редактора, например таким, как Блокнот.

5.4 Строка состояния

строка состояния (находится в нижней части окна FreePCB) показана далее:



Она содержит следующие элементы:

- Подсказку (“Ready”), которая изменяется, если курсор помещается поверх различных элементов пользовательского интерфейса
- X и Y координаты курсора в mils или мм
- Информация об элементе, который выбран (если выбран). В примере выше, корпус U1 был выбран. Его позиционное обозначение, отпечаток, позиция, угол и сторона отображены.
- Текущий трассируемый слой (“Top”)

5.5 Список слоёв и выбранная маска

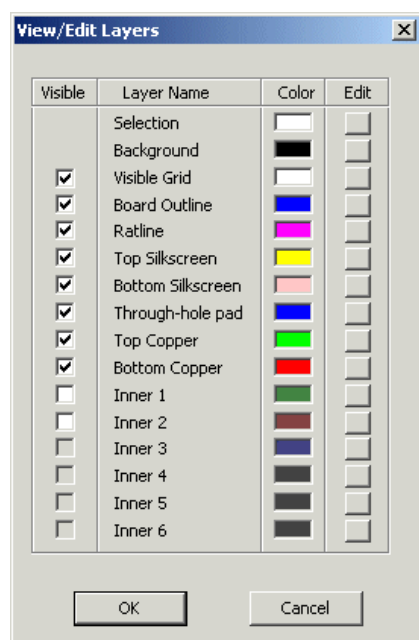
Это два вертикальных списка в окне FreePCB, слева от области размещения.

5.5.1 Список слоёв

- ☐ selection
- ☐ background
- ☐ visible grid
- ☐ highlight
- ☐ DRC error
- ☐ board outline
- ☐ rat line
- ☐ top silk
- ☐ bottom silk
- ☐ top sm cutout
- ☐ bot sm cutout
- ☐ drilled hole
- ☒ top copper [1*]
- ☒ inner 1 [2*]
- ☒ inner 2 [3*]
- ☐ bottom [4*]

Это - список всех слоёв рисования используемых в проекте. Рядом с названием каждого слоя маленький квадрат, показывающий цвет слоя. Если уровень был сделан невидимым, квадрат будет белым с "X" через него (таким как "inner 1" и "inner 2" в примере). Вы можете переключить каждый слой от видимого до невидимого, нажимая на квадрат.

Слой активный для трассировки ("top copper" в примере ниже) будет идентифицирован стрелкой - указателем. Вы можете изменить активный уровень трассировки, нажимая числовую клавишу на клавиатуре (то есть клавиши с "1" до "8"), или кликая на названии слоя в списке. Активный слой трассировки будет всегда отображаться поверх других слоёв в окне размещения.



Цвет каждого слоя можно изменить. Для изменения цвета слоя выбираем **Layers** в меню **View**, которое вызывает диалог **View/Edit Layers**, показанный ниже. Нажмите на кнопки в столбце **Edit**, чтобы изменить цвета. Вы можете также изменить видимость слоёв в этом диалоге.

5.5.2 Маска выбора

- SELECTION MASK
- ☒ parts
 - ☒ ref des
 - ☒ pins
 - ☒ traces/ratlines
 - ☒ vertices/vias
 - ☒ copper areas
 - ☐ text
 - ☐ sm cutouts
 - ☐ board outline
 - ☐ DRC errors

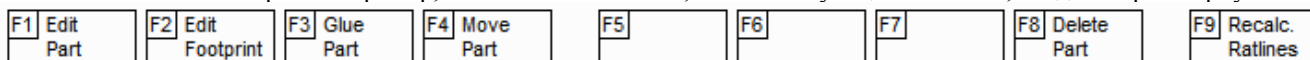
Элементы в размещении можно выбрать для редактирования, кликнув по ним или нарисовав вокруг них прямоугольник мышкой. Так как элементы могут накладываться друг друга, то иногда бывает трудно выбрать точно тот элемент, который Вам нужен. В этом случае можно использовать маску выбора, чтобы позволить или отключить выбор различных типов элемента. Маска состоит из списка типов, с цветным блоком рядом с каждым. Зеленый блок означает, что тип элемента может быть выбран, в то время как красный блок означает, что этот элемент не может быть выбран. Можно переключать состояние каждого блока, нажимая на него.

5.6 Функциональные клавиши и контекстное меню

Большинство программ рисования Windows используют процедуру "кликнуть-тащить" мышкой для редактирования. Это означает удерживание в нажатом состоянии левую кнопки мышки при её перемещении. Можно, например, изменить размеры элемента кликнув по нему, что влечёт за собой появление блока выбора с "захватами", которые можно затем кликнуть и перетащить, чтобы увеличить или уменьшить элемент. Конечные точки линии могут быть перетасканы щелчком к новой позиции, и т.д., и т.п.

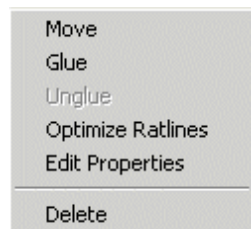
Однако, клик-перемещение не работает достаточно хорошо для трассировки дорожек, что является самой долговременной частью трассировки РСВ. Дорожки - в основном ломаные линии, состоят из множества подключенных линий сегментов. Размещение каждого сегмента требует отдельного щелчка мыши, который подразумевает, что сегменты нужно перетаскивать, не удерживая в нажатом состоянии кнопку мыши. Кроме того, пока трассируются дорожки или размещаются корпуса, полезно иметь возможность панорамирования и изменения масштаба изображения, которое мне нравится делать с использованием прокрутки на мыши. Согласитесь, очень трудно использовать прокрутку, одновременно удерживая кнопку мыши.

Поэтому FreePCB использует немного другой подход. Элемент выбирается, если кликнуть по нему. После этого элемент подсвечивается, что указывает на то, что он был выбран, и в строке состояния появляется описание элемента. Теперь операция редактирования может быть выполнена после нажатия соответствующей функциональной клавиши на клавиатуре. Операции, назначенные на каждую функциональную клавишу, перечислены в нижней части окна FreePCB. Этот список контекстно-зависим, и изменится, в зависимости от того, какой элемент был выбран. Например, ниже показано меню, соответствующее моменты, когда выбран корпус.



Если операция потребует перемещения, то это будет возможным после нажатия функциональной клавиши. Операция обычно заканчивается нажатием левой кнопки мышки, или может быть отменена нажатием правой кнопки мышки. Пока делается перемещение, функциональные клавиши остаются активными, так, чтобы могли быть выполнены дополнительные операции. Например, во время перемещения корпуса, нажатие F3 позволит вращать его, в то время как нажатие F2 позволит переместить его на противоположную сторону платы. Этот стиль пользовательского интерфейса требует, чтобы Вы держали левую руку на клавиатуре, а правой работали с мышкой, редактируя (предполагается, что Вы правша). Во времена DOS многие CAD программы использовали подобный стиль, а некоторые еще продолжают использовать. Если у Вас есть сомнение относительно скорости и эффективности подхода "левая рука на клавиатуре, а правая с мышкой", тогда проведите несколько минут, наблюдая за кем-то, кто играет в одну из популярных игр, таких как Doom, Quake, Unreal Tournament, Half-life, Tribes, и т.д. Они все используют именно этот стиль пользовательского интерфейса. А трассировка PCB обычно является более простой операцией, чем обстрел неистовствующих нацистских мутантов, нападающих со всех сторон!

Назначение операций редактирования функциональным клавишам является не полностью произвольным, как может показаться сначала. Так как пальцы левой руки обычно лежат на клавишах F1-F4, то они используются для первичных операций редактирования. F4 (под указательным пальцем) используется для самой общей операции на выбранном элементе (такой, как перемещение корпуса), в то время как F2-F3 используются для менее общих операций. F1 часто используется, чтобы вызвать своего рода диалог, позволяющий редактировать свойства выбранного элемента. Клавиши F5-F8 обычно используются для удаления или перетрассировки, так как они требуют движения рукой, что уменьшает вероятность их случайного нажатия. Клавиша F9 зарезервирована для того, чтобы повторно вычислить ratlines. Это расположение очевидно оптимизировано для пользователей, которые в основном используют правую руку (как я). Я предполагаю добавить опцию "left-handed (левша)" в будущем.



Если Вы предпочтете не использовать функциональные клавиши, то щелкая правой кнопкой можно вызвать более традиционное меню Windows, показано ниже. Это так называемое "меню контекста", и его информационное наполнение изменяется, в зависимости от того, какой элемент выбран. Меню контекста не доступно, в то время как Вы перетаскиваете элемент мышкой, таким образом функциональные клавиши всё равно должны использоваться, чтобы выполнить операции во время перемещения.

5.7 Панорамирование и изменение масштаба изображения

Имейте в виду, что в окне FreePCB нет никаких линеек прокрутки. Использование полосы прокрутки для панорамирования не очень практично для программы размещения PCB, так как вынуждает часто выполнять панорамирование, направляя дорожки или перемещая корпуса. Это неэффективно, так как вынуждает сдвигать курсор из рабочей области к линейки прокрутки.

Поэтому, панорамирование и изменение масштаба изображения в FreePCB выполнено или клавишами клавиатуры или (предпочтительно) путём прокрутки мышки. Для панорамирования, переместите курсор в пункт на PCB, который будет новым центром изображения, и надавите клавишу пробел или прокрутите колёсико мышки на один щелчок в любом направлении. Изображение повторно центрируется на позиции курсора. Чтобы увеличить изображение, нажмите клавишу "Page Up" или прокрутите вперёд колёсико мышки более чем на один щелчок. Чтобы уменьшить изображение, нажмите "Page Down" или прокрутите назад колёсико мышки. Если у Вас нет мышки с колёсиком, я рекомендовал бы её приобрести.

Вы можете отобразить всю схему PCB, используя [View->Show board outline](#) элемент меню. Вы можете показать все элементы в проекте (которые могут находиться за пределами PCB), выбрав [View->Show all](#), или нажав клавишу "Home". Вы можете выбрать корпус и панорамироваться к его местоположению, используя [View->Show part...](#)

5.8 Проекты

В FreePCB, печатные платы упоминаются как проекты. Вся информация, описывающая проект, хранится в единственном текстовом файле с расширением **.fpc**, который обычно сохраняется в папке с тем же самым названием как проект. Например, проект под названием "Motor" будет сохранен в файле **Motor.fpc**, расположенной в папке **C:\FreePCB\projects\Motor**

Новый проект создаётся с помощью **File > New**. Это пункт меню начнет **Project Options** диалог, который показан ниже.

Project Options

Name

Project Folder

Library folder

Number of copper layers

Default trace and via widths (mils)

trace via pad via hole

Menu of trace and via widths

Trace width	Via pad width	Via hole width
6	28	14
8	28	14
10	28	14
12	28	14
15	28	14
20	28	14
25	28	14

Autosave

☐ Enable Interval (minutes)

Имейте в виду, что большинство полей диалога уже заполнено. Эти настройки по умолчанию взяты из файла, названного **default.cfg**, который должен быть расположен в той же самой папке как и приложение **FreePCB.exe**. Если Вы не хотите использовать значения по умолчанию для своего проекта, Вы можете изменить их в диалоге. Если Вы хотели бы изменить значения по умолчанию для всех будущих проектов, можете отредактировать файл **defaults.cfg** любым редактором текста. Формат этого файла описан в разделе 8: **Форматы файлов**.

Каждое поле в диалоге объяснено ниже:

- ♦ **Name:** Это - название проекта, которое не должно содержать пробелов или любые символы, которые недопустимы в имени файла.
- ♦ **Project Folder:** Это - папка, где будет сохранён Ваш файл проекта. Уже заполнен путь заданной по умолчанию родительской папки для новых проектов. Поскольку Вы вводите имя своего проекта в поле **Name**, каждый символ будет автоматически добавлен к пути. Например, если Вы введёте "Motor" в поле **Name**, то поле **Project Folder** станет "..\projects\Motor". Если Вы хотите использовать другую папку проекта, можете отменить значение по умолчанию, введя новый путь непосредственно в поле **Project Folder**.

- **Примечание:** Заданный по умолчанию путь начинается ".. \\", указывая на то, что это - относительный путь. Фактически, это местоположение расположенное относительно приложения **FreePCB.exe**. Если Вы выполнили заданную по умолчанию установку в **C:\FreePCB**, приложение будет в **C:\FreePCB\bin**, и проектные папки будут в **C:\FreePCB\projects**. Если Вы устанавливали FreePCB где-то в другом месте, заданный по умолчанию путь будет все еще работать пока **\bin**, и **\projects** находятся в той же самой папке. В противном случае Вы можете редактировать default.cfg файл. Например, когда я работаю над исходным текстом FreePCB, я выполняю приложение из **E:\allan\SVNwork\FreePCB\Debug**, но я все еще хочу создавать свои проекты в **C:\FreePCB\projects**. Поэтому, в **E:\allan\SVNwork\FreePCB\Debug\default.cfg**, я изменил строку
parent_folder: "..\projects \
на
parent_folder: "C:\FreePCB\projects \"

- ♦ **Library Folder:** Это - путь к папке, которая содержит файлы библиотеки отпечатков для FreePCB. Путь по умолчанию задан относительно папки приложения, но это может быть изменено в диалоге, если необходимо, и значение по умолчанию будет изменено в **default.cfg** так же, как для **Project Folder** (см. примечание выше).
- ♦ **Number of copper layers:** Это - число слоев меди на PCB, между 1 и 8.
- ♦ **Default trace and via widths (mils):** Это значение по умолчанию для ширины дорожки, диаметра площадки переходов и диаметра отверстия переходов. Они могут быть отменены позже для специфических дорожек и соединений.
- ♦ **Menu of trace and via widths:** Это - список ширины дорожек и переходов, который предложен как меню, если вы модифицируете ширину конкретной части дорожки или соединения. Вы не ограничены этими значениями, но удобно иметь их в меню, и это уменьшает шанс ошибки. Вы можете использовать кнопку **Add**, чтобы добавить новые данные в список. Если Вы выбираете элемент, Вы можете использовать кнопку **Delete**, чтобы удалить его или кнопку **Edit**, чтобы изменить.
- ♦ **Autosave:** Разрешение Автосохранения заставляет FreePCB автоматически сохранять проектный файл каждые несколько минут.

Когда Вы удовлетворены своими данными, кликните ОК. Проектная папка будет создана, если она уже не существует (однако, родительская папка должна существовать, или Вы получите сообщение об ошибках). Проектный файл не будет записан в папку, пока Вы не нажмете **Save** в меню **File**. Я обычно немедленно делаю это после того, как создал новый проект.

Между прочим, **Name** проекта используется, чтобы создать названия для проектного файла и заданной по умолчанию проектной папки. После этого FreePCB использует название проектного файла как название проекта. Вы можете переименовать проектный файл, или использовать **Save As** из меню **File**, чтобы сохранить проект под другим названием. Вы можете найти полезным сохранять несколько различных версий Вашего проекта в проектной папке, под различными названиями. Например, Вы можете экспериментировать с некоторыми новыми идеями в проекте, но хотите вернуться назад к более ранней версии, если эксперименты не удадутся.

Как упомянуто выше, Вы можете изменить значения по умолчанию для новых проектов, редактируя **default.cfg** файл в прикладной папке. Формат для этого файла описан в Секции 8: **Форматы файлов**, и у Вас не должно быть никакой проблемы, выясняя, как изменить это (но сохранить копию на всякий случай). Вы можете также редактировать проектный файл, если Вам хочется. Это - более сложный файл, с секциями, описывающими проектные опции, футпринты, корпуса, соединения, текстовые строки, и т.д. Секция опций очень похожа на **default.cfg** файл. Вы скорее всего не захотите возиться слишком много с другими секциями.

Project Options

Name:

Project Folder:

Library folder: ...

Number of copper layers:

Default trace and via widths (mils)

trace: via pad: via hole:

Menu of trace and via widths

Trace width	Via pad width	Via hole width
6	24	15
8	24	15
10	24	15
12	24	15
15	30	18
20	30	18
25	40	20

Add Edit Delete

Autosave

☐ Enable Interval (minutes):

OK Cancel

Как только проект создан, он может быть закрыт, сохранен и открыт с использованием обычных выборов из меню **File**.

После того, как проект был создан, проектные опции можно отредактировать, выбирая **Options...** в меню **Project**. Это возвратит диалог **Project Options**. Вы можете произвести изменения в любом из позволенных полей, и сохранить их, нажав **OK**.

5.9 Элементы PCB

5.9.1 Отдельные элементы

Представление PCB в окне размещения состоит из различных элементов, которые перечислены в этой части.

Отметьте, что большинство из них может быть выбрано, путём нажатия на них. Как только элемент был выбран, с ним могут быть выполнены операции, через нажатие функциональной клавиши или кликнув правой кнопкой мыши и сделав выбор из контекстного меню. Если операция вовлекает перемещение элемента, функциональные клавиши могут иногда использоваться, чтобы выполнить дополнительные операции, пока происходит перемещение.

Элементы PCB перечислены ниже, наряду с их связанными операциями функциональной клавиши.

- **Origin:** Это - символ, который идентифицирует начало системы координат PCB (то есть пункт, где $X = 0$ и $Y = 0$). Это похоже на перекрестие с маленьким кружком в его центре. Он всегда видим, и не может быть выбран. Но может быть перемещён с использованием [Tools > Move origin](#).
- **Visible grid:** Точки в регулярно распределённом массиве, используемые для визуальной привязки. Интервал точек устанавливается при помощи выпадающих меню в панели задач.
- **Board outline:** Это - замкнутая ломаная линия, состоя из ряда точек (углы), со линиями между ними. Стороны могут быть прямыми линиями или дугами. Углы и стороны являются выбираемыми, и могут быть отредактированы следующим образом:
 - **Corner:**
 - F1 (Set Position) - появляется диалог, который позволяет Вам явно редактировать координаты X и Y.
 - F4 (Move Corner) – начинает перетаскивание угла курсором.
 - F5 (Delete Corner) - удаляет угол.
 - F8 (Delete Outline) - удаляет контурную линию платы.
 - **Side:**
 - F1 (Straight Line) - делает сторону прямой линией.
 - F2 (Arc CW) - делает сторону дугой, рисуя её по часовой стрелке.
 - F3 (Arc CCW) - делает сторону дугой, рисуя её против часовой стрелки.
 - F4 (Add Corner) - вставляет угол в сторону, и начинает его перетаскивание.
 - F8 (Delete Outline) - удаляет контурную линию.

- **Part footprint (футпринт корпуса):** Это - составной символ, состоящий из ряда медных контактных площадок, границы корпуса, текстовой строки для позиционного обозначения корпуса, и возможно других текстовых строк. Весь футприн, одиночная контактная площадка или позиционное обозначение могут быть выбраны для редактирования.
 - **Entire footprint (весь футпринт):**
 - F1 (Edit Part) - появляется диалог, позволяющий редактировать свойства корпуса.
 - F2 (Edit Footprint) - переключает на окно Footprint Editor, с футпринтом корпуса уже импортированным для редактирования.
 - F3 (Glue/Unglue Part) - "Склеенный" корпус нельзя переместить, не "расклеивая" его.
 - F4 (Move Part) - запускают перетаскивание футпринта, чтобы переместить его.
 - Пока перетаскивается:
 - F2 – перебрасывает корпус с одной стороны платы на другой.
 - F3 - вращает корпус на 90° по часовой стрелке.
 - F8 (Delete Part) - удаляют корпус с PCB и списка корпусов.
 - F9 (Recalc. Ratlines) - переназначает ratlines для всех соединений, которые соединены с корпусом, для минимизации их длины.
 - **Pad:**
 - F1(Set net) - появляется диалог, чтобы назначить контактную площадку соединению.
 - F3 (Start Stub) - запускает перетаскивать нового обрубка дорожки.
 - F4 (Connect Pin) – начать перетаскивать ratline к другой контактной площадке.
 - F9 (Recalc. Ratlines) - переназначает ratlines для соединения, которое подключено к этой контактной площадке для минимизации длины.
 - **Reference designator text (текст позиционного обозначения):**
 - F1 (Set Size) - появляется диалог, который позволяет Вам изменить размер и направление текстовой строки.
 - F4 (Move Ref Text) - запускает перетаскивание текстовой строки, чтобы переместить её.
 - Пока перетаскивается:
 - F3 (Rotate Ref Text) - вращает текстовую строку на 90° по часовой стрелке.

- **Trace (дорожка):** Это - ломаная линия, представляющая соединение между двумя контактными площадками. Она состоит из одного или больше прямолинейных сегментов с изломами между сегментами. Сегменты могут быть разведёнными (то есть физически существующими на медном уровне) или неразведёнными. Неразведённые сегменты называют ratlines.
 - **Ratline:** Это - линия, представляющая собой неразведённый сегмент дорожки.
 - F1 (Set Width) - высказывает диалог, который позволяет Вам устанавливать ширину дорожки и перехода для сегмента, дорожки или соединения.
 - F3 (Lock/Unlock Connect) — создание блокированной ratline, которая не может быть уничтожена операцией "Recalc.Ratlines".
 - F4 (Route Segment) - начинает перетаскивать конечную точку разводимого сегмента, чтобы заменить ratline.
 - Пока перетаскивается:
 - F4 (Законченный Сегмент) - расширяет направленный сегмент, на который перетаскивают конечная точка ratline.
 - F5 (Change Pin) - изменяет вывод, к которому подключена ratline.
 - F6 (Unroute trace) – Отменить разводку любых разведённых сегментов в дорожке.
 - F8 (Delete Connect) – удалить подключение (от стартового до конечного вывода) из соединения.
 - F9 (Recalc.Ratlines) - переназначают ratlines для соединения, для минимизации длины.
 - **Segment:** Это - строка, представляющая разведённый сегмент дорожки.
 - F1 (Set Width) - появляется диалог, который позволяет Вам устанавливать ширину дорожки или соединения.
 - F2 (Change Layer) - изменяет слой сегмента.
 - F4 (Add Vertex) - вставляет излом в сегмент и запускает его перемещение.
 - F5 (Unroute Segment) – отменить разводку сегмента, преобразовав его в ratline.
 - F6 (Unroute Trace) – отменить разводку дорожки, преобразовав её в ratline.
 - F8 (Delete Connect) - удаляет подключение (от начальной до конечной точки) от соединения.
 - F9 (Recalc. Ratlines) - переназначает ratlines для сети, чтобы минимизировать их длину.
 - **Vertex(Излом):** Это есть точка соединения двух сегментов, или сегмента и ratline. Если оба сегмента разведены на различных слоях, то в изломе будет переходное отверстие.
 - F1 (Set Width) - появляется диалог, который позволяет Вам явно редактировать координаты X и Y.
 - F3 (Connect Pin) - запускает перетаскивание ratline, чтобы подключить излом к выводу для дорожки ответвления.
 - F4 (Move Vertex) – начинает перетаскивание излома, чтобы переместить её.
 - F6 (Unroute Trace) – Отменить разводку дорожки.
 - F7 (Delete Vertex) – удалить излом, отменить разводку смежных сегментов.
 - F8 (Delete Connect) - удалить подключение (от первого до последнего вывода).
 - F9 (Recalc. Ratlines) - переназначить ratlines для соединения, чтобы минимизировать их длину.
- **Branch Trace:** Ответвление является дорожкой между изломом дорожки и выводом. Функции для ratlines, сегментов и изломов те же самые, как для обычной дорожки.

- **Stub Trace:** Обрубленная трасса начинается на контактной площадке, но не заканчивается на контактной площадке. Она обычно заканчивается переходом, который используется, чтобы подключить трассу с полигоном на другом слое. Она может содержать ratlines, сегменты и изломы как обычная дорожка, но последний сегмент и последний излом обрабатываются особенно.
 - **End Segment:** Последний разведённый сегмент.
 - F1 (Set Width) - вызывает диалог, который позволяет Вам устанавливать изменение ширины дорожки и перехода дорожки или соединения.
 - F2 (Change Layer) – изменяет слой сегмента.
 - F4 (Add Vertex) - вставляет излом в сегмент и запускает его перетаскивание.
 - F5 (Unroute Segment) – отменить разводку сегмента, преобразовав его в ratline.
 - F6 (Unroute Trace) – отменить разводку дорожки, преобразовав её в ratline.
 - F7 (Delete Segment) – удалить сегмент.
 - F8 (Delete Connect) – удалить обрубленную трассу целиком.
 - F9 (Recalc. Ratlines) - переназначить ratlines для соединения, чтобы минимизировать их длину.
 - **End Vertex:** Последний излом (то есть оконечная точка обрубленной дорожки).
 - F1 (Set Position) - вызывает диалог, который позволяет Вам явно редактировать координаты излома X и Y.
 - F2 (Add Segment) – запустить перетаскивание нового сегмента, чтобы расширить обрубленную дорожку.
 - F3 (Add/Delete Via) – добавить или удалить переход в конце обрубленной дорожки.
 - F4 (Move Vertex) – начать перемещение конечного излома.
 - F5 (Add/Delete Via) - добавить/удалить переход.
 - F7 (Delete Vertex) - удалить излом.
 - F8 (Delete Connerct) – удалить целиком обрубленную дорожку.
 - F9 (Recalc. Ratlines) - переназначить ratlines для соединения, чтобы минимизировать их длину.
- **Copper Area:** Это замкнутая ломаная линия, которая определяет область сплошной или перфорированной меди на одном из медных слоёв. Используется для создания земли, охлаждения и т.д. Эта линия состоит из ряда углов со сторонами между углами. Область заполняется диагональной штриховкой. Обратите, что этот шаблон штриховки предназначен только для визуальной идентификации области и не представляет фактический медный шаблон, который будет применен к РСВ. Область также может содержать вырезы (cutouts), которые являются "отверстиями" в полигоне. Вырезы редактируются так же как полигоны.
 - **Corner:**
 - F1 (Set Position) - вызывает диалог, чтобы установить угловую позицию явно.
 - F4 (Move Corner) - запускает перетаскивание угла, чтобы переместить его.
 - F5 (Delete Corner) - удаляет угол.
 - F7 (Add Cutout) - запускает прорисовку выреза в полигоне.
 - F8 (Delete Area) - удаляет всю область.
 - **Side:**
 - F1 (Straight line) - если сторона есть дуга, преобразовать в прямую линию.
 - F2 (Arc (CW)) - преобразовать сторону в дугу, образуемую по часовой стрелке.
 - F3 (Arc (CCW)) - преобразовать сторону в дугу, образуемую против часовой стрелки.
 - F4 (Add Corner) - добавить новый угол и запустить его перетаскивание.
 - F7 (Add Cutout) - запускает прорисовку выреза в полигоне.
 - F8 (Delete Area) - удалить весь полигон.

- **Text String:** Это - строка алфавитно-цифровых символов, используемых для того, чтобы добавлять пометки, объявления об авторском праве и т.д. Строка может быть помещена на шелкографии или медном слое.
 - F1 (Edit Text) - появляется диалог, чтобы редактировать строку и ее свойства, такие как размер и ширина штриха.
 - F4 (Move Text) - запускает перетаскивание строки, чтобы переместить её.
 - F8 (Delete Text) - удалить всю строку.
- **Solder Mask Cutout:** Это - замкнутая ломаная линия, которая определяет вырез в слое маски припоя.
 - **Corner:**
 - F1 (Set Position) - появляется диалог, позволяющий явно установить позицию угла.
 - F4 (Move Corner) - запускает перетаскивание угла, чтобы переместить его.
 - F5 (Delete Corner) - удаляет угол.
 - F8 (Delete Area) - удалить вырез полностью.
 - **Side:**
 - F1 (Straight Line) - делает сторону прямой линией.
 - F2 (Arc CW) - делает сторону дугой формированной по часовой стрелке.
 - F3 (Arc CCW) - делает сторону дугой формированной против часовой стрелки.
 - F4 (Add Corner) - добавляет новый угол и запускает его перетаскивание.
 - F8 (Delete Area) – удалить вырез полностью.

5.9.2 Группы элементов

Группы элементов могут быть выбраны рисованием прямоугольника вокруг них с помощью мышки. Все элементы в группе будут подсвечены. Отдельные элементы могут быть добавлены в группу или удалены из неё путём нажатия на них с удержанной клавишей CTRL. Операции, которые могут быть выполнены на группах:

- F4 (Move Group) – начинает перемещение группы
- F8 (Delete Group) - удаляет группу из проекта
- ctrl-C – копирует группу в буфер обмена
- ctrl-X – копирует группу в буфер обмена и удаляет её из проекта

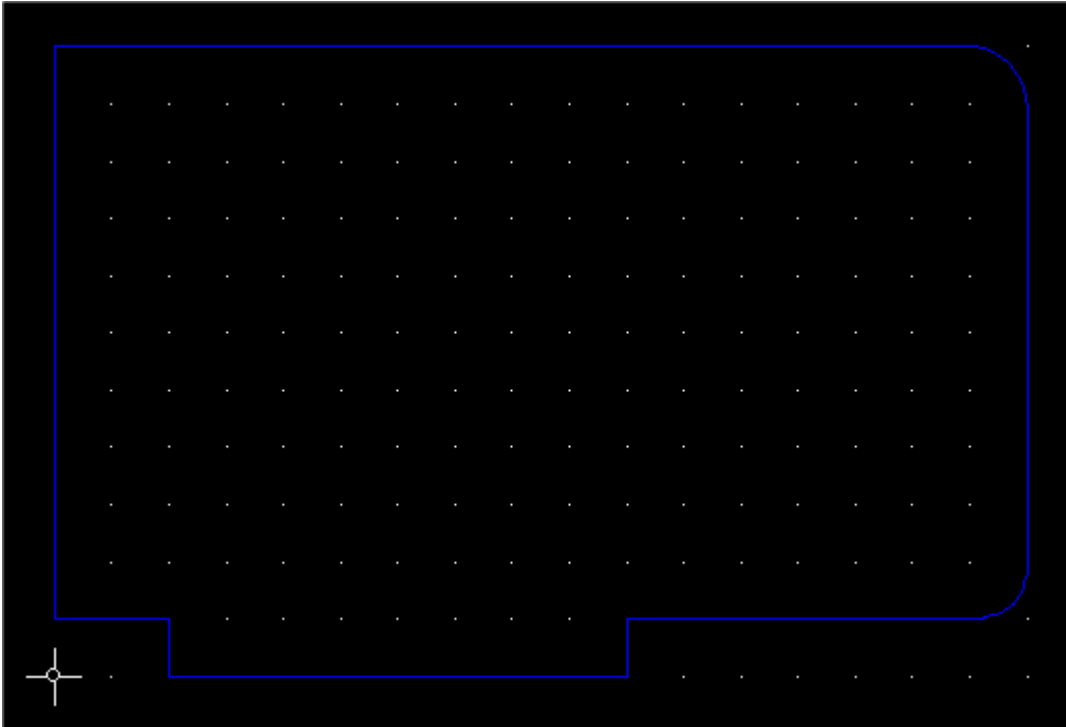
5.9.3 Перемещение элементов или групп клавишами курсора

Когда элемент или группа выбраны, Вы можете переместить их мышкой, выбирая операцию перемещения функциональными клавишами или меню контекста. Большинство элементов и групп могут также быть перемещены, нажатием клавиш курсора на клавиатуре. Нажатие клавиши курсора переместит элемент или группу на расстояние, равное текущему шагу размещения или трассировки, в зависимости от выбранного элемента. Меньшие движения могут быть сделаны, путем удерживания клавиши SHIFT и нажатия клавиши курсора, что переместит элемент на 1 mil или 0.01 MMS, в зависимости от используемых модулей.

5.10 Контур платы (Board Outline)

Контур платы представляет границу PCB. В FreePCB контур состоит из замкнутой ломаной линии (**closed polyline**) (или полигона **polygon**) состоящей из 3 или более сторон, с углами между сторонами. Стороны могут быть сегментами прямой линии или дугами **arcs**. Дуга - один квадрант эллипса, главная ось которого параллельна или x или y. Преимущество использования этого ограниченного определения дуги состоит в том, что дуга полностью определена позицией ее конечных точек и направлением, которое может быть по часовой стрелке или против часовой стрелки. Типовой вид платы, состоящей из 10 углов и 10 сторон, показан ниже. Заметьте, что две из сторон - дуги.

В проекте может быть больше одного контура платы.

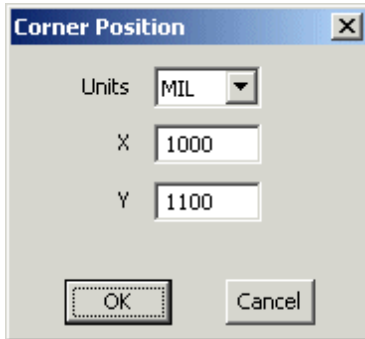


Контур платы можно создать выбрав [Add > Board Outline](#). После этого курсор превратится в перекрестие. Поместите стартовый угол левым кликом мышки. Затем Вы обнаружите "резиновую" линию, которая тянется за курсором. Повторным левым кликом мышки отметьте второй угол, и создавайте вторую сторону методом "резиновой" линии. Продолжайте, пока не отметите последний угол, а затем щелкните правой кнопкой мыши, чтобы замкнуть ломаную линию, отодвигая сторону к стартовому углу.

Рисуя Вы можете изменить **стиль (style)** текущей стороны от прямой линии до дуги при использовании соответствующих функциональных клавиш (F1 для прямой линии, F2 для дуги по часовой стрелке и F3 для дуги против часовой стрелки). Стиль, который Вы выбираете, останется в силе, пока Вы не измените его. Отметьте, что дуги становятся прямыми линиями, если конечные точки являются вертикальными или горизонтальными. Размещение углов будет управляться сеткой размещения, которая должна быть установлена в соответствующее значение прежде, чем начать рисовать контур платы. Размещение будет также управляться углом излома. Если угол излома будет 45°, то дуги будут квадрантами круга.

Как только контур платы будет создан, Вы сможете редактировать его следующими способами:

- Вы можете снова установить угол, кликнув по нему, чтобы выбрать новое значение. Маленький белый квадрат появится вокруг угла, указывая, что он был выбран, и строка состояния, укажет, какой угол был выбран. Тогда нажмите F4 ("Move Corner (Перемещение Угла)"), чтобы запустить перетаскивание угла к новой позиции.



Или нажмите F1 ("Set Position (Установка позиции)"), чтобы появился диалог, который позволит Вам устанавливать позицию угла явно, как показано ниже:

- Вы можете добавить угол, нажимая на сторону, чтобы выбрать её. Сторона побелеет, указывая что была выбрана. Тогда нажмите F4 ("Add Corner (Добавить Угол)") добавьте новый угол, с "резиновыми" сторонами к смежным углам. Левым кликом, разместите его. Это работает только с прямыми сторонами, а не с дугами. Поэтому дугу сначала нужно преобразовать в прямую линию (см. ниже).
- Вы можете удалить угол, выбрав его и нажав F5 ("Delete Corner (Удалить Угол)"). Угол исчезнет, и смежные стороны будут заменены одной стороной между смежными углами.
- Вы можете изменить стиль стороны, выбрав её и затем нажав F1 (Straight Line (Прямая линия)), F2 ("Arc CW (Дуга по часовой стрелке)") или F3 ("Arc CCW (дуга против часовой стрелки)").
- Вся контурная линия платы может быть удалена, выбором любой стороны или угла, и нажатием F8 ("Delete Outline (Удалить контур)").

5.11 Корпуса

5.11.1 Анатомия корпусов

Каждая РСВ включает один или более корпусов. Каждый корпус содержит следующие элементы:

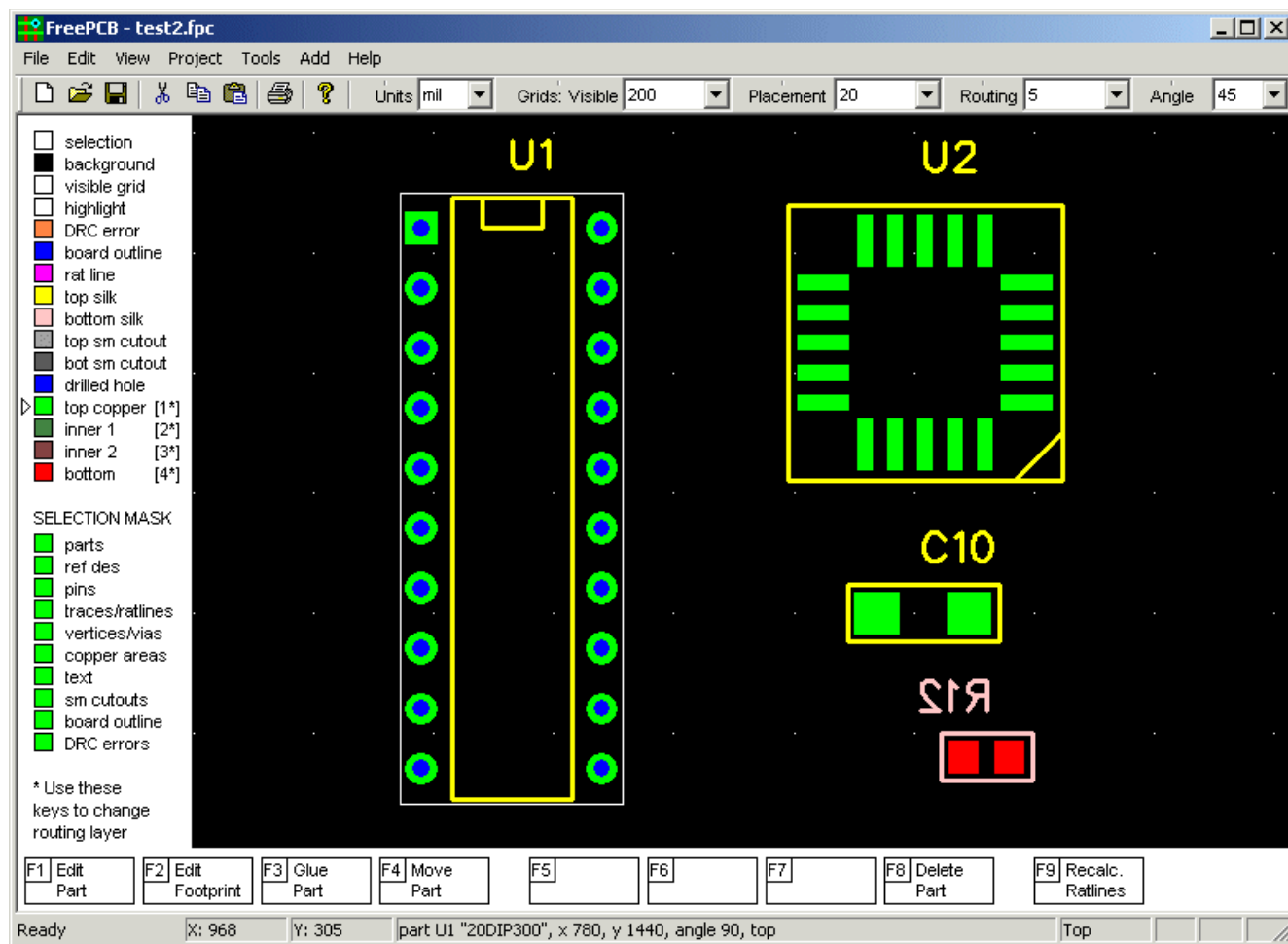
- **Reference designator** (позиционное обозначение), такое как "U1" - которое обычно назначается в схеме и должно быть уникальными.
- **Package identifier** (идентификатор упаковки), такой как "DIP14" – корпуса имеют различные физические упаковки и проектировщик РСВ должен знать, какая упаковка будет использоваться для каждой корпуса, потому что это определит футпринт **footprint** корпуса в РСВ.
- **Pins** (выводы) - электрические выводы корпуса. Выводы идентифицируются названием (обычно является числом), которое приложено к позиционному обозначению, такое как "U1.4" для четвертого вывода в корпусе U1. Путь наименования выводов будет зависеть от корпуса. Все выводы должны иметь уникальные названия даже в случае их взаимозаменяемости, как у резистора, например.
- **Mounting holes** – Монтажные отверстия могут использоваться для крепления корпуса к РСВ. Крепление, такое как винт может требовать отверстия или корпус может иметь встроенные крепления, такие как PressFIT (прессованная посадка) или паянные наконечники. Монтажные отверстия могут быть изолированными, или могут иметь контактную площадку и быть покрыты металлом. Зачастую используются монтажные отверстия покрытый металлом, что позволяет сделать подключение электрической цепи, такой как заземление экрана соединителя, к корпусу. Поэтому, FreePCB обрабатывает все установочные отверстия как выводы. Для названия монтажных выводов обычно используют числа, которые выше чем числа, используемые для обычных выводов. Например, 9-ти выводной соединитель D-SUB с 2 монтажными отверстиями имел бы монтажные вывода под номером 10 и 11.
- **Footprint** - Это шаблон медных контактных площадок и других элементов, которые станут частью РСВ размещения.

Фактически, когда мы используем термин "корпус" во время схемы компоновки РСВ, мы обычно подразумеваем отпечаток корпуса - футпринт, потому что это - то, с чем мы работаем в схеме компоновки. Фактический корпус — это электронный компонент, который будет припаян к футпринту, когда РСВ будет транслирована.

Футпринты имеют следующие элементы:

- , **Pads (контактные площадки)** - Это медные элементы, к которым подпаиваются выводы. Существует два типа:
 - Контактные площадки с отверстием (**Through-hole pads**) имеют отверстия, через которые проходят ножки штыревых компонентов перед пайкой. Для контактной площадки с отверстием на многослойной плате обычно имеются площадки на каждом медном слое, которые, соединённые вместе, образуют сплошную металлизацию отверстия. Такое расположение называют стеклом контактных площадок (**padstack**). Контактные площадки с отверстием обычно бывают круглыми или квадратными. Квадратная контактная площадка обычно используется для 1-го вывода, а круглые площадки для остальных.
 - Площадки для поверхностного монтажа (**Surface-mount pads**) не имеют отверстия, и находятся только на одном уровне. Однако, они все еще представлены стеклом контактных площадок, хотя это довольно простой стек, только с одной площадкой. Площадки SMT почти всегда являются прямоугольными.
- , **Контур корпуса (part outline)** - Это графическое представление корпуса на слое шелкографии.
- , **Позиционное обозначение (reference text)** - Это текстовая строка для позиционного обозначения на слое шелкографии.
- , **Другой текст (other text)** - Текстовые строки, такие как номера выводов, и т.д. Может быть добавлен к слою шелкографии.
- , **Прямоугольник выбора (selection rectangle)** - невидим, пока корпус не выбран и показан в цветном слое выбора (обычно белый), когда корпус выбран. Это определяет границу корпуса в целях выбора.
- , **Начало координат (origin)**- Это невидимая точка, которая служит началом координат для внутренней системы координат футпринта. Когда футпринт будет создан, позиция каждого элемента будет определена относительно начала координат. Когда футпринт перетаскивается во время редактирования, он будет "прикреплен (attached)" к курсору в начале координат. Когда позиция корпуса отображена в строке состояния или в диалогах, это - фактически позиция начала координат. Центр вывода 1 часто используется как начало координат.

Некоторые типичные футпринты показаны ниже.

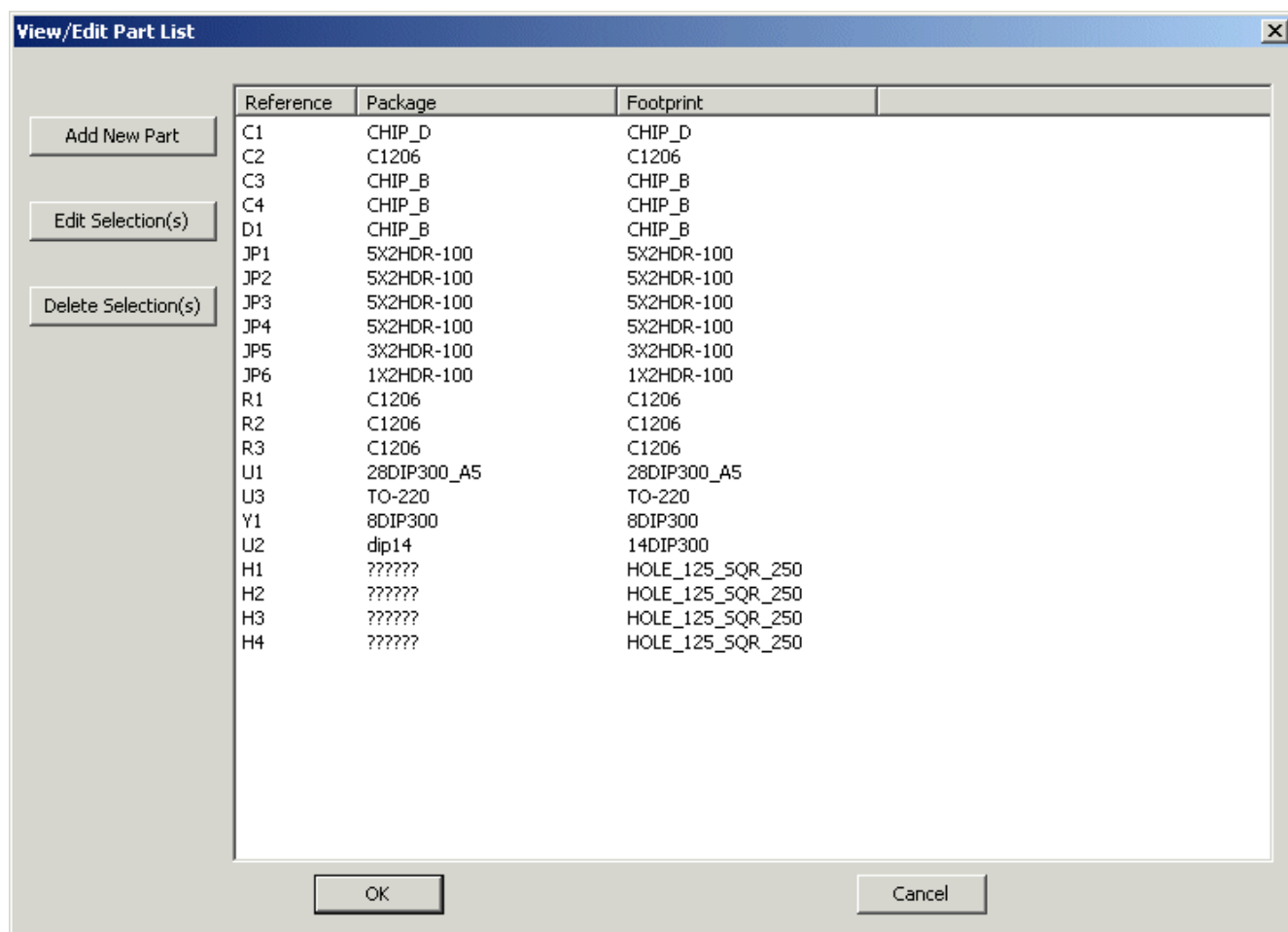


На копии экрана выше, U1 является IC в 20-ти выводной DIP упаковке, имеющей контактные площадки с отверстиями. Корпус (или компонент) размещён с верхней стороны платы и, таким образом, элементы шелкографии футпринта находятся в верхнем слое шелкографии. Корпус был выбран для редактирования, таким образом этот выбранный прямоугольник видим. Так как верхний медный слой является активным слоем разводки, его верхние площадки показаны в цвете верхнего медного слоя.

U2 является IC в 20-ти выводном корпусе PLCC для поверхностного монтажа и также расположена на верхней стороне платы. Контактные площадки показаны в цвете для верхнего медного слоя. C10 является SMD конденсатором в миниатюрной упаковке. R12 является SMD резистором в отличной миниатюрной упаковке, на нижней (сторона паяк) стороне PCB. Его контактные площадки показаны в цвете нижнего медного слоя, и его элементы шелкографии находятся на нижнем слое шелкографии. Кроме того, его позиционное обозначение отображается зеркально, так, чтобы его можно было прочесть с нижней стороны платы.

5.11.2 Список корпусов (Partlist)

В FreePCB, все корпуса в проекте содержатся в структуре данных, названной **partlist**, который пуст, когда проект начинает создаваться. Обычно, корпуса добавляются к partlist в процессе импорта списка соединений (**netlist file**) из редактора схемы. Это будет рассмотрено в [Разделе 5.14: Импорт Файлов Списка соединений](#). Вы можете смотреть или редактировать partlist, пункт выбрав [Parts...](#) из меню [Project](#), который вызывает диалог [View/Edit Part List](#), как показано ниже.



Для каждого корпуса в проекте указано позиционное обозначение, упаковка и футпринт. Отдельные корпуса можно выбрать из списка, кликая по ним, или несколько корпусов можно выбрать, кликая по ним, удерживая клавишу CTRL. Partlist можно редактировать, используя кнопки [Add New Part](#), [Edit Selection](#) и [Delete Selection\(s\)](#). Они будут описаны в следующих разделах.

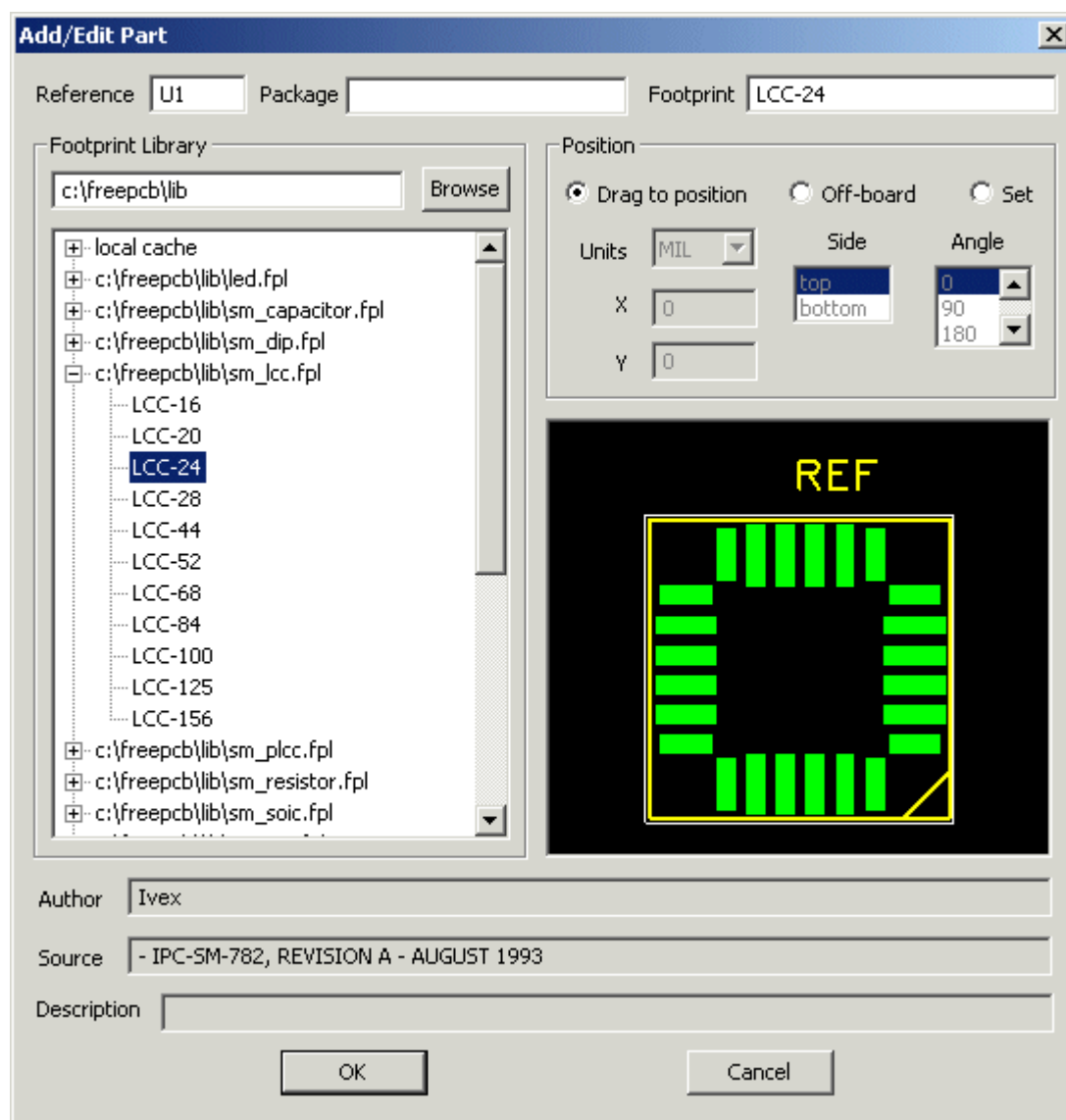
Важное примечание: Вы должны быть внимательными, изменяя partlist, по двум причинам.

- Если Вы работаете из схемы, редактирование partlist может ввести несоответствия между схемой и PCB. Это не должно быть проблемой, если Вы только назначаете футпринты, но может внести большую путаницу, если Вы будете добавлять и удалять корпуса, или изменять позиционные обозначения. Если Вы действительно производите какие-нибудь подобные изменения, Вы должны отразить их обратно в схему (**back-annotate**).
- Как только Вы нажимаете **OK** в диалоге [View/Edit Part List](#), изменения, которые Вы производили, не могут быть уничтожены функцией [Undo](#) от меню [Edit](#). Поэтому, желательно сохранить копию своего проекта заранее.

5.11.3 Редактирование корпусов (Editing Parts)

Корпуса могут быть добавлены, удалены или изменены при помощи диалога [View/Edit Part List](#) (показано выше) или окна размещения, используя методы, описанные ниже.

Новые корпуса могут быть добавлены к partlist, используя или выбор [Part](#) из меню [Add](#), или кнопку [Add New Part](#) в диалоге [View/Edit Part List](#). Любой метод вызывает [Add/Edit Part](#) диалог, показанный ниже



- Новый корпус создаётся путем ввода позиционного обозначения в поле [Reference](#) и выбором футпринта из древовидного списка, занимающего левую сторону диалога. Это дерево содержит список всех файлов в выбранной библиотечной папке. Вы можете изменить библиотечные папки, используя кнопку [Browse...](#) Есть также вход для "локального кэша (local cache)", который содержит все отпечатки, которые уже загружены в проект. Вы можете развернуть библиотеку, нажимая символ "+", расположенный рядом с её названием. В примере выше, развернута библиотека **C:\FreePCB\lib\sm_plcc.fpl**. Футпринт "LCC-24" выбран и показан в области окна предварительного просмотра. Его имя автоматически введено в поле [Footprint](#) диалога. В качестве альтернативы, Вы можете только ввести название футпринта непосредственно в это поле.
- Если радиокнопка в области [Position](#) установлена на канал [Drag to position](#), Вы сможете вручную позиционировать новый корпус, после того, как нажмете ОК. Если Вам необходимо позиционировать компонент явно, установите радиокнопку на канал [Set](#) и поля [X](#), [Y](#), [Angle](#) и [Side](#) в области [Position](#). Тогда, после нажатия ОК, новый корпус будет помещен в позицию, которую Вы предварительно установили. Если Вы выберете [Offboard](#), то корпус будет помещен слева от начала координат (origin).

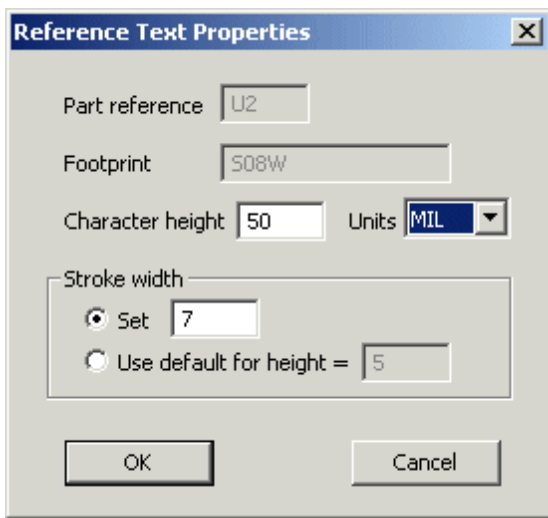
Корпуса могут быть удалены или отредактированы из окна размещения, выбирая их, и используя функциональную клавишу или контекстное меню. С выбранным корпусом доступны следующие пункты меню:

- **F1 ("Edit Part")** - вызывает диалог [Add/Edit Part](#), который показан ранее, за исключением того, что поля [Reference](#) и [Footprint](#) в нём уже заполнены. Вы можете использовать этот диалог, чтобы изменить футпринт или позицию корпуса.
- **F3 ("Glue Part")** - "приклеивает (glues)" корпус на месте так, чтобы он не мог быть случайно перемещенным. Для корпуса, которая уже приклеен, эта команда изменяется так, чтобы "Отклеить корпус (Unglue Part)".
- **F4 ("Move Part")** – это обычно используемая команда. Она инициализирует перемещение корпуса с курсором. Затем левым кликом можно закрепить корпус в новой позиции. Во время перемещения следующие функциональные клавиши являются активными:
 - **F2 ("Change Side")** – переключает компонент из верхней стороны в нижнюю, или наоборот
 - **F3 ("Rotate Part")** - выполняет 90° вращение корпуса по часовой стрелке
- **F8 ("Delete part")** - удаляет корпус из partlist. Предварительно Вас спросят, желаете ли Вы также удалить все ссылки на корпус из списка соединений. Выберите вариант "Да", если Вы не собираетесь вернуть эти корпуса обратно в более позднее время.
- **F9 ("Recalc. Ratlines")** - повторно вычисляет ratlines для всех соединений, подключенных с корпусом, чтобы минимизировать их длину. По умолчанию, эта команда выполняется автоматически каждый раз, когда корпус перемещен.

Корпуса также могут быть удалены или отредактированы с помощью диалога [View/Edit Part List](#), следующим образом.

- Вы можете удалить один или более корпусов из списка, кликая по ним (для множественного выбора нужно удерживать в нажатом состоянии клавишу CTRL), а затем нажав кнопку [Delete Selection\(s\)](#). Ссылки на корпус(а) не будут удалены из списка соединений.
- Единственный корпус может быть отредактирован, используя кнопку [Edit Selection](#), которая вызывает диалог [Add/Edit Part](#), показанный ранее. Главная причина для использования диалога [View/Edit Part List](#) состоит в том, чтобы сразу редактировать корпус и назначить ему отсутствующий футпринт, вместо того, чтобы выбирать его в окне размещения и использовать меню функциональных клавиш. Корпус без футпринта не может быть отображен и, соответственно, не может быть выбран в окне размещения. Эта ситуация часто возникает, при импортировании файлы списка соединений, как говорилось в Разделе 5.14: **Импортирование Файлов Списка соединений**.

5.11.4 Перемещение или изменение размеров позиционного обозначения



Позиционное обозначение для корпуса можно переместить, выбрав его и нажав F4 ("Move Ref Tex"). Затем Вы можете перетащить его к новой позиции. Во время перемещения позиционное обозначение можно вращать на 90° по часовой стрелке, нажимая F3 ("Rotate Ref Text").

Вы можете изменить размер текстовой строки, выбрав её и нажав F1 ("Set Size"). Это вызывает диалог, показанный ниже. Вы можете изменить высоту и штриховую ширину символа. Если Вы выберете [Use default for height](#), то штриховая ширина будет автоматически установлена в 1/10 высоты.

5.11.5 Создание невидимого позиционного обозначения

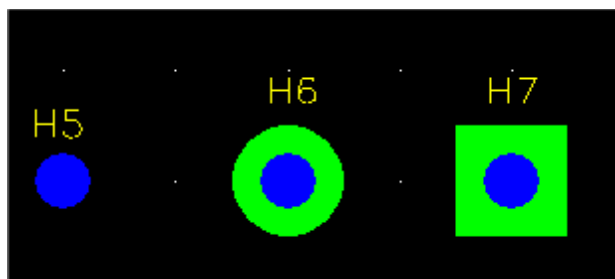
Если Вы устанавливаете символьную высоту позиционного текста к "0", позиционное обозначение станет невидимым. Чтобы сделать его снова видимым, выберите корпус и щелкните правой кнопкой мыши, затем выберите [Set Ref. Text Size](#) из меню контекста, которое появится. Затем установите символьную высоту в ненулевое значение.

5.12 Монтажные отверстия

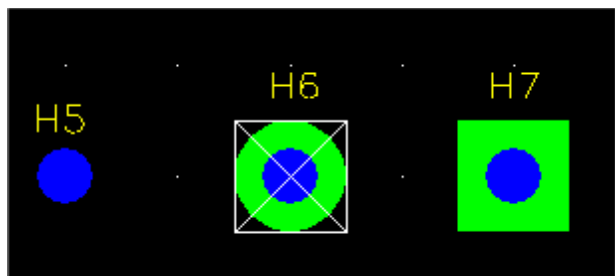
Монтажные отверстия используются, чтобы прикрепить РСВ к внешней структуре, такой как скобка или корпус. В FreePCB монтажное отверстие есть корпус, который состоит из единственного выводного отверстия. Padstack для вывода ножки может включать площадки, которые можно использовать для подключения монтажного отверстия к соединению, точно так же как любой другой штыревой вывод. Фактическое отверстие в padstack будет показано в цвете для слоя сверловки. Если у монтажного отверстия есть площадки, то они будут показаны в цвете для их медного слоя.

Так как монтажное отверстие является корпусом, оно может быть добавлено в partlist как любой другой корпус. Оно может быть включено в файл списка соединений, или его можно добавить, используя пункты меню [Add > Part](#) или [Project > Parts...](#). Некоторые монтажные отверстия различных размеров включены в библиотечный файл **th_mounting_hole.fpl**.

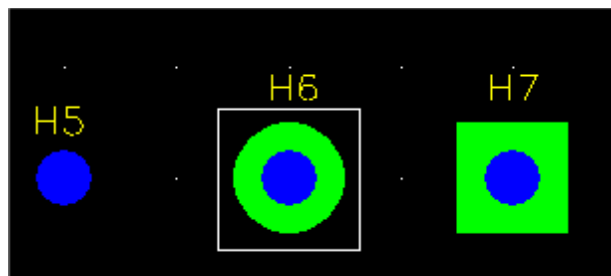
Примеры монтажных отверстий показаны ниже. H5 не имеет контактной площадки, в то время как у H6 есть круглая площадка, а у H7 квадратная площадка.



Используя мышь для выбора монтажного отверстия, Вы можете выбрать или корпус или вывод (контактную площадку). Если Вы хотите переместить отверстие, то выбирайте корпус. Если хотите добавить подключение к соединению, то выбирайте вывод. Прямоугольники выбора для корпуса и вывода - почти одинакового размера. Так как у вывода есть приоритет, то первым будет выбран он. Чтобы выбрать корпус, вы должны щёлкнуть ещё раз. Что именно выбрано в данный момент можно определить по внешнему виду прямоугольника выбора и содержимому строки состояния. Ниже, на левом изображении показана выбранная контактная площадка вывода H6. На правом изображении показан выбранный корпус для H6, после повторного щелчка.



Выбрана площадка



Выбран корпус

Выбор позиционного обозначения для монтажного отверстия может оказаться трудным, если оно наложится на площадку или отверстие для вывода. В этом случае нажатие мышки будет выбирать либо вывод, либо корпус. Чтобы обойти это, можно при помощи маски выбора отключить выбор корпусов и/или вывода.

Так как в позиционном обозначении монтажного отверстия нет большой необходимости, Вы можете сделать его невидимыми, выбирая его и используя F1 ("Set Size"), чтобы обнулить высоту символов. Вы можете также установить высоту символа, выбирая корпус и используя пункт [Set Ref. Text Size](#) из меню правой кнопки мыши. Это же меню позволит Вам сделать позиционное обозначение видимым, если Вы того захотите.

5.13 Соединения, Ratlines и Разводка

5.13.1 Соединения

Соединение устанавливает ножки, которые будут соединены вместе на PCB. У каждого соединения должно быть уникальное имя. Это имя может быть описательным (таким как "GND" или "video_in") или просто отличительным (таким как "N06744"). В FreePCB название соединения ограничено по длине 40-ка символами, и может содержать специальные символы. Каждый вывод в соединении идентифицирован строкой, состоящей из позиционного обозначения корпуса, содержащего вывод, символа "." и имени вывода.

Соединения обычно читаются из файла списка соединений, который также включает список корпусов проекта (см. **Раздел 5.14: Импортирование Файлов Списка соединений**). Два примера связей показаны ниже.

Name: N00834

Pins: U2.4 JP1.9

Name: GND

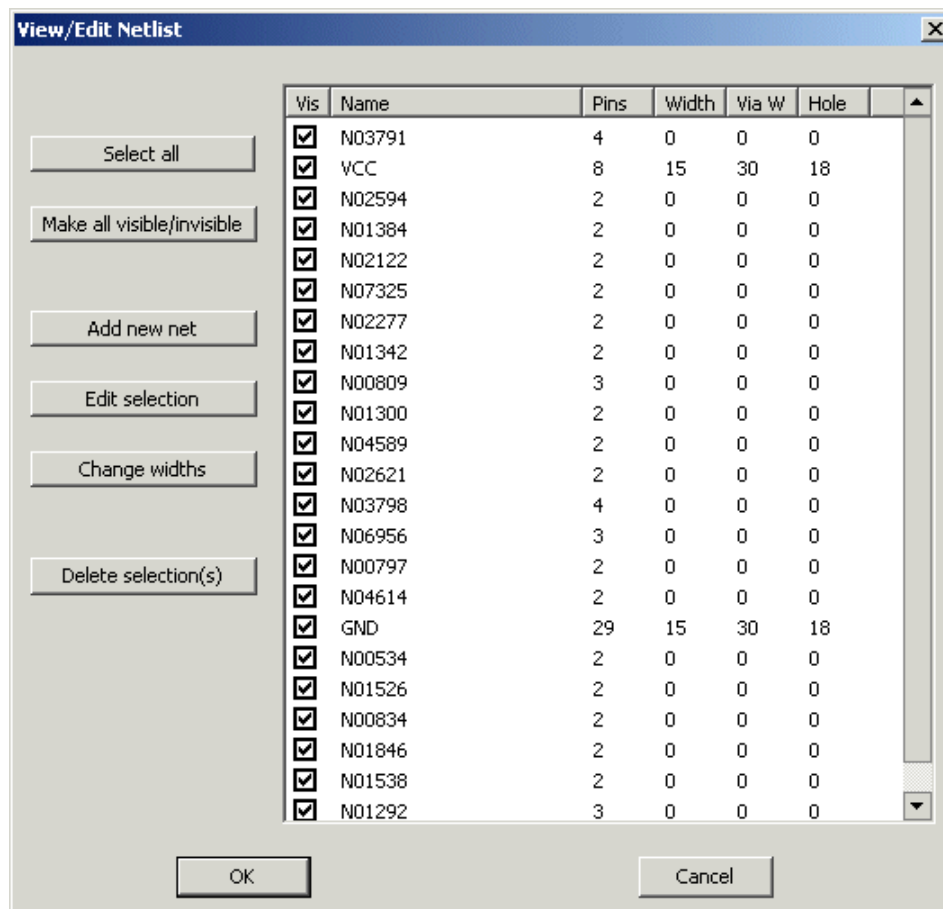
Pins: U2.7 C2.2 U3.3 C1.2 U1.19 Y1.4 JP5.3 JP4.10

JP4.4 R2.2 C4.2 JP1.10 JP1.5 R1.2 C3.2 U1.8

JP6.2 JP3.3 JP2.3 JP3.10 JP3.4 JP3.6 JP3.8 JP2.10

JP2.8 JP2.2 JP2.4 JP2.6 JP3.2

5.13.2 Список соединений



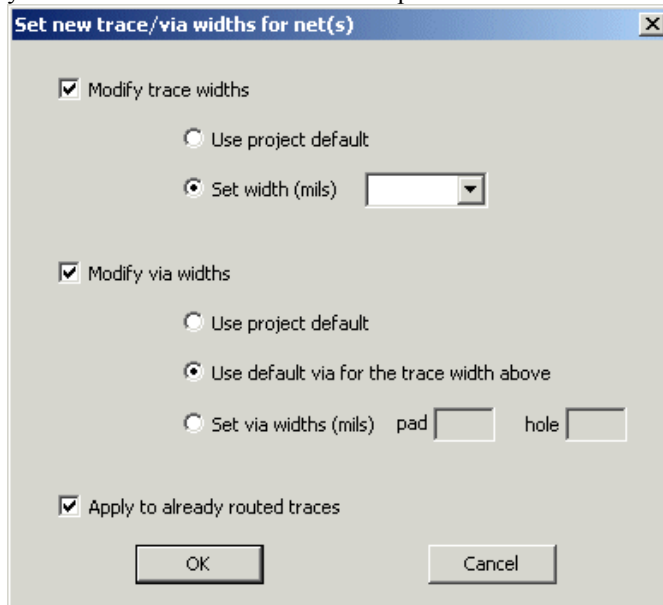
В FreePCB, вся информация о соединениях хранится в структуре данных, названной списком соединений. Этот список можно просмотреть и изменить, выбирая **Nets** из меню **Project**. Это вызывает диалог **View/Edit Netlist**.

Этот диалог содержит список всех связей в проекте. Для каждой связи показано название **Name**, число подключенных выводов **Pins**, заданная по умолчанию ширина дорожки **Width**, ширина площадки **Via W** и диаметр отверстия **Hole** переходов.

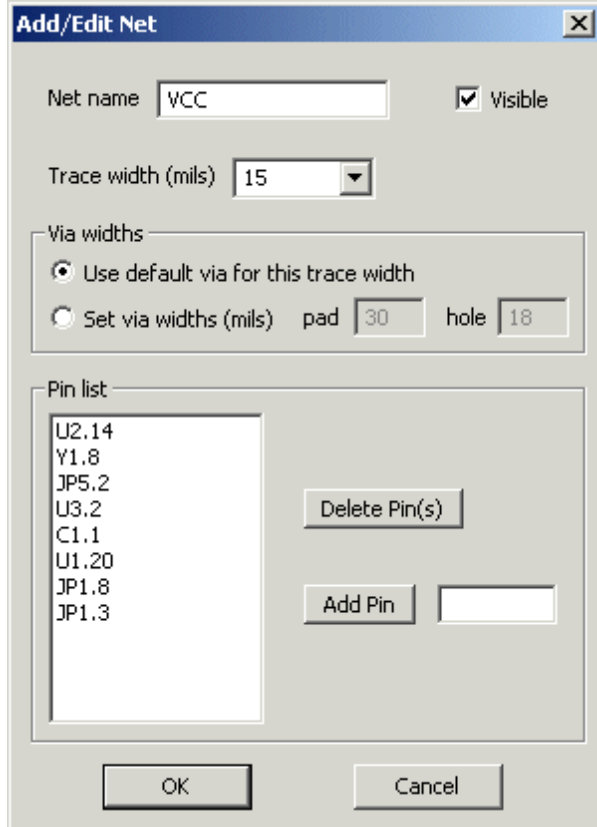
Переключатель рядом с каждым названием определяет видимость соединения. Если блок видимости не выбран, то ratlines для этого соединения не будут отображены в окне размещения. Это полезно, когда Вы работаете с определенным соединением и не желаете отвлекаться на другие ratlines. Кнопка **Make**

all visible/invisible позволяет одновременно включить/выключить видимость всех соединений.

В примере выше, ширина дорожек и переходов для большинства связей установлены в нуль. Это указывает, что по умолчанию должны использоваться проектные значения. Ширина для VCC и GND была установлена в ненулевое значение, которые будут использоваться для дорожек в этих соединениях. Ширину можно изменить, выбрав одну или более связей, и кликнув по кнопке [Change widths](#). Это вызывает следующий диалог, который позволяет устанавливать новые значения ширины.



Вы можете выполнить более обширное редактирование одиночного соединения, выбрав его и нажимая кнопку [Edit](#) в области [Single net selected](#), которая вызывает окно:



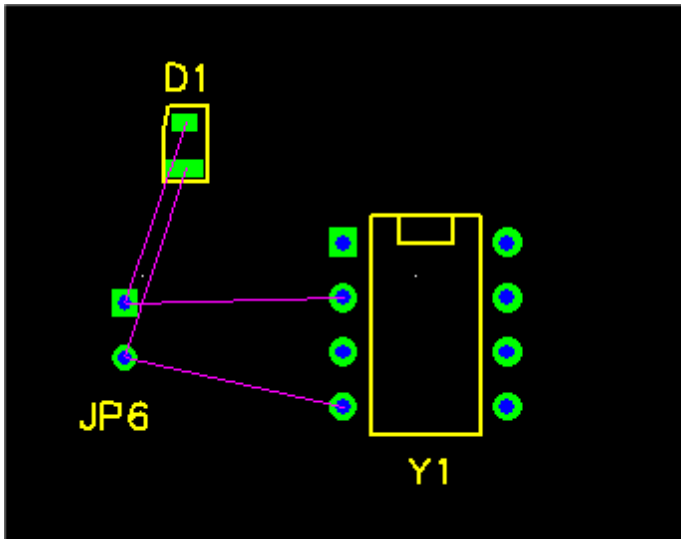
Здесь Вы можете изменить имя, видимость и ширину соединения, а также добавить или удалить выводы.

5.13.3 Ratlines

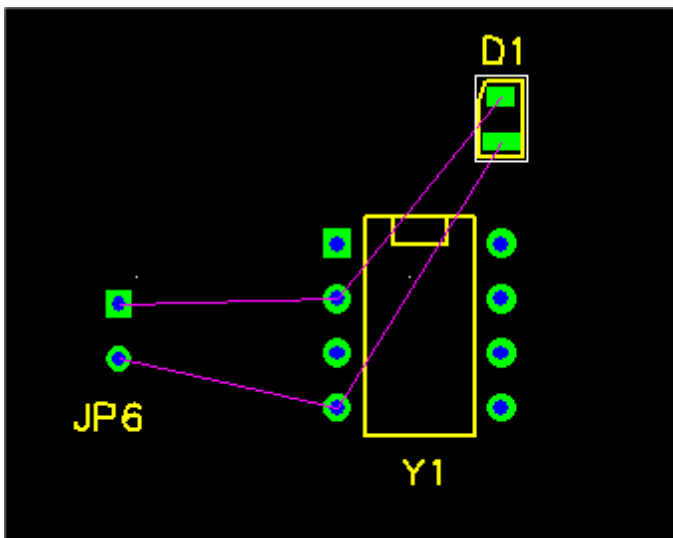
Обычно, цепи можно соединить последовательностью трасс, где каждая трасса соединяет два вывода. Для любого соединения, содержащего больше чем 2 вывода, будет несколько способов, которыми эти выводы можно соединить. Например, цепь, включающую выводы U1.1, U2.2 и U3.3, может соединить как:

(U1.1 к U2.2) и (U2.2 к U3.3) ИЛИ
(U1.1 к U3.3) и (U2.2 к U3.3) ИЛИ
(U1.1 к U3.3) и (U1.1 к U2.2)

Для каждой цепи FreePCB автоматически генерирует ряд подключений, которые пытаются минимизировать полное расстояние между подключенными выводами. Эти подключения показаны как ratlines между выводами. Пример двух цепей, подключающих три корпуса, показан ниже.



После большинства операций редактирования FreePCB повторно вычисляет ratlines для каждого затронутого соединения. Это является самым очевидным, когда Вы перемещаете корпуса или добавляете медные области. Например, перемещение D1 вправо заставляет подключения изменяться, как показано ниже.



Чтобы развести цепь, можно выбрать каждую ratline и трассировать её как дорожку. В качестве альтернативы, можно игнорировать ratlines и развести трассы от ножки до ножки, используя обрубленные дорожки **stub traces**. Вы можете также использовать дорожки ответвления **branching traces**. Каждый из этих методов описан более подробно ниже.

5.13.4 Изменение Ratlines

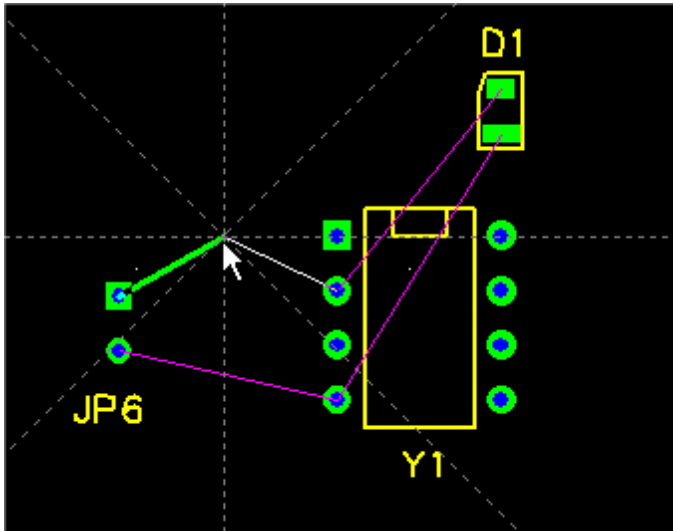
Большую часть времени, Вы будете использовать ratlines, который вычисляет FreePCB. Однако, могут быть ситуации, когда Вы хотели бы иметь больше контроля над ratlines. FreePCB обеспечивает несколько опций редактирования для ratlines:

- ratline можно блокировать, выбрав её, и нажав клавишу F3 ("Lock Connect"). Внешний вид ratline при этом не изменится, но "L" в её описании на строке состояния будет показывать, что подключение заблокировано. Блокированное подключение не будет удалено, когда FreePCB повторно вычислит ratlines. Блокированное подключение можно разблокировать выбрав его и нажав клавишу F3 ("Unlock Connect").
- Подключение можно добавить к соединению, выбрав площадку для стартового вывода подключения, и нажав клавишу F4 ("Connect Pin"). Затем вы можете протянуть ratline к другому выводу на той же самой цепи. Обычно необходимо блокировать ratline после добавления, иначе это подключение, скорей всего, будет удалено программой в следующий раз, после повторного вычисления ratlines. Таким же образом можно сделать подключение к неназначенному выводу, когда новый вывод добавляется к цепи.
- ratline можно удалить из цепи, выбрав её, и нажав F7 ("Delete Connect"). Если ratline заблокирована, Вам будет предложено разблокировать её. Если Вы удалите ratline и не замените это, добавляя и блокируя другую, то эта, скорей всего, появится вновь в следующий раз, когда ratlines будут повторно вычислены.
- ratlines для каждого соединения обычно повторно вычисляются после каждой операции редактирования, которая затрагивает соединение. Исключением являются те операции, которые непосредственно изменяют ratlines, такие как описанные выше. Чтобы вынудить FreePCB восстановить ratlines, нажмите F8 ("Recalc. Ratlines"). Область видимости этой команды зависит от того, кокой элемент был выбран, когда Вы нажали F8:
 - Если ничто не было выбрано, ratlines будут восстановлены для каждого соединения в проекте.
 - Если корпус был выбран, ratlines будут восстановлены для каждого соединения, прикрепленного к корпусу.
 - Если вывод, ratline, или дорожка были выбраны, ratlines будут восстановлены для соединения, прикрепленного к тому выводу, ratline или дорожке.

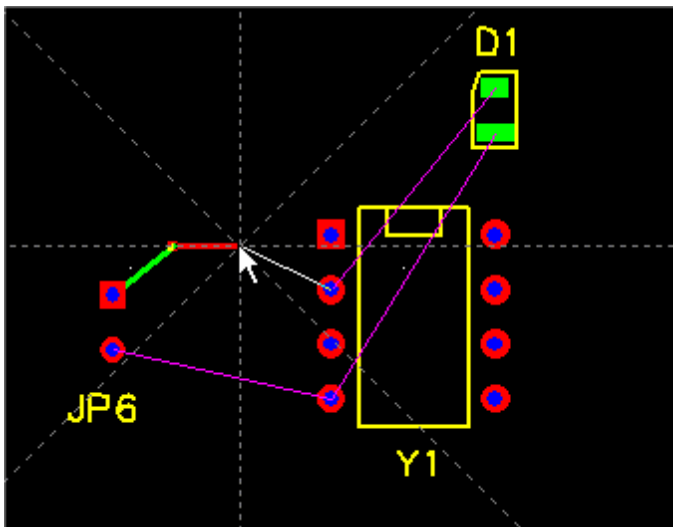
5.13.5 Разводка с Ratlines

Этот метод состоит из преобразования ratlines в медные дорожки. Дорожки состоят из одного или более прямолинейных сегментов, подключенных вместе с изломом в их точках подключения. Если два смежных сегмента будут на различных слоях, то переход будет помещен в излом между ними.

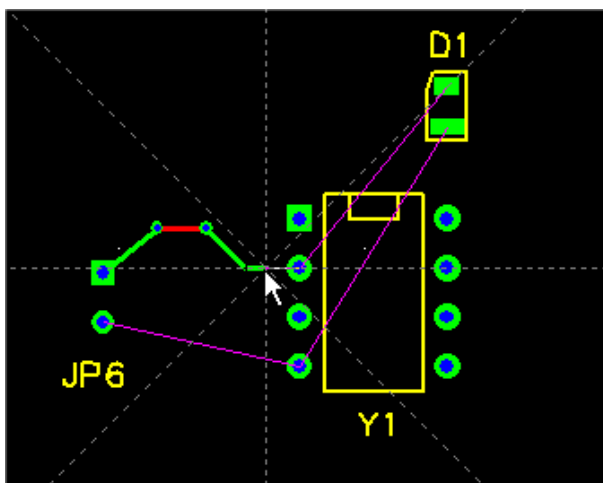
Чтобы начать разводку, выберите ratline, нажимая на неё. Она изменит свой цвет на цвет выбора, указывая, что была выбрана. Затем нажмите клавишу F4 ("Route Segment"). Это позволит начать сегмент дорожки от ближайшего к курсору, на момент нажатия F4, вывода. Изображение ниже показывает сегмент, начатый от вывода 1 компонента JP6.



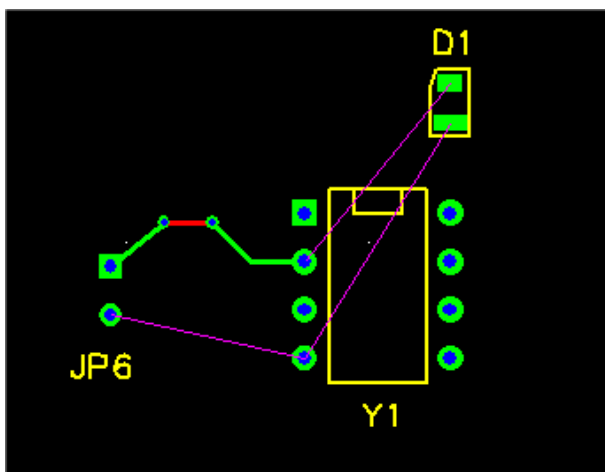
Обратите внимание, что сегмент находится на верхнем медном слое, потому что это слой был активным на момент начала разводки. Вы можете изменить активный слой, нажимая одну из цифровых клавиш от "1" до "8", которые представляют доступные слои в порядке от верхнего до нижнего. Например, для платы с четырьмя слоями, "1" выберет верхний медный слой, "2" выберет внутренний 1 слой, "3" выберет внутренний 2 слой, и "4" выберет нижний слой меди. Если Вы, во время разводки, измените слой, то это приведёт к немедленному переключению на новый активный уровень. Во время разводки сегмента действует сетка трассировки **Routing Grid**. Если стартовая точка для сегмента будет на сетке трассировки, то угол излома **Snap Angle** также будет действовать.



Левый клик поместит излом в позицию курсора, закончит первый сегмент в изломе и инициализирует разводку второго сегмента от излома, как показано на следующем изображении. Мы также переключили слои, нажав числовую клавишу "4", так, чтобы новый сегмент дорожки был перенесён на нижний слой меди.

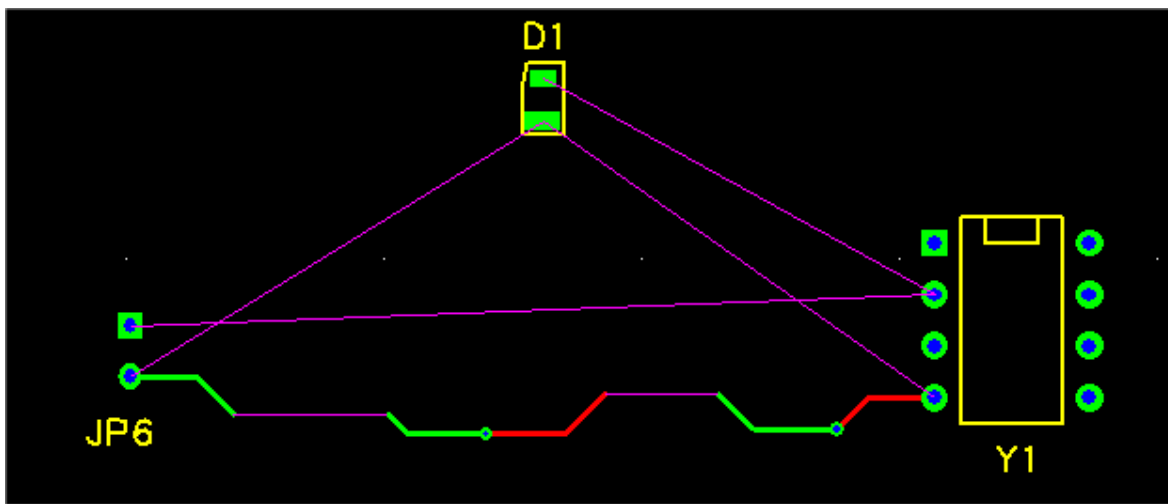


Левый-клик еще раз, чтобы поместить следующий излом и запустить разводку следующего сегмента. Таким образом Вы можете развести дорожку, состоящую из подключенных многих сегментов на многих слоях. Изображение слева показывает нашу завершённую разводку дорожки с несколькими сегментами на различных слоях и с 2-мя переходами.



Чтобы закончить дорожку, нажмите клавишу F4 ("Complete Segment"), разведя последний сегмент. Сегмент будет автоматически доведён до конечного вывода дорожки. В качестве альтернативы, Вы можете поместить курсор на последнем выводе и сделать левый клик. Полученная окончательная трасса показана слева.

В процессе разводке дорожки, Вы можете щелкнуть правой кнопкой мыши, чтобы прекратить разводку прежде, чем дорожка будет закончена. Неразведённая часть цепи будет показана как ratline между последним изломом и конечным выводом. Вы можете закончить дорожку и позже, выбрав ratline, разводить её с любого конца. У дорожки может быть множественные неразведённые частей, как показано ниже.

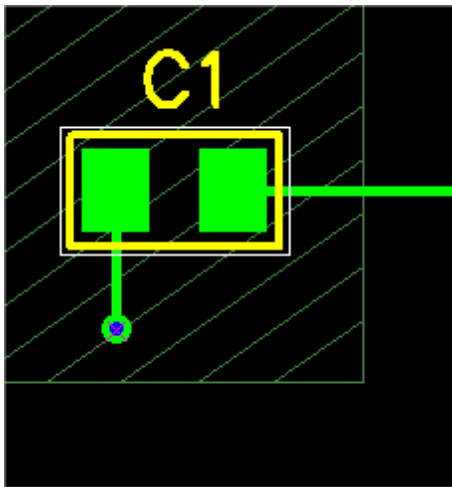


Вы можете изменить конечный вывод частично неразведённой дорожки, выбрав ratline и нажав клавишу F5 ("Change Pin"), а затем просто протянуть ratline к другому выводу той же цепи.

5.13.6 Удаление

5.13.7 Разводка обрубленных дорожек (Stub Traces)

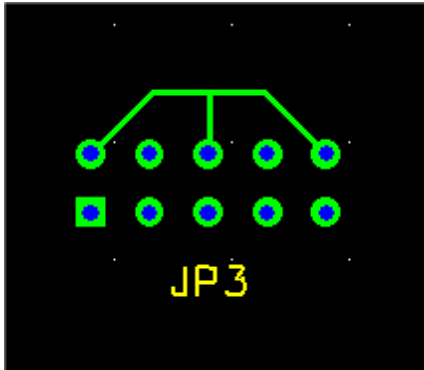
Помимо дорожек, соединяющих выводы компонентов, FreePCB поддерживает обрубленные дорожки. Это дорожки, которые начинаются на выводе одного компонента, но не заканчиваются на выводе другого. Вместо этого они просто обрываются или завершаются переходным отверстием (Via). Обрубленные дорожки используются главным образом для подключения выводов SMT к медным полигонам, которые будут описаны в [Разделе 5.15: Полигоны](#). Чтобы создать обрубленную дорожку, выбираем стартовый вывод и нажимаем клавишу F3 ("Start Stub"), чтобы запустить рисование сегмента дорожки. Сегмент будет формироваться в текущем активном слое, если вывод, будучи выводом SMT, не расположен в другом слое. В последнем случае активный слой автоматически изменится на слой вывода SMT. При помощи левого-клика разместим излом дорожки. Если требуется более одного сегмента добавьте дополнительный излом. Обрубленная дорожка, завершается щелчком правой кнопки мыши. Дорожка закончится и в её конец автоматически будет добавлено переходное отверстие. Если Вам не нужно переходное отверстие, то выберите его и нажмите F3 ("Delete Via"). Если переход подключается к медному полигону на той же стороне платы, где расположен стартовый вывод, будет сформирован тепловой барьер соединения площадки переходного отверстия и медной области. Пример обрубленной дорожки, подключающей вывод компонента к медному полигону, показан ниже. Тепловой барьер представлен символом "X", расположенный поверх переходного отверстия и имеющий цвет ratline.



Обрубленные дорожки могут также использоваться для разводки между выводами компонентов. Для этого начните разводку обрубленной дорожки как описано выше. И вместо того, чтобы закончить дорожку, щелкая правой кнопкой мыши, направьте дорожку к выводу, который принадлежит той же цепи или не принадлежит ни какой цепи. Когда Вы поместите окончную точку сегмента дорожки где-то на конечном выводе, обрубленная дорожка будет автоматически преобразована в нормальную дорожку между выводами. Это может быть очень полезно, если Вы проектируете РСВ "на лету", без списка соединений.

5.13.8 Разводка ответвления от дорожки (Branching Trace)

Как только дорожка создана, Вы можете добавить к ней ответвление, которое соединит существующую дорожку с другими выводами одной цепи. На рисунке, показанном ниже, изображена основная дорожка между выводами с обоих концов JP3 и ответвление между средним выводом и изломом (vertex) в основной дорожке.



Есть два способа добавить ответвление к дорожке. Это можно сделать выбрав излом в дорожке и нажав клавишу F3 ("Connect PIN"). Затем протянуть ratline от излома до вывода, который Вы хотите подключить, и развести дорожку как обычно. Второй способ предполагает разведение обрубленной дорожки от вывода до излома существующей дорожки.

Обратите внимание, что нет никаких видимых различий между основной дорожкой и дорожкой ответвления.

Однако, различия будут в некоторых операциях редактирования. Например, если Вы удалите дорожку ответвления, то основная дорожка останется. Однако, если Вы удалите основную дорожку, то исчезнут обе дорожки. Вы должны помнить это, когда создаёте дорожку ответвления, которую хотели бы изменить позже.

Вы можете отличать независимые сегменты и изломы на основной дорожке или ответвлении, выбирая их и смотря на строку состояния. Основная дорожка между выводами будет описан как дорожка (trace), в то время как дорожка ответвления будет описан как переход (branch). Излом, к которому подключено ответвление, называют "целевым изломом (tee-vertex)". Если Вы выберете целевой излом, то отображение строки состояния закончится параметром, таким как ("T1234"), где "T" указывает, что целевой излом и "1234" является идентификатором для цели. Дорожки ответвления, которые соединяются с этой целью, покажут тот же самый параметр в строке состояния.

Помимо дорожек между выводами компонентов, ответвления могут быть добавлены к обрубленным дорожкам и даже к другим дорожкам ответвления.

5.13.9 Переходы (Vias)

Переходные отверстия или попросту переходы используются, чтобы соединить медные элементы на различных слоях. В FreePCB они считаются частью дорожки, и могут появиться только в изломе дорожки. Переходы могут быть вынужденными **forced** или невынужденный **unforcsd**. Невынужденный переход генерируется автоматически, во время разводки дорожки. Это будет происходить всякий раз, когда появится необходимость подключить сегменты дорожки на разных слоях. Если дорожку изменить таким образом, что необходимость в переходе отпадет, то переход автоматически будет удален. Обычно, именно такое поведение является более естественным. Однако, бывают моменты, когда хотелось бы оставить переходное отверстие между смежными сегментами дорожки, которые находятся на одноименном слое. Например, Вы хотели бы, с помощью перехода, подключить дорожку к медному полигону. В этом случае, можно "вызвать" переход, выбрав соответствующий излом и нажав клавишу "f". Вынужденный переход не будет удаляться автоматически. Тип перехода можно определить выбрав его и посмотрев на строку состояния, которая покажет ("F") для вынужденного перехода. Вынужденный переход можно сделать невынужденным, нажав клавишу "u". Имейте в виду, что переходы, которые созданы автоматически в конце обрубленных дорожек, вынужденные по умолчанию.

Когда переходы созданы, значения по умолчанию будут использоваться для диаметров контактных площадок и отверстий. Это будут значения установленные по умолчанию для цепи или, если эти значения не были определены, будут использоваться проектные значения по умолчанию. Размеры площадки и отверстия для переходов могут быть изменены с помощью диалога [Set Trace and/or Via Widths](#), который описан в следующем разделе.

5.13.10 Изменение дорожек

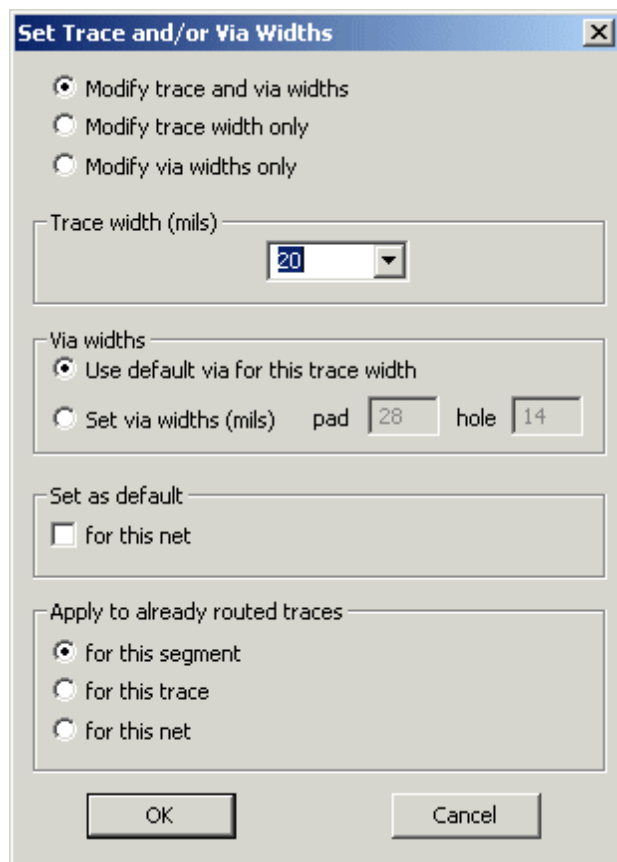
Дорожку можно изменить, выбрав её сегменты, изломы или ratlines и используя команды функциональных клавиш. Вы можете выбрать всю дорожку, кликнув по её сегменту или излому и удерживая клавишу "t". Вы можете выбрать всю цепь, кликнув по сегменту, излому или выводу компонента и удерживая клавишу "n".

Вот описания команд функциональных клавиш:

- С выбранной ratline:
 - F1 (Set Width) — появляется диалог [Set Trace and Via Widths](#), который описан ниже.
 - F3 (Lock/Unlock Connect) - блокирует или разблокирует ratline. Блокированная ratline не может быть удалена операцией "Recalc. Ratlines".
 - F4 (Route Segment) — начинает разводку дорожки, которая заменяет ratline.
 - F5 (Change Pin) - доступно только если у Вас есть выбранная ratline цепи с частично разведённой дорожкой. Эта клавиша позволяет вывод с которым соединяется ratline.
 - F7 (Delete Connect) - удаляет подключение из цепи.
 - F8 (Recalc. Ratlines) - повторно вычисляет ratlines для цепи, чтобы минимизировать их длину.
- Пока разводится сегмент:
 - F4 (Complete Segment) - доводит сегмент до конечной точке ratline и прекращает разводку.
- С выбранным медным сегментом:
 - F1 (Set Width) — вызывает диалог [Set Trace and Via Widths](#), который описан ниже.
 - F2 (Change Layer) — вызывает диалог, который позволяет Вам изменять слой сегмента, дорожки или соединения.
 - F5 (Unroute Segment) — отменяет разводку сегмента, превращая его в ratline.
 - F6 (Unroute Trace) — отменяет разводку дорожки, превращая её в ratline.
 - F7 (Delete Connect) - удаляет подключение из цепи.
 - F8 (Recalc. Ratlines) - повторно вычисляет ratlines для цепи, чтобы минимизировать их длину.
- С выбранным изломом:
 - F1 (Set Position) — вызывает диалог, который позволяет явно редактировать координаты X и Y излома.
 - F4 (Move Vertex) — позволяет перемещение излома.
 - F5 (Delete Vertex) — удаляет излом, отменяя разводку смежных сегментов и преобразуя их в ratline.
 - F6 (Unroute Trace) — отменяет разводку дорожки, преобразуя её в ratline.
 - F7 (Delete Connect) - удаляет подключение из цепи.
 - F8 (Recalc. Ratlines) - повторно вычисляет ratlines для цепи, чтобы минимизировать их длину.
- С выбранным конечным изломо обрубленной дорожки:
 - F1 (Set position) — вызывает диалог, который позволяет явно редактировать координаты X и Y излома.
 - F2 (Add Segment) — стартует разводку нового сегмента от излома.
 - F3 (Add/Delete Via) - добавляет переход, или удаляет тот, который уже присутствует.
 - F4 (Move Vertex) — позволяет перемещение излома.
 - F5 (Delete Vertex) - удаляет излом, отменяет разводку смежных сегментов, преобразуя их в ratline.
 - F7 (Delete Connect) - удаляет всю обрубленную дорожку.
 - F8 (Recalc. Ratlines) - повторно вычисляет ratlines для соединения, чтобы минимизировать их длину.

- С полностью выбранной дорожкой:
 - F1 (Set Width) — вызывает диалог [Set Trace and Via Widths](#), который описан ниже.
 - F2 (Change Layer) — вызывает диалог, который позволяет Вам изменять слой дорожки или соединения.
 - F6 (Unroute Trace) — отменяет разводку всей дорожки, преобразуя её в ratline.
 - F7 (Delete Connect) - удаляет подключение из цепи.
 - F8 (Recalc. Ratlines) - повторно вычисляет ratlines для соединения, чтобы минимизировать их длину.
- С полностью выбранной цепью:
 - F1 (Set Width) — вызывает диалог [Set Trace and Via Widths](#), который описан ниже.
 - F2 (Change Layer) - вызывает диалог, который позволяет Вам изменять слой цепи.
 - F3 (Edit Net) - добавляет переход, или удаляют тот, который уже присутствует.
 - F8 (Recalc. Ratlines) - повторно вычисляют ratlines для соединения, чтобы минимизировать их длину.

Ниже показан диалог [Set Trace and Via Widths](#), который вызывается, нажатием клавиши F1 в присутствии выбранной цепи, дорожки, сегмента или излома.



Этот диалог позволяет изменять размеры дорожки и перехода для сегмента, дорожки или цепи. Вы можете также установить новые размеры, принятые по умолчанию для цепи так, чтобы они использовались для любой будущей разводимой цепи.

5.13.11 Смена выводов (Swapping Pins)

Вы можете поменять выводы в одном корпусе, выбрав один из них, удерживая клавишу "s", и нажав на другой вывод. После этого всплывёт окно, в котором Вы должны будете подтвердить обмен или отказаться от него.

5.14 Импорт Файлов Списка соединений

5.14.1 Файлы Списка соединений

После создания нового проекта, необходимо добавить в него корпуса и соединения путём импорта файла списка соединений. Этот файл обычно генерируется схемным редактором, но, в случае необходимости, может быть создан вручную. Типовой файл списка соединений показан ниже. Этот файл будет использоваться позже в учебнике (см. [Раздел 7: Учебник](#)). В данном случае, этот файл был сгенерирован в формате PADS-PCB схемным редактором Orcad Capture. Этот формат стандартный и поэтому большинство схемных редакторов его поддерживают. Но самое важное, что программа FreePCB может его читать.

```
*PADS-PCB*
*PART*
C1 CHIP_D
C2 C1206
C3 CHIP_B
C4 CHIP_B
D1 CHIP_B
JP1 5X2HDR-100
JP2 5X2HDR-100
JP3 5X2HDR-100
JP4 5X2HDR-100
JP5 3X2HDR-100
JP6 1X2HDR-100
R1 C1206
R2 C1206
R3 C1206
U1 28DIP300
U2 dip14
U3 K - 220
Y1 8DIP300

*NET*
*SIGNAL* N00834
U2.4 JP1.9
*SIGNAL* GND
U2.7 C2.2 U3.3 C1.2 U1.19 Y1.4 JP5.3 JP4.10
JP4.4 R2.2 C4.2 JP1.10 JP1.5 R1.2 C3.2 U1.8
JP6.2 JP3.3 JP2.3 JP3.10 JP3.4 JP3.6 JP3.8 JP2.10
JP2.8 JP2.2 JP2.4 JP2.6 JP3.2
*SIGNAL* N01846
Y1.5 U1.9
*SIGNAL* VCC
U2.14 Y1.8 JP5.2 U3.2 C1.1 U1.20 JP1.8 JP1.3
*SIGNAL* N02621
U2.6 U1.21
*SIGNAL* N02594
U2.3 U1.22
*SIGNAL* N02122
JP2.1 U1.18
*SIGNAL* N01526
JP4.6 U1.15
*SIGNAL* N01538
JP4.8 U1.14
*SIGNAL* N02277
U1.17 JP3.1
*SIGNAL* N00797
JP1.4 U2.1
*SIGNAL* N00534

D1.1 JP6.1
*SIGNAL* N01300
U1.27 JP5.5
*SIGNAL* N01342
U1.28 JP5.4
*SIGNAL* N01384
JP5.1 U1.1
```

```

* SIGNAL* N00809
U2.5 JP1.7 U1.23
* SIGNAL* N03791
C3.1 R1.1 JP2.7 U1.3
* SIGNAL* N01292
U2.2 U1.24 JP1.2
* SIGNAL* N03798
C4.1 R2.1 JP3.7 U1.2
* SIGNAL* N04614
U1.13 JP3.5
* SIGNAL* N04589
JP2.5 U1.12
* SIGNAL* N06956
C2.1 U3.1 R3.2
* SIGNAL* N07325
R3.1 D1.2
* END*

```

Распечатка достаточно очевидна. В секции файла ***PART*** присутствует строка для каждого корпуса, содержащая позиционное обозначение (такое как "U1") и идентификатор упаковки (такой как "28DIP300"). В секции файла ***NET*** перечислены цепи, где каждая цепь начинается с ключевого слова ***SIGNAL***, сопровождаемого названием цепи. В следующей строке перечисляются все ножки подключенные к данной цепи.

Для того, чтобы программа FreePCB правильно назначила футпринты, идентификатор упаковки для каждого корпуса должен соответствовать футпринту в одной из библиотек FreePCB. Скорей всего, идентификаторы упавки должны быть назначены Вами в явном виде. Чтобы сделать это, существует три способа:

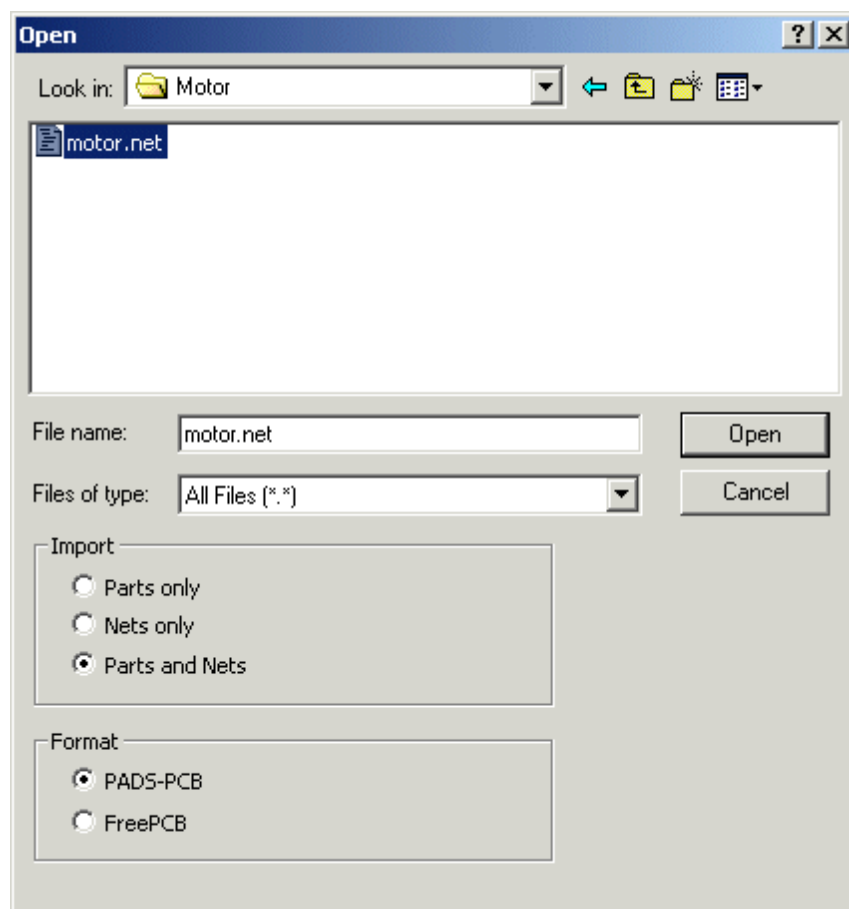
1. В схемном редакторе, назначить идентификатор упаковки как атрибут для каждого корпуса, используя идентификаторы упаковки соответствующие отпечаткам FreePCB. Затем необходимо экспортировать список соединений и импортировать его в FreePCB.
2. Экспортировать список соединений, отредактировать его при помощи текстового редактора, а затем импортировать его в FreePCB.
3. Экспортировать список соединений, импортировать его в FreePCB, а затем установить любые неправильные или недостающие футпринты средствами FreePCB.

Используйте первый способ, если Вы предполагаете вносить изменения в схему после начала разводки платы и желаете импортировать эти изменения в FreePCB.

Важное примечание: Чтобы программа FreePCB обнаружила футпринты, на которые ссылаются в файле списка соединений, библиотеки, содержащие эти футпринты, должны находиться в заданной по умолчанию библиотечной папке проекта (обычно `..lib`). Если Вы используете футпринты из библиотек в других папках, таких как `..lib_contrib` или `..lib_extra`, необходимо переместить их библиотеки в `..lib` прежде, чем будет импортирован файл списка соединений. Если Вы забыли это почему-то сделать, то всегда можно назначить отпечатки позже, используя диалог [Project > Parts...](#)

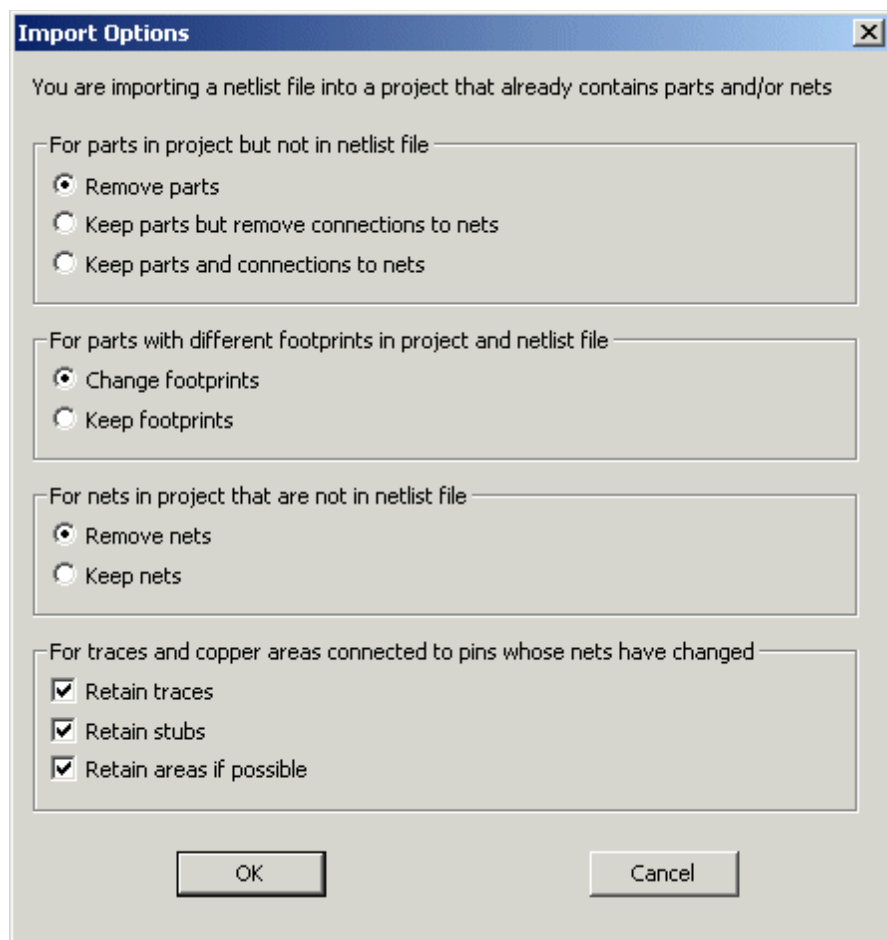
5.14.2 Импорт файла списка соединений в проект

Импортируем файл списка соединений, выбрав [File > Import netlist....](#) Это вызовет следующий диалог.



Выберите файл списка соединений, перемещаясь к правильной папке (в случае необходимости) и кликнув по имени файла. Я обычно перемещаю или копирую файл списка соединений в проектную папку прежде, чем импортировать его, но это не обязательно. Используя выбор в области **Import**, можно импортировать из файла либо корпуса, либо цепи, либо и то и другое. В области **Format** можно выбрать формат файла (хотя в настоящее время поддерживается только формат PADS-PCB). После того, как настройки сделаны, нажмите OK.

Если Вы импортируете файл списка соединений в пустой проект, без существующих корпусов или соединений, то файл немедленно загрузится. Иначе, появится диалог [Import Options](#), как показано ниже.

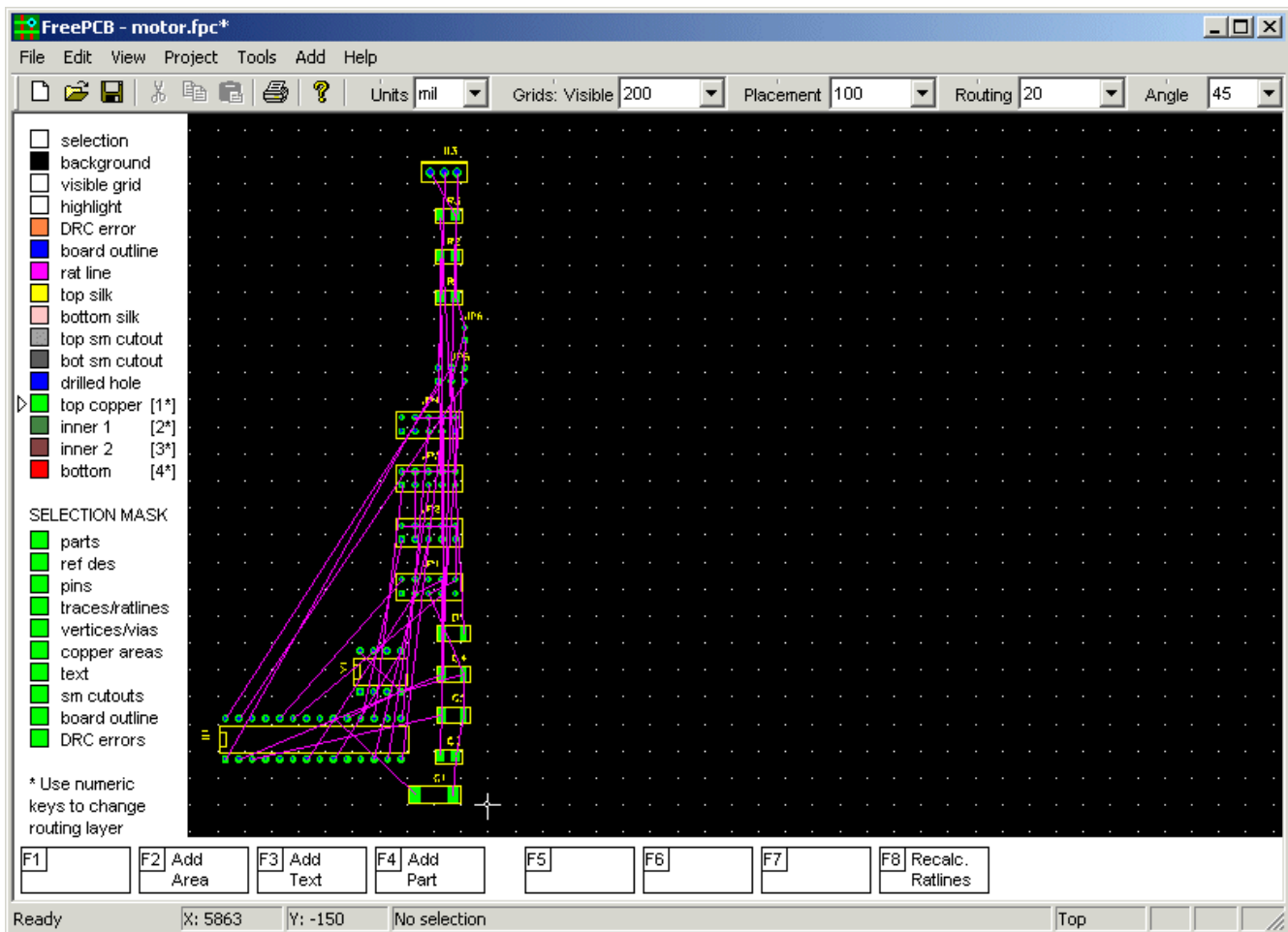


Этот диалог определяет, как FreePCB обрабатывает конфликты, которые могут возникнуть при импорте файла списка соединений в проект, который уже содержит корпуса и/или соединения. Эта ситуация обычно возникает, когда Вы используете схемный редактор. Например, предположим, что после импорта начального списка соединений и разводки некоторых цепей или всей платы, Вы произвели некоторые изменения в схеме и желаете импортировать те изменения. С показанными настройками по умолчанию, любые корпуса, футпринты или цепи, который не соответствует новому файлу списка соединений, будут изменены или удалены и проект будет точно соответствовать файлу списка соединений. Обычно это наиболее желательный сценарий.

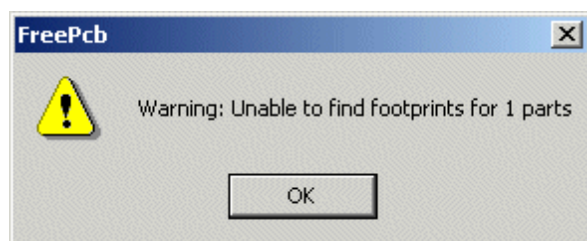
Однако, предположим, что Вы добавили к проекту некоторые элементы (например, монтажные отверстия), которые отсутствуют в файле списка соединений, и подключили их к каким-то цепям. В этом случае, скорее всего, захотите выбрать [For parts in project but not in netlist file : Keep parts and connections to nets \(Для корпусов в проекте, но не в списке соединений : Сохранить корпуса и подключения к цепям\)](#) с тем, чтобы не потерять эти корпуса и соединения. Или, если Вы изменили некоторые из футпринтов после импорта списка соединений, то, скорее всего, захотите выбрать [For parts with different footprints in project and netlist file : Keep footprints \(Для корпусов с различными футпринтами в проекте и файле списка соединений : Сохранить футпринты\)](#) с тем, чтобы не вернуться назад к прежним футпринтам после импорта. Если Вы добавили цепи и желаете сохранить их, то, скорее всего, захотите выбрать [For nets in project that are not in netlist file : Keep nets \(Для цепей в проекте, отсутствующих в файле списка соединений : Сохранить цепи\)](#).

При использовании этих опций надо быть очень внимательными, поскольку они могут вызвать неожиданные результаты. Например, если неосторожно поменять имя цепи в схемном редакторе, а затем импортировать список соединений с опцией **Keep nets**, то в результате получим две цепи с различными названиями, где все выводы, за исключением принадлежащих старой цепи, будут включены в новое соединение. Кроме того, будет утеряна вся разводка новой цепи (см. примечание ниже). Или, если Вы изменили позиционное обозначение компонента в схемном редакторе, и выбрали одну из опций **Keep parts**, то завершите операцию с двумя корпусами, вместо одного.

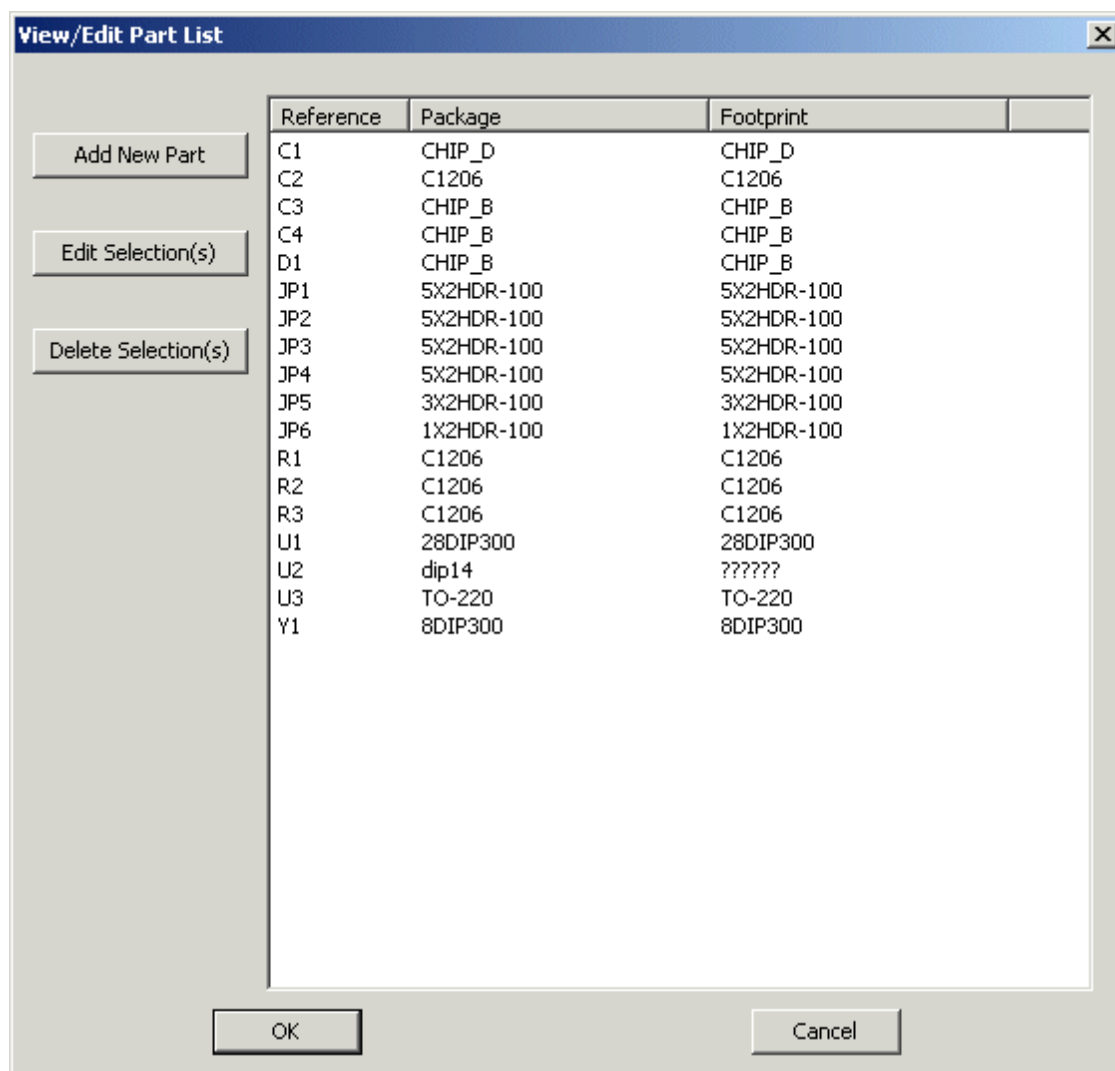
Последние три опции в диалоге (**Retain traces(Сохранить дорожки)**, **Retain stubs(Сохранить обрубки)**, **Retain areas(Сохранить области)**), определяют, попытается ли FreePCB, анализируя списки выводов, сохранить разведённые дорожки и медные области, имена соединений которых изменились в файле списка соединений. Как только Вы выбрали **Import Options** и кликнули ОК, файл списка соединений загрузится, и все новые корпуса будут помещены в окно размещения, слева от начала координат. Чтобы увидеть их, можно выделить **All Parts** в меню **View** (или нажать клавишу "Home"). В результате окно размещения изменится так, чтобы сделать все компоненты видимыми, как показано ниже.



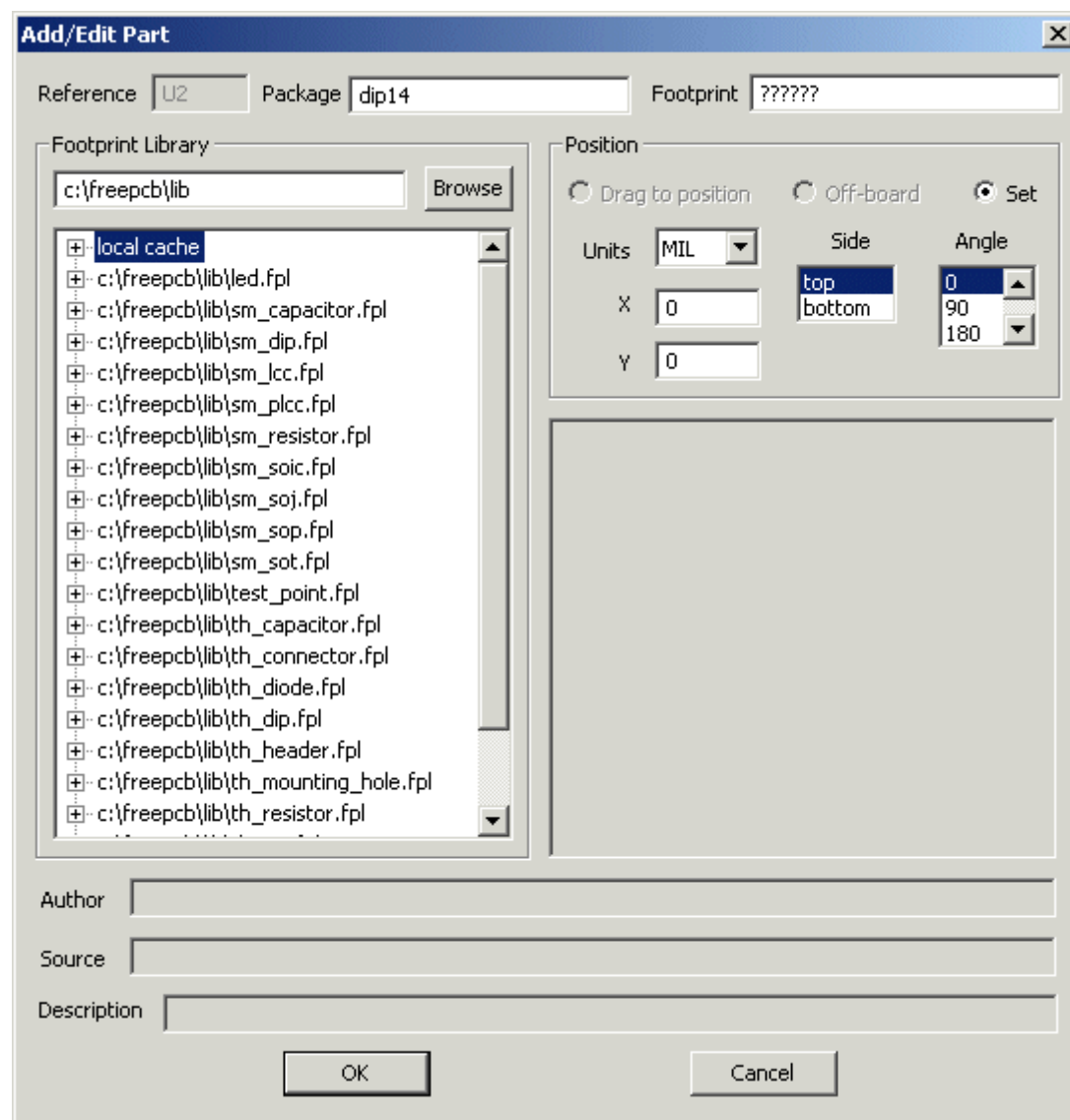
Если FreePCB не сможет сопоставить один из идентификаторов упаковки с футприном из его библиотек, то появится следующее сообщение.



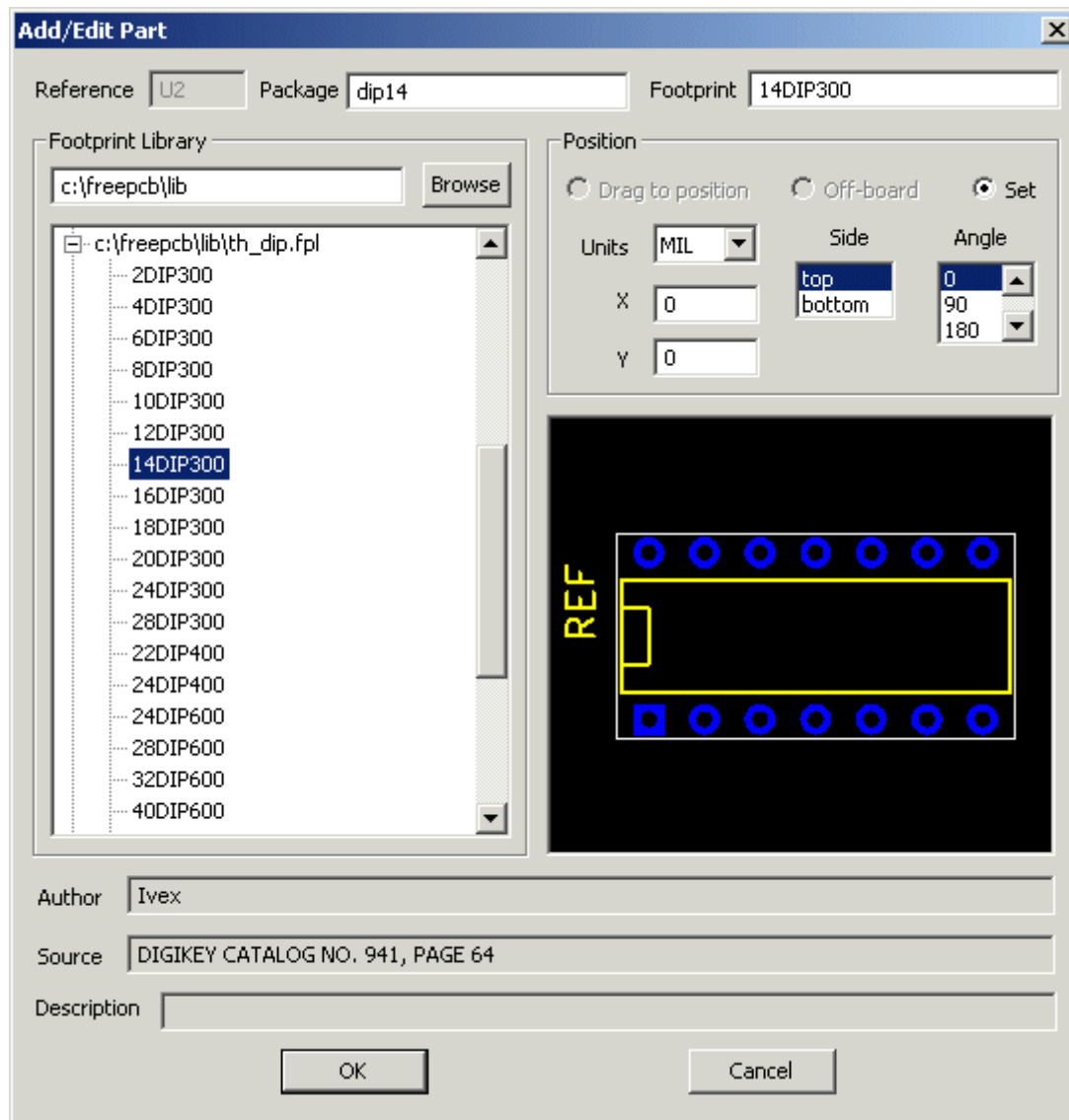
В этом случае необходимо проверить partlist, выбрав [Parts...](#) из меню [Project](#). Это вызовет диалог [View/Edit Part List](#), показанный ниже.



Имейте в виду, что футпринт U2, показанный как "??????", показывает, что программа FreePCB не смогла обнаружить футпринт с идентификатором "dip14". Чтобы выбрать футпринт для корпуса, необходимо выделить его и нажать кнопку [Edit Selection](#), которая вызывает диалог [Add/Edit Part](#), показанный ниже.



Вы можете назначить футпринт для U2, последовательно просматривая библиотечные файлы, пока не найдёте нужный и затем, кликнуть по нему, скопировать название в поле **Footprint** диалога, как показано ниже. Если название футпринта известно, то его можно ввести непосредственно.



Теперь футпринт для U2 будет появляться в окне размещения, помещенный в любую позицию, установленную в диалоге (X = 0, Y = 0 в примере выше).

5.14.3 Экспорт файлов списка соединений

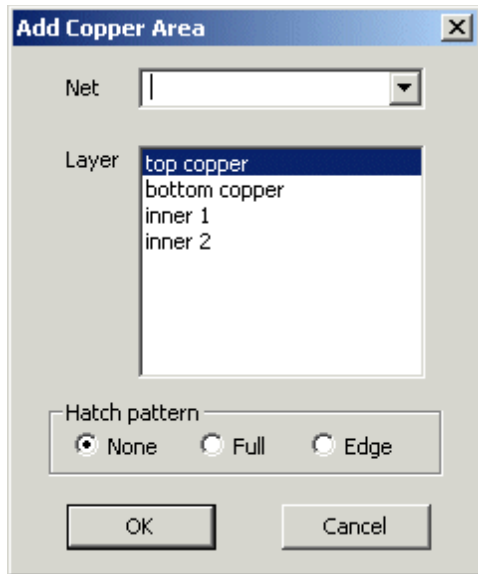
Вы можете экспортировать файл списка соединений из проекта, используя пункт меню **File > Export netlist...**. В созданном таким образом файле, каждому компоненту будет сопоставлен футпринт, используемый в проекте.

5.15 Полигоны (Copper Areas)

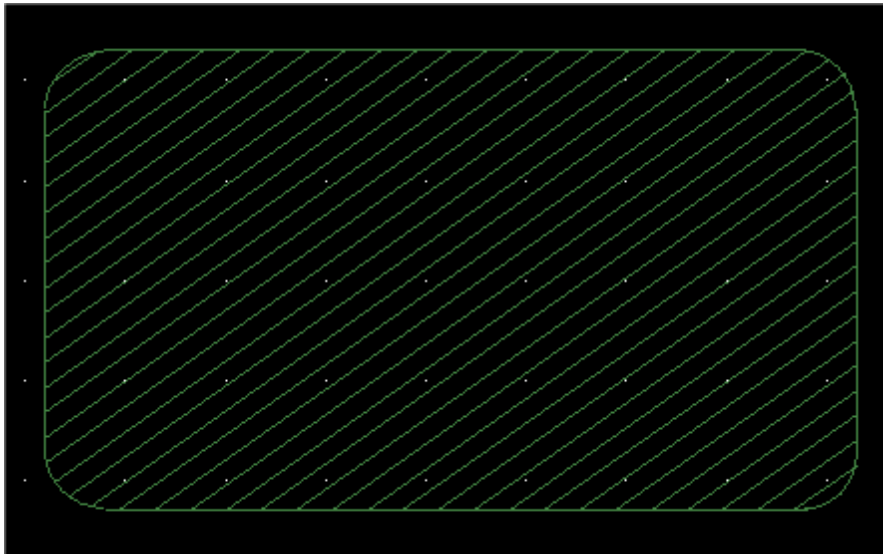
Для подключений на печатной плате, помимо дорожек, могут использоваться полигоны (обширные области меди). Они обычно используются для разводки цепей питания и земли, если те могут занять весь слой платы. В FreePCB для всех полигонов должны быть назначены соответствующие цепи.

Контур полигона рисуется замкнутой ломанной линией, подобно тому как рисуется граница платы. Полигон может отображаться простой контурной линией, контурной линией с внутренней штриховкой, или контурная линия с небольшой штриховкой вдоль ее внутреннего края. Эти шаблоны штриховки используются только для визуализации, поскольку фактически на плате полигон будет выполнен из сплошной меди. FreePCB автоматически создаст зазоры вокруг любых площадок или дорожек, которые проходят через медную область в том же самом слое. Однако, эти зазоры не будут отображены, но будут созданы в файлах Gerber.

Чтобы создать новый полигон, выберите [Copper Area](#) из меню [Add](#). В результате появится следующий диалог.



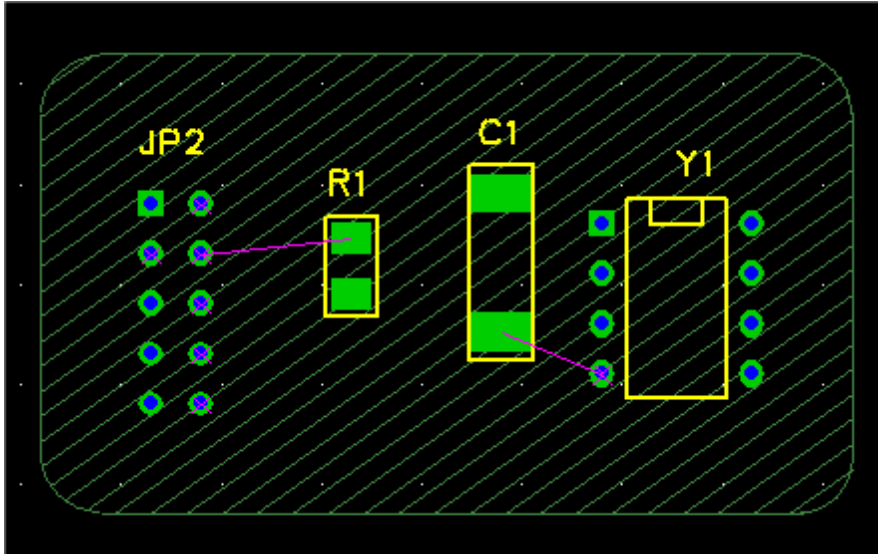
Выберите цепь, соответствующую полигону, в строке [Net](#) из раскрывающегося меню или напечатайте это имя непосредственно. Выберите слой из списка [Layer](#). Выберите шаблон штриховки [Hatch pattern](#). Затем нажмите OK, чтобы начать рисование полигона. Курсор изменится на перекрестие и будет перемещаться по сетке разводки **Routing Grid**. Переместите курсор в желаемую позицию стартового угла полигона и левым кликом разместите его. Теперь можно рисовать контур полигона ломанной линией. Подобно контурной линии платы, при помощи функциональных клавиш, контурная линия полигона может быть выполнена в виде прямой или образовываться дугой по часовой или против часовой стрелки. Продолжите левые клики мышкой, чтобы разместить остальные углы полигона, и правым кликом мышки завершите формирование контурной линии. После этого область полигона заполнится диагональным шаблоном штриховки, что сделает его более видимым.



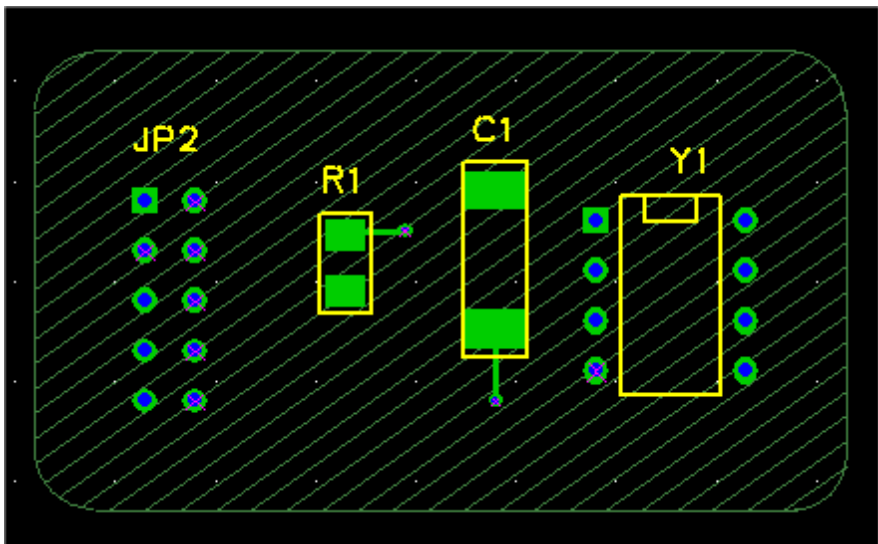
Пример маленького полигона на 1-ом внутреннем слое. Этот полигон был назначен цепи земли и использует полный шаблон штриховки.

Контур созданного полигона можно отредактировать выбирая его углы или стороны и используя меню функциональных клавиш. Это делается подобно редактированию контура платы, описанному ранее в [Разделе 5.10: Контур платы](#). Шаблон штриховки можно изменить, выбрав любую сторону полигона. Затем щелкнуть по ней правой кнопкой мыши, вызываем контекстное меню в котором выбираем пункт [Edit Area Params](#). Подключения между корпусами и медными областями могут быть сделаны двумя путями:

- Контактные площадки, которые находятся в области полигона, могут подключаться к нему с использованием теплового барьера. Тепловой барьер будет размещен автоматически для выводов той же самой цепи. Барьер выглядит как символ "X", имеющий цвет ratline и наложенный на контактную площадку вывода.
- Площадки SMT или площадки штыревых компонентов, которые не проходят через полигон, могут быть подключены к нему с использованием обрубленных дорожек, которые заканчиваются с переходом. Тепловой барьер будет автоматически генерироваться для переходного отверстия.



Для иллюстрации, 4 корпуса размещены в области полигона из предыдущего примера. Здесь мы видим цепь GND, к которой также подключен полигон. Имейте в виду, что штырьки Y1.4, JP2.2, JP2.3, JP2.4, JP2.6, JP2.8, JP2.10 были все автоматически подключены к полигону с тепловым барьером.



Чтобы подключить R1.1 и C1.2, мы будем использовать обрубленные дорожки. Они были добавлены ниже. Отметьте, что переходы на концах заглушек были подключены с тепловым барьером. Теперь вся цепь GND была подключена, используя полигон.

Шаблон штриховки полигона предназначен только для его визуализации, чтобы показать его расположение и не заслонять другие особенности рисунка платы. При генерации Gerber-файлов, полигоны будут залиты сплошной медью с зазорами для любых не подключенных к полигону контактных площадок и дорожек. Далее в руководстве Вы будете использовать полигоны, чтобы создать плоскости питания и земли, которые занимают полностью отдельные слои PCB.

Полигоны могут быть размещены в вырезах других полигонов.

5.16 Текст

Текстовых строк могут быть добавлены в слой шелкографии или в медные слои РСВ. Они полезны для того, чтобы показывать некую информацию, такую как разные пометки, номер версии, объявления об авторском праве, и т.п. Добавим текстовую строку к РСВ, выбирая **Text** из меню **Add**. Появится следующее диалоговое окно.

Add/Edit Free Text

Text:

☐ Mirror image Units: **MIL**

Uppercase height:

Line width:

☒ Use default for height

☐ Set width:

Layer:

- top silk
- bottom silk
- top copper
- bottom copper
- inner 1
- inner 2

Position:

☒ Drag to position Angle: **0**

☐ Set position and angle

X: Y:

Angle dropdown: 0, 90, 180, 270

OK Cancel

Введите желаемую текстовую строку в поле **Text**. Пробел и большинство специальных символов позволены. Используйте другие поля, чтобы установить слой (Layer), высоту символа (Uppercase height) и ширину штриха (Line width). Высота символа касается максимальной высоте символа, не считая подстрочных элементов. Заданная по умолчанию ширина штриха составляет 10 % высоты символа. Установка флажка **Mirror image** позволяет получить зеркальное отображение текста, так, чтобы он мог читаться на нижнем слое меди меди или нижнем слое шелкографии. Если Вы оставите выбранной кнопку **Drag to position**, то сможете перетаскивать текст, после того как нажмете ОК. Иначе, можно явно установить позицию и угол наклона текстовой строки. Позиция строки определяется её левым нижним углом (не включая подстрочных элементов).

5.17 Вырезы в паяльной маске (Solder Mask Cutouts)

Паяльная маска **Solder mask** является покрытием, которое применено к печатной плате, чтобы препятствовать не нужному прилипанию припоя. Это не является действительно необходимым для плат паяемых вручную, но является существенным для плат, которые паяют автоматически, используя ванну припоя или технологию обратной волны. В САМ процессе предполагается, что паяльная маска является "слоем" PCB, и описана Gerber-файлом, так же как медные слои или слои шелкографии. Обычно имеются верхняя и нижняя маски припоя, с отдельными Gerber-файлами для каждой.

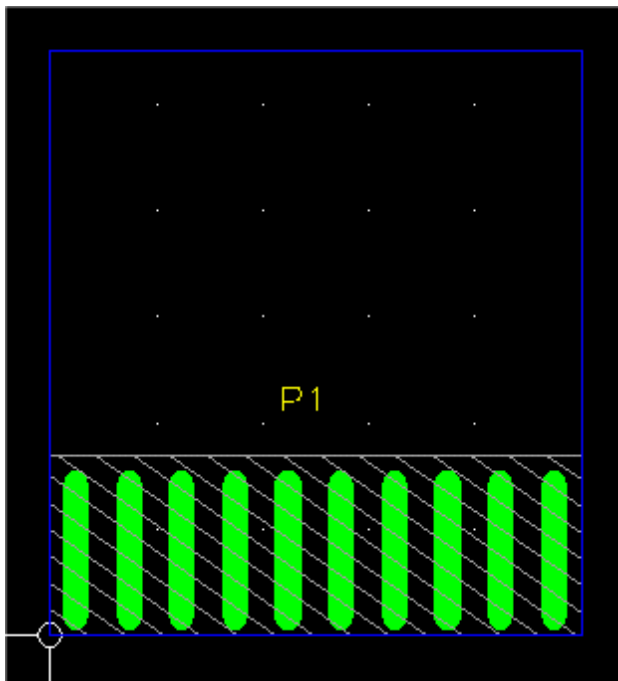
В паяльной маске должны быть сделаны вырезы для площадок, так как они требуют припоя. FreePCB создает эти вырезы автоматически в Gerber-файлах для уровней паяльной маски, используя зазор, определенный в САМ диалоге.

Иногда может появиться необходимость создания дополнительных вырезов в паяльной маске. Например, у торцевых разъемов платы должно быть открытие вокруг них, чтобы предотвратить "перемычки" маски припоя между площадками соединителя. Или, Вы могли бы хотеть иметь область пустой меди для экранирования или охлаждения. В FreePCB эти открытия упоминаются как вырезы **cutouts**. Вы можете добавить вырезы в слое паяльной маски используя [Add > Solder Mask Cutout](#). Это вызывает следующий диалог:



Вы должны выбрать верхний или нижний слоя паяльной маски и шаблон штриховки **hatch pattern**. После нажатия ОК Вы можете рисовать контур выреза в виде замкнутой ломанной линии, так же как контур платы или полигона. Вырез отображается в цвете для "top sm cutout" или "bot sm cutout" слоя из списка слоёв.

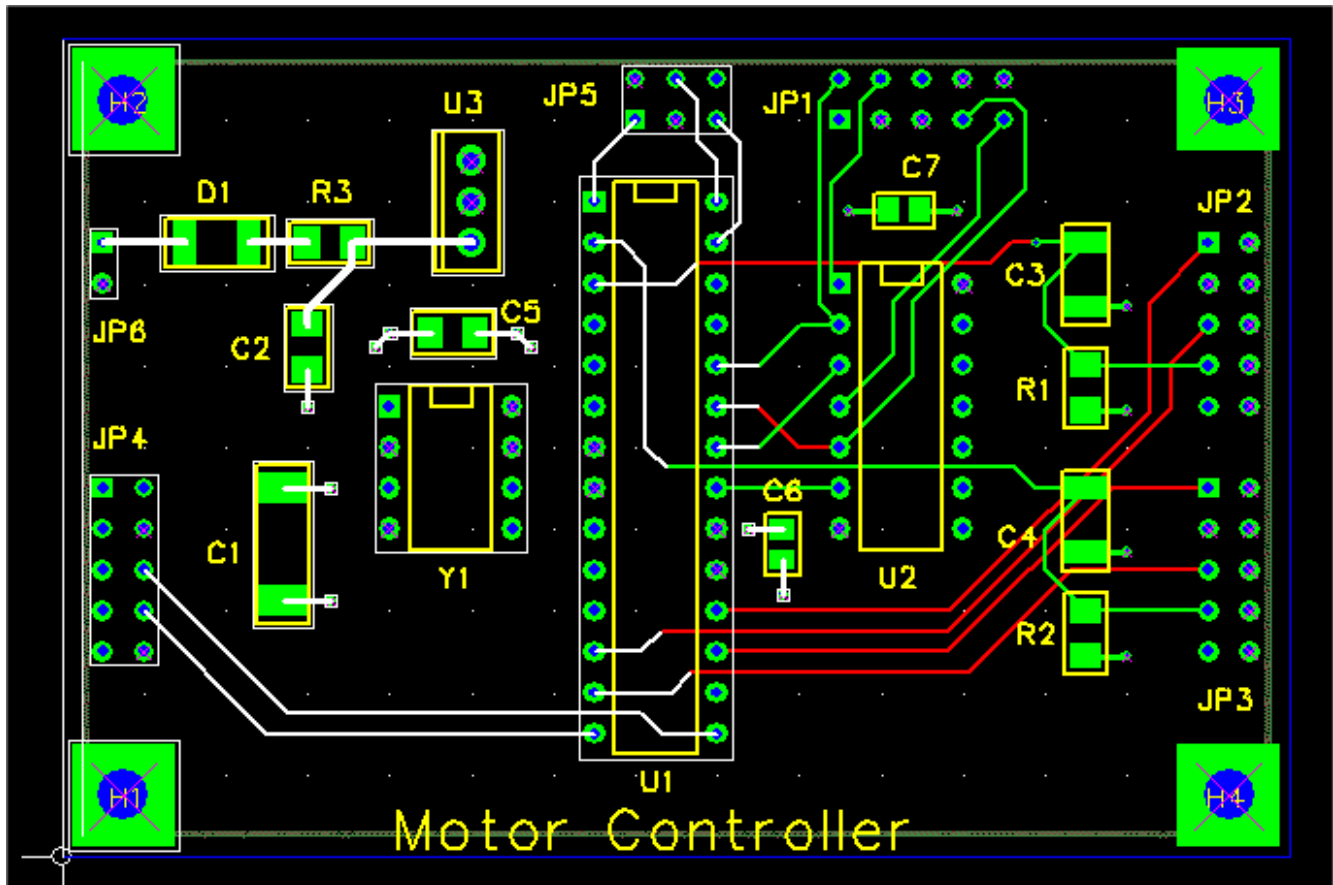
Пример выреза в паяльной маске вокруг торцевого разъёма показан ниже.



Для двустороннего торцевого разъема вырезы должны быть сделаны на обоих верхнем и нижнем слоях паяльной маски.

5.18 Группы

Помимо манипулирования отдельными элементами PCB, Вы можете также выполнить операции на группах **groups** элементов. Группа может содержать любые элементы PCB. Чтобы выбрать группу элементов, кликните левой кнопкой мышки и, не отпуская левую кнопку, перемещайте её так, чтобы прямоугольник выбора охватил их. Они будут подсвечены, как показано в скриншоте ниже:



К группе выбранных, отдельные элементы могут быть добавлены или удалены, кликая по ним с нажатой клавишей "ctrl". Маска выбора может быть полезной в процессе этого. Следующие операции могут быть выполнены на группах:

- **Move** — Чтобы переместить группу, нажмите F4 ("Move Group"). Группа элементов исчезнет из окна проекта, и Вы будете перетаскивать представление схемы группы. Используйте левый клик, чтобы поместить группу в новую позицию.
- **Delete** - Нажмите клавишу "Delete" или F8 ("Delete Group"), чтобы удалить группу из проекта. Имейте в виду, что некоторые элементы группы не могут быть удалены. В общем, элементы полигона, такие как контур платы, медные области, и т.д. будут удалены только в том случае, если весь полигон был включен в группу. Для сегментов дорожки будет просто отменена трассировка.
- **Copy** - Чтобы скопировать группу в буфер обмена, используйте ctrl-C или выберите **Edit > Copy**. Не все элементы могут быть скопированы. Элементы полигона будут скопированы, если только весь полигон будет включен в группу. Дорожки будут скопированы, если только корпус(ы), содержащие выводы, к которыми те подключены, будут также скопированы.
- **Cut** - Для этой функции, используйте ctrl-X или выберите **Edit > Cut**. Это всего лишь комбинация операций Copy и Delete.

Paste - После того, как группа была скопирована в буфер обмена, она может быть вставлена в проект нажатием комбинации ctrl-V или выбором **Edit > Paste**. Вставка является сложной операцией, потому что элементы в группе, вероятно, придется переименовать прежде, чем они будут добавлены к проекту, чтобы избежать конфликтов с существующими названиями. Диалог **Paste Group** появится, как показано ниже. Для корпусов в группе (Group parts) есть опция переименования их или опция многократно использовать оригинальные позиционные обозначения. Для цепей (Group nets) есть выбор переименования или объединения их с существующими цепями, имеющими то же название в проекте.

Paste Group

You are pasting a group of parts and trace segments into the project.
You must choose how to handle the parts and nets in the group.

Group parts

☒ Use next available number for each part
☐ Try to retain reference designators, notify and renumber if conflicts
☐ Add fixed offset of

Nets assigned to pins: ☒ Retain all
☐ Retain if pin connected to a trace in the group

Group nets (pin connections and traces)

☐ Merge group nets with project nets of same name
☒ Use checkboxes in list below to select nets to merge, rename the rest

Sel	Name	Pins	Width	Via W	Hole
☐	VCC	5	0	0	0
☐	N07325	2	0	0	0
☐	N06956	3	0	0	0
☐	GND	11	0	0	0
☐	N00534	2	0	0	0
☐	N01526	1	0	0	0
☐	N01538	1	0	0	0

Rename unselected nets:
☒ Add "\$Gn" suffix, where n is incremented for each group pasted
☐ Generate new names with "Nnnnnn" format

☒ Drag to position
☐ Offset from original position: X Y Units

OK Cancel

- **Save to file** — Используйте **Edit > Save to File...**, чтобы сохранить группу как проектный файл. Этот файл может быть открыт для редактирования или вставлен в другой проект (см. ниже).
- **Paste from file** — Используйте **Edit > Paste from File...**, чтобы вставить проектный файл в текущий проект как группу. Диалог **Paste Group** появится, как показано выше.

Имея некоторый творческий потенциал Вы можете найти широкое использование для групповых операций в Ваших проектах. Например, чтобы отменить трассировку дорожек в проекте, установите маску выбора для выбора дорожек, выделите все дорожки в проекте и нажмите "Delete".

5.19 Проверка правил проекта (Design Rule Checking)

В идеальном мире, печатная плата всегда изготавливается точно так, как определено в Gerber-файлах и сверловки. В реальной жизни, конечно же, это не так. Из-за неточности процесса травления, медные области могут оказаться немного большими или меньшими чем указано. Слои многослойных плат, скорее всего, не выстроятся точно в линию, а размер и позиция отверстий могут измениться из-за производственных допусков. В практических терминах это означает, что существуют требования минимальной ширины дорожки, размеров площадки и зазоров между дорожками и/или отверстиями. Эти требования называют правилами проектирования **Design Rules** и изменяют в зависимости от производственного процесса.

Изготовитель PCB должен обеспечить правила проектирования для каждого процесса, который он предлагает.

Например, правила проекта, зарегистрированные в Интернете для дешевых процессов Advanced Circuits, показаны ниже:

Minimum trace width Минимальная ширина дорожки	0.008 inch (0.2032 мм)
Minimum clearance between copper features Минимальный зазор между медью	0.008 inch (0.2032 мм)
Minimum distance from copper to edge of PCB Минимальное расстояние от меди до края платы	0.014 inch (0.3556 мм)
Minimum annular ring width (pins) Минимальная ширина дужки для круглой контактной площадки вывода	0.007 inch (0.1778 мм)
Minimum annular ring width (vias) Минимальная ширина дужки для круглой контактной площадки перехода	0.005 inch (0.127 мм)
Minimum silkscreen line width Минимальная ширина линии шелкографии	0.008 inch (0.2032 мм)

Правила проекта для дешевых процессов PCB Express:

Minimum trace width Минимальная ширина дорожки	0.007 inch (0.1778 мм)
Minimum clearance between copper features Минимальный зазор между медью	0.007 inch (0.1778 мм)
Minimum distance from copper to edge of PCB Минимальное расстояние от меди до края платы	0.020 inch (0.508 мм)
Minimum space between pads (using solder mask clearance of 0.004 inch) Минимальное пространство между площадками (используя маску припоя с зазором 0.1016 мм)	0.013 inch (0.3302 мм)
Minimum annular ring width (pads and vias) Минимальная ширина дужки для круглой контактной площадки	0.0085 inch (0.2159 мм)
Minimum clearance from inner layer holes to copper Минимальный зазор между медью внутреннего слоя и отверстием	0.0175 inch (0.4445 мм)
Minimum silkscreen line width Минимальная ширина линии шелкографии	0.007 inch (0.1778 мм)

Если Вы делаете плату самостоятельно, Вы должны будете определить свои собственные правила проекта.

FreePCB имеет контроль правил проектирования **Design Rule Checker**, который проверяет Ваш проект на соответствие установленным правилам проектирования. Выбор [Tools > Design Rule Check](#) вызывает следующий диалог:

Design Rule Check

☐ Show unrouted connections as errors

Minimum distance allowed

UnitsMIL

trace width

10

pad to pad

10

pad to trace

10

trace to trace

10

hole to pad or trace

15

hole to hole

25

annular ring (pins)

7

annular ring (vias)

5

board edge to any copper

25

board edge to hole

25

copper area to copper area

10

Check

Close

Переключатель [Show unrouted connections as errors](#) позволяет Вам обрабатывать ошибки подключения как ошибки DRC. Другие поля в диалоге объяснены ниже:

trace width	Минимально допустимая ширина дорожки
pad to pad	Минимальное расстояние между краями площадок, находящихся в разных цепях
pad to trace	Минимальное расстояние между краем площадки и дорожкой, находящихся в разных цепях
trace to trace	Минимальное расстояние между краями дорожек, находящихся в разных цепях
hole to pad or trace	Минимальное расстояние от края отверстия до площадке или дорожке другой цепи
hole to hole	Минимальное расстояние от края отверстия до края другого отверстия
annular ring (pins)	Минимальная ширина меди окружающей отверстия для круглой контактной площадки вывода
annular ring (vias)	Минимальная ширина меди окружающей отверстия для переходного отверстия
board edge to any copper	Минимальный зазор между любой медью и краем платы
board edge to hole	Минимальный зазор между краем отверстия и краем платы
copper area to copper area	Минимальный зазор между областями меди

Вы должны заполнить эти поля для правил проекта, которые Вы используете. Если изготовитель PCB не указывает значений для некоторых полей, Вы должны будете предположить их разумное значение. Например, параметры настройки, которые я использовал бы для Advanced Circuits, показаны ниже:

Design Rule Check

☐ Show unrouted connections as errors

Minimum distance allowed

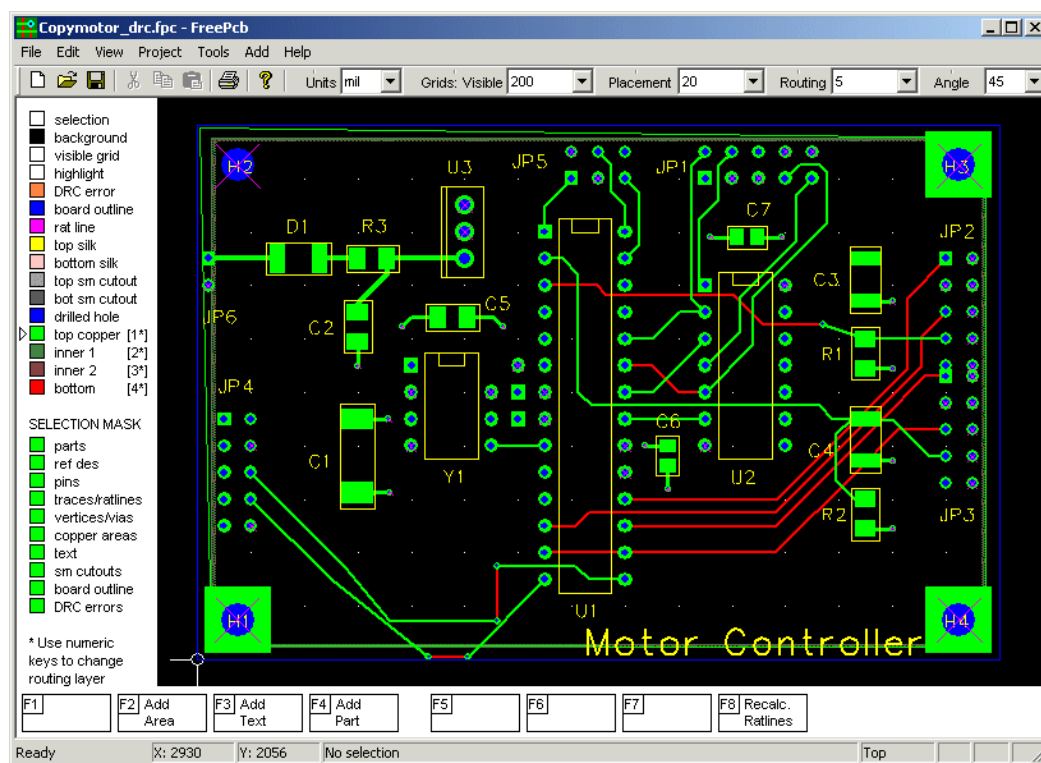
Units: MIL

trace width	8
pad to pad	8
pad to trace	8
trace to trace	8
hole to pad or trace	25
hole to hole	25
annular ring (pins)	7
annular ring (vias)	5
board edge to any copper	14
board edge to hole	25
copper area to copper area	8

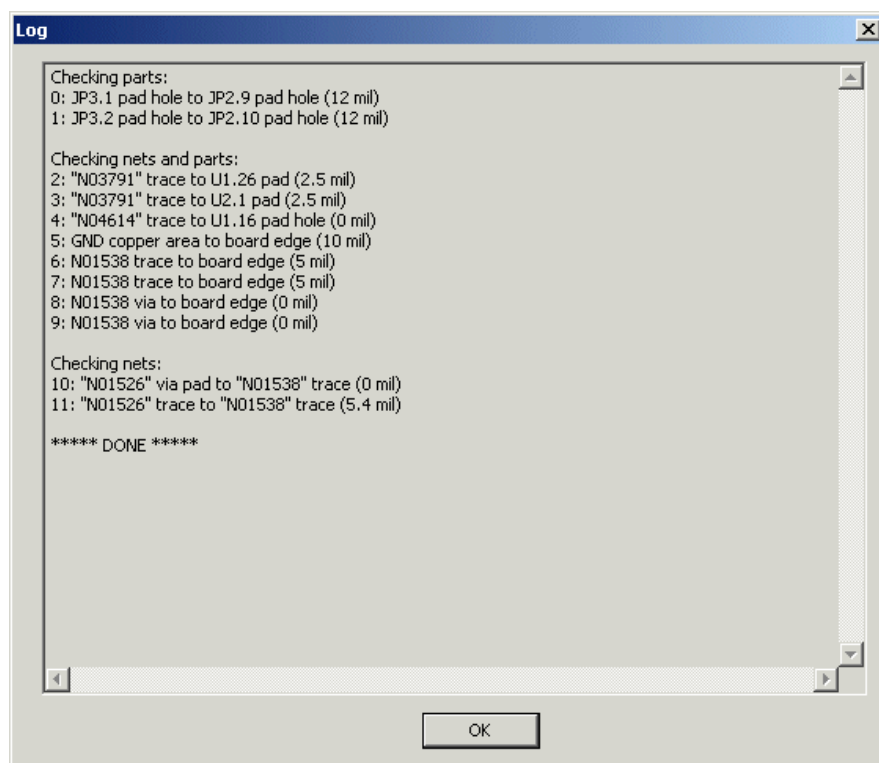
Check Close

Установки для [trace width](#), [pad to pad](#), [pad to trace](#), [trace to trace](#), [annular ring \(pins\)](#), [annular ring \(vias\)](#), [board edge to any copper](#), [hole to pad or trace](#) и [copper area to copper area](#) были взяты из правил проектирования, зарегистрированных в Интернете. Поскольку там не было правил для [hole to pad or trace](#), [hole to hole](#) или [board edge to hole](#), я использовал 25 mils, который похожи на разумное значение. В случае необходимости, я могу уточнить это у производителя PCB.

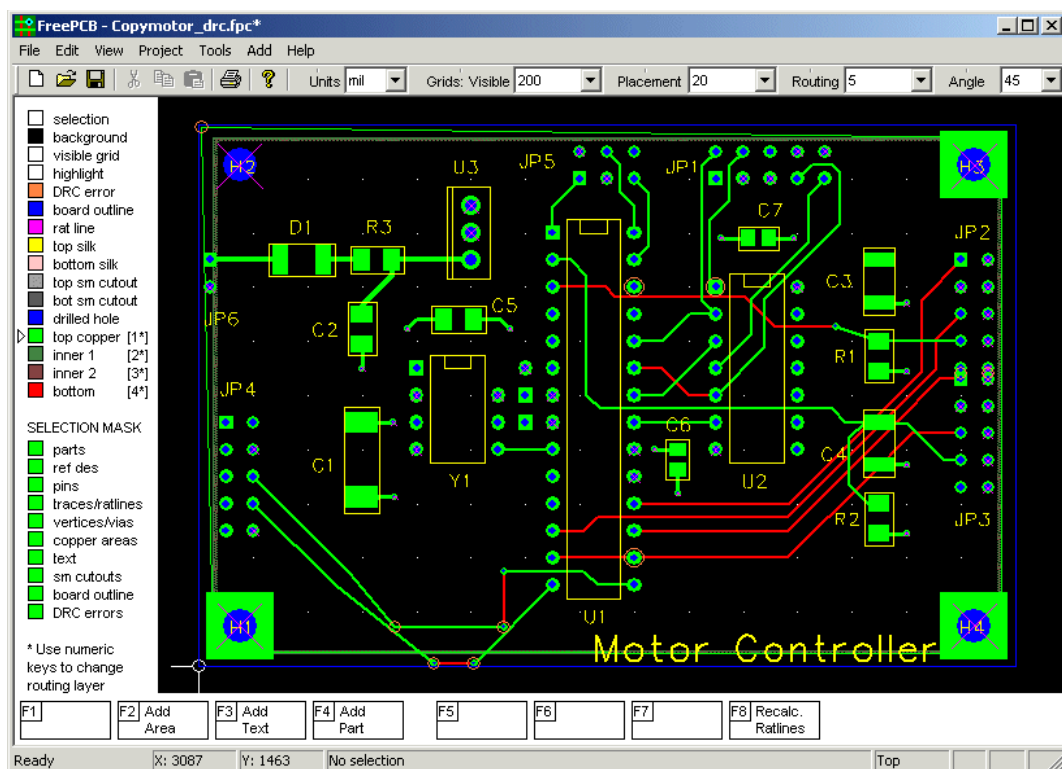
В качестве примера, давайте проверим проект, показанный ниже, который содержит множественные намеренные нарушения.



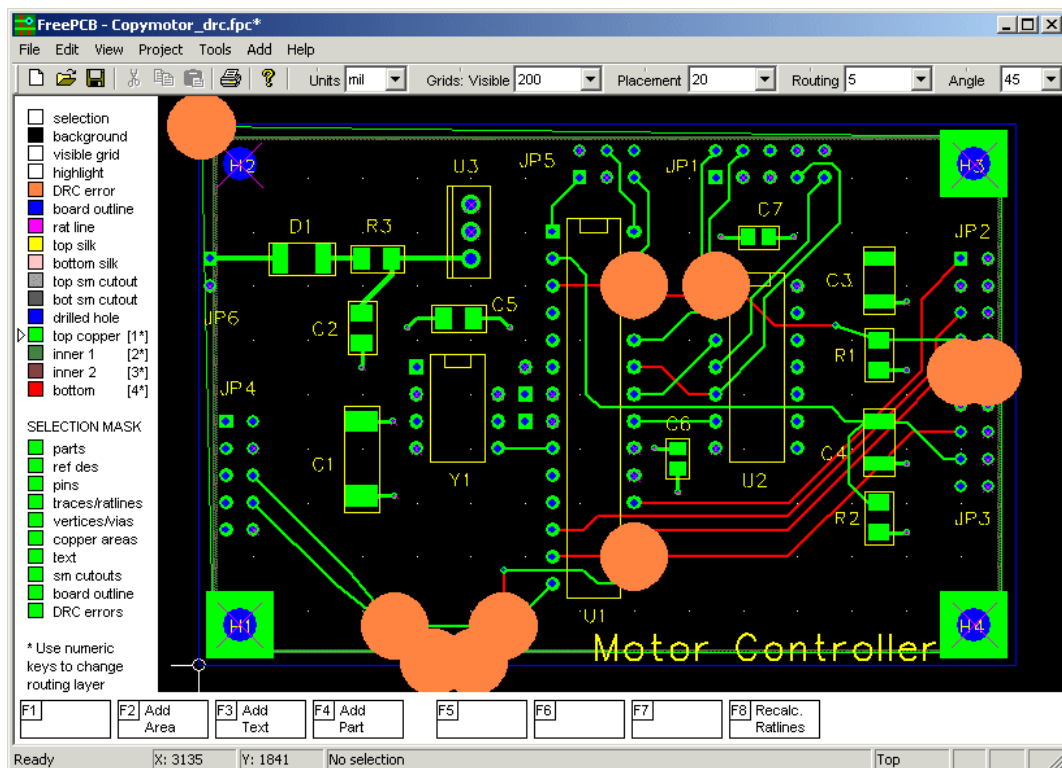
Чтобы проверить проект, выберем [Tools > Design Rule Check](#) и установим правила проектирования указанные выше. Кликнув [Check](#) запускаем проверку и получаем следующий диалог, который перечисляет все нарушения.



Когда Вы закроете диалог [Design Rule Check](#), каждое нарушение будет обозначено в окне схемы размещения маленьким кольцом в цвете для ошибок DRC, как показано ниже.

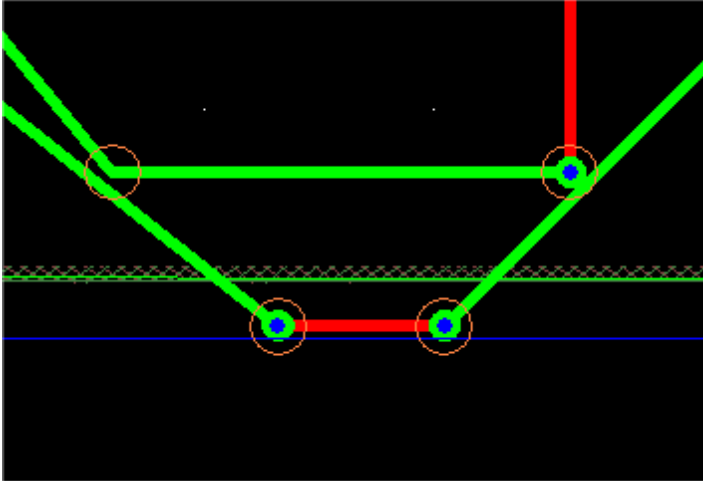


Эти маленькие кольца может быть сложно заметить в плотном проекте.

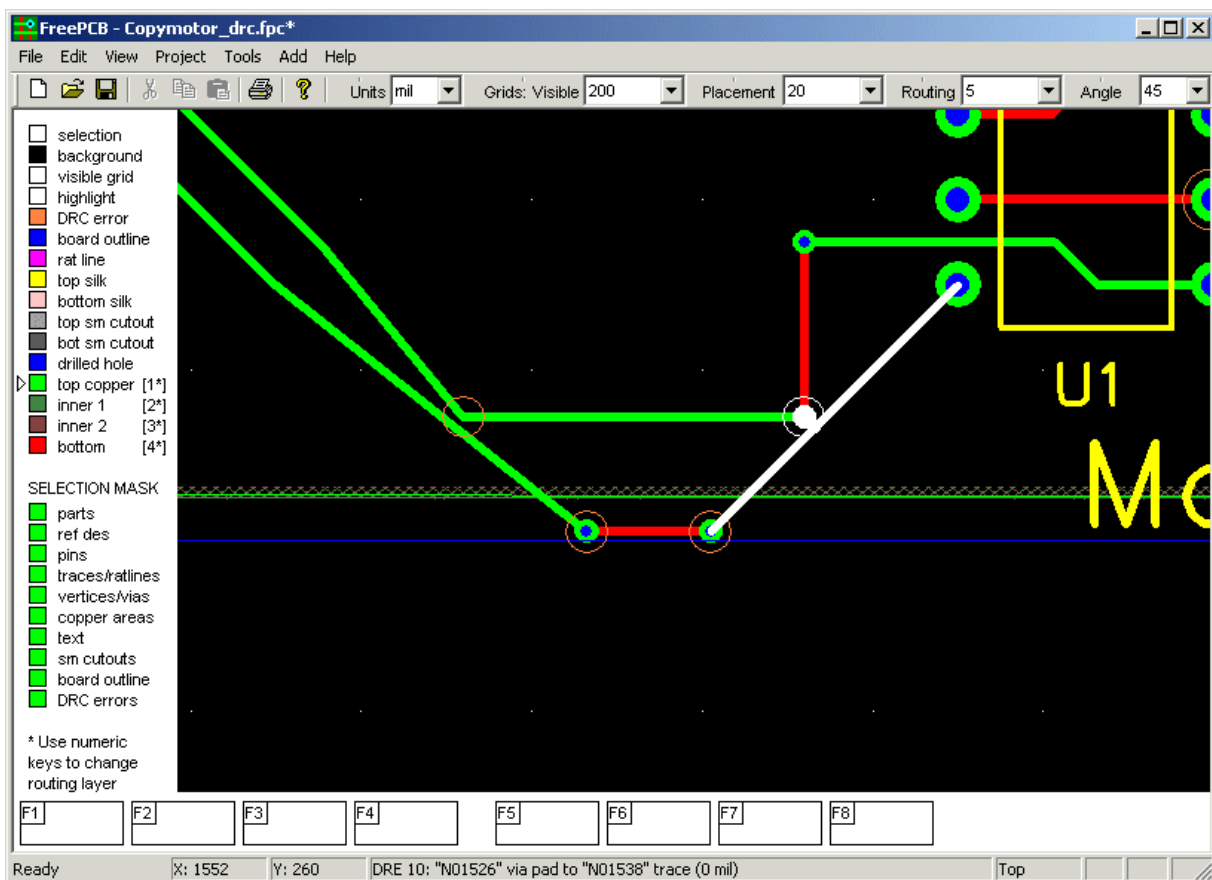


Если вы держите нажатой клавишу "d", то каждое кольцо будет преобразовано в большой сплошной круг, как показано.

Теперь Вы можете увеличить отдельные ошибки и исправить их. Группа ошибок вблизи от края платы показана ниже.



Вы можете выбрать одну из ошибок, нажимая на кольцо. Оно будет подсвечено, наряду с элементами, которые вызвали ошибку, и строка состояния покажет описание ошибки. В скриншоте ниже, я нажал на крайнюю справа ошибку.



В этом случае, ошибкой есть нарушение расстояния между площадками, где расстояние - 0 mils вместо допустимых минимальных 8 mils. Мы можем устранить ошибку, переместив площадку и/или дорожку. Кольцо ошибки не будет автоматически удалено, когда Вы устраните ошибку, но Вы можете удалить его, выбрав и нажав клавишу "Delete". Вы можете удалить все ошибки, выбирая [Tools > Clear DRC Errors](#).

Важное примечание: Согласие с некоторыми правилами проекта также зависит от Ваших параметров настройки файла Gerber. Например, параметры настройки показанные ниже могут создать нарушение минимальной ширины линии шелкографии (которая должна быть по крайней мере 7 mils для Advanced Circuits) и ширины кольца для выводных контактных площадок (которая должна быть по крайней мере 7 mils), таким образом они должны быть изменены на подходящие для правил проекта.

Generate Gerber and Drill Files

Files

- ☒ Drill file
- ☐ Board outline
- ☒ Top silkscreen
- ☒ Bottom silkscreen
- ☒ Top solder mask
- ☒ Bottom solder mask
- ☐ Top solder paste
- ☐ Bottom solder paste
- ☒ Top copper
- ☒ Bottom copper
- ☒ Inner 1 copper
- ☒ Inner 2 copper
- ☐ Inner 3 copper
- ☐ Inner 4 copper
- ☐ Inner 5 copper
- ☐ Inner 6 copper

Gerber file options

- ☒ Include board outline in all Gerbers
- ☒ Add moires
- ☒ Add layer description text
- ☒ Add pilot holes to pads and vias
- ☒ Use thermal reliefs for pins
- ☒ Use thermal reliefs for vias
- ☒ Make cutouts in solder mask for vias

Panelizing

Number of boards (x)

Number of boards (y)

Spacing edge-edge (x)

Spacing edge-edge (y)

Gerber file dimensions

Units:

Copper to copper-fill clearance

Hole-edge to copper-fill clearance

Solder mask clearance

Pilot hole diameter

Minimum silkscreen line width

Thermal relief line width

Board outline line width

Annular ring width (pins)

Annular ring width (vias)

Shrink SMT pads for paste mask

Output folder: ...

Другое примечание: Если Вы нашли эту часть сбивающей с толку, некоторые изготовители РСВ предоставляют информацию о правилах проекта на их вебсайтах.

5.20 Экспорт файлов сверления и Gerber

5.20.1 Создание Файлов

Конечным шагом в проекте РСВ является экспорт файлов, которые фирма изготовитель будет использовать, чтобы произвести Ваши платы. Эти файлы описаны ниже.

- **Gerber файлы** - Эти файлы используются, чтобы создать фотошаблон, которое будет использоваться, чтобы сделать медные слои, слои шелкографии и маски для РСВ. Там есть один файл для каждого слоя или маски. Используется расширенный формат Gerber RS274X.
- **Файл сверловки** - Этот файл будет использоваться машиной, которая сверлит отверстия в РСВ. Здесь используется формат Excellon, который является отраслевым стандартом. В основном, он начинается со списка размеров свёрл (в дюймах), а затем дает координаты центра каждого отверстия. **Есть важная проблема относительно размеров свёрл, которая обсуждена в Разделе 5.19.3: Размеры свёрл.**
Пожалуйста читайте этот раздел прежде, чем Вы пошлете свои файлы в фирму изготовитель РСВ.

Чтобы экспортировать файлы сверловки и Gerber-файлы, выберите [Generate CAM files...](#) из меню [File](#). Появится следующий диалог.

Generate Gerber and Drill Files

Files

- ☒ Drill file
- ☐ Board outline
- ☒ Top silkscreen
- ☒ Bottom silkscreen
- ☒ Top solder mask
- ☒ Bottom solder mask
- ☐ Top solder paste
- ☐ Bottom solder paste
- ☒ Top copper
- ☒ Bottom copper
- ☒ Inner 1 copper
- ☒ Inner 2 copper
- ☐ Inner 3 copper
- ☐ Inner 4 copper
- ☐ Inner 5 copper
- ☐ Inner 6 copper

Gerber file options

- ☒ Include board outline in all Gerbers
- ☒ Add moires
- ☒ Add layer description text
- ☒ Add pilot holes to pads and vias
- ☒ Use thermal reliefs for pins
- ☒ Use thermal reliefs for vias
- ☒ Make cutouts in solder mask for vias

Panelizing

Number of boards (x)

Number of boards (y)

Spacing edge-edge (x)

Spacing edge-edge (y)

Gerber file dimensions

Units:

Copper to copper-fill clearance

Hole-edge to copper-fill clearance

Solder mask clearance

Pilot hole diameter

Minimum silkscreen line width

Thermal relief line width

Board outline line width

Annular ring width (pins)

Annular ring width (vias)

Shrink SMT pads for paste mask

Output folder: ...

В секции [Files](#), выберите файлы, которые Вы хотите генерировать, проверяя или не проверяя поля рядом с каждым.

Секция [Gerber file options](#) позволяет Вам выбрать или снять выбор следующих опций:

- [Include board outline](#) - установить этот флажок, чтобы включать контур платы во всех Gerber-ах.
- [Add moires](#) - добавляет символы муара (иногда называемых "целями") для регистрации слоя.
- [Add layer description text](#) - добавить текстовую строку в каждый Gerber файл, указывающий слой который он представляет.
- [Add pilot holes to pads and vias](#) - добавляет пилотное отверстие к контактным площадкам с отверстием и переходам на верхнем и нижнем слоях, чтобы помочь в сверлении.
- [Use thermal reliefs for pins](#) — при подключении контактных площадок с отверстиями к внутренним медными слоям, использовать тепловой барьер.
- [Use thermal reliefs for vias](#) - при подключении обрубленных дорожек к внутренним медным слоям с переходами, использовать тепловой барьер.
- [Make cutouts in solder masks for vias](#) - создавать открытия в масках припоя вокруг переходных площадок.

Секция [Gerber file dimensions](#) позволяет Вам устанавливать значения для следующего:

- [Copper to copper-fill clearance](#) - является зазором, который FreePCB создаст вокруг дорожек или переходов, которые проходят через медные полигоны.
- [Hole-edge to copper-fill clearance](#) - является зазором, который будет создан вокруг просверленных отверстий. Пожалуйста обратитесь к [Разделе 5.194: Зазоры сверловки](#) для важного примечания об этих зазорах.
- [Solder mask clearance](#) - пространство, которое FreePCB обеспечит вокруг площадок в масках припоя.
- [Pilot hole diameter](#) - диаметр пилотных отверстий, если Вы выбрали их.
- [Minimum silkscreen stroke width](#) - минимальная ширина штриха, которую FreePCB будет использовать для слоя шелкографии, которая обычно рекомендуется производителем платы.
- [Thermal relief line width](#) - ширина линий, которые будут использоваться, чтобы подключить площадки или переходы к полигону, используя тепловой барьер.
- [Board outline line width](#) - ширина контурной линии платы, если используется.
- [Annular ring width \(pins\)](#) and [Annular ring width \(vias\)](#) - ширина медных колец помещенный во внутренних слоях вокруг штыревого вывода и переходного отверстия, подключенных тепловым барьером к медным полигонам.

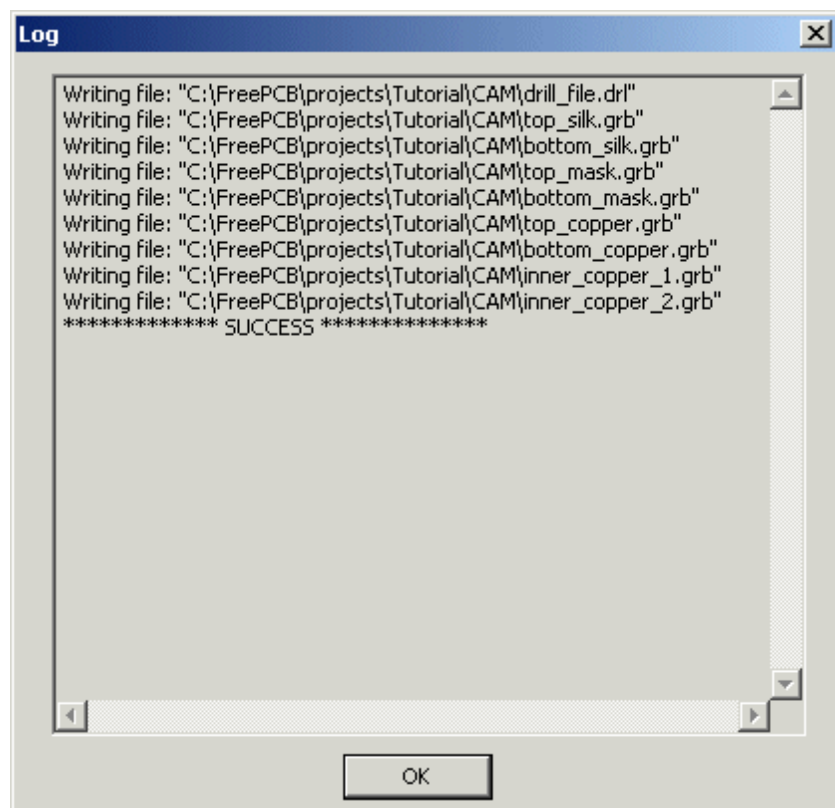
Секция [Panelizing](#) позволяет Вам размножить Ваш проект, создавая множественные копии PCB в файлах Gerber:

[Number of boards \(x\)/\(y\)](#) - число копий в каждой оси.

[Spacing edge-edge \(x\)/\(y\)](#) - зазор между краями копий в каждой оси.

Когда Вы кликаете [Create Files](#), файлы будут записаны в [Output folder](#). По умолчанию, это — вложенная папка **CAM**, расположенная в папке проекта. Папка будет создана, если не существовала. Вы можете изменить папку вывода, или сбросить установленную папку к заданной по умолчанию, при помощи кнопки [Set default](#).

Если все сделано правильно, Вы увидите следующий [Log](#) диалог, с "**** SUCCESS ****" конечной строкой. Если в процессе генерации файлов произойдут ошибки, в логфайле будут соответствующие сообщения. Если ошибка произойдет в процессе генерации файла, то FreePCB прерывает генерацию этого файла и переходит к следующему. Каждый файл называют согласно его информационного наполнения, такого как **top_copper.grb** или **drill_file.drl**.

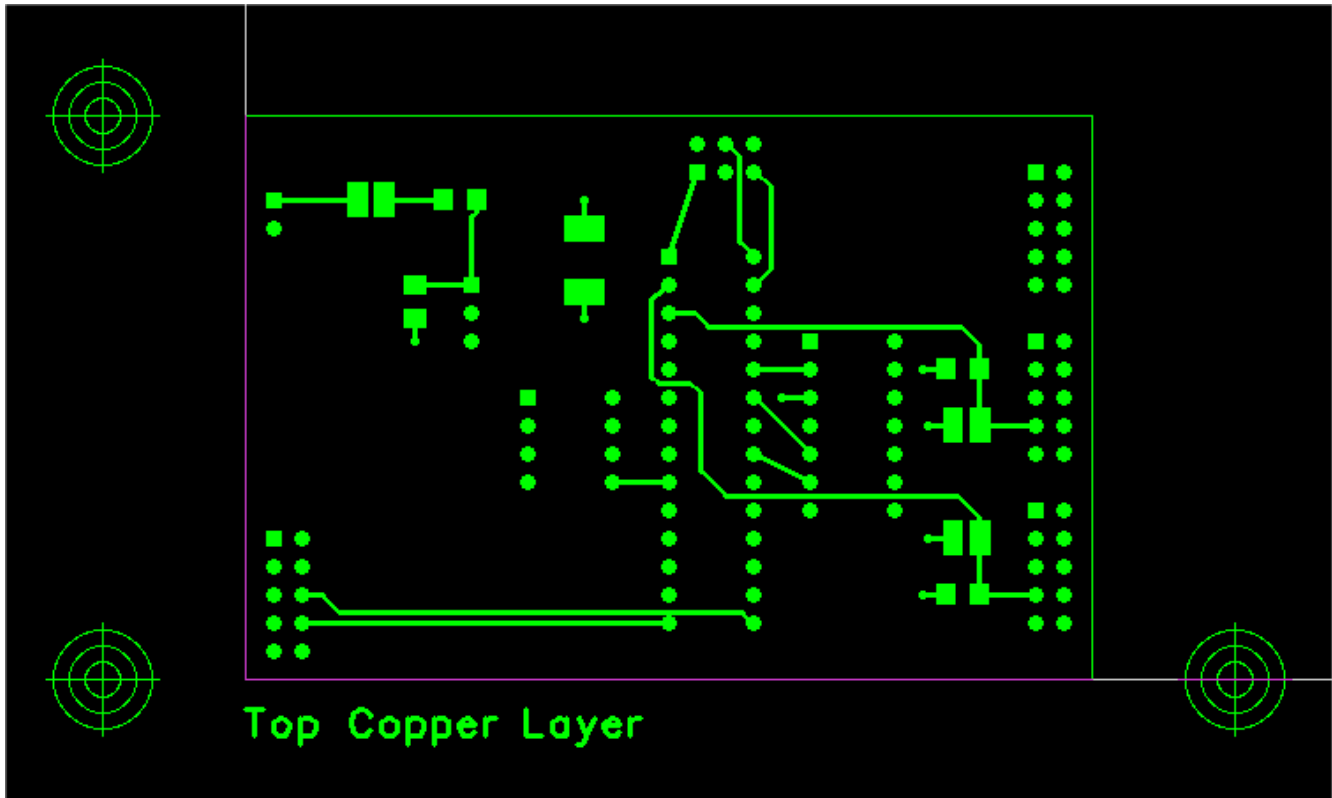


Кликните ОК, чтобы закрыть логфайл.

Когда Вы закончили создание файлов, нажмите [Exit](#) в диалоге [Generate Gerber and Drill Files](#).

5.20.2 Просмотр и Печать Файлов

Есть много бесплатных программ, которые позволяют Вам просматривать Gerber-файлы и файлы сверловки. Прежде, чем посылать Ваши файлы производителю, я **НАСТОЙЧИВО** предлагаю Вам проверить их одной из этих программ. Я использую **ViewMate** от **PentaLogix** (прежде Lavenir). Вы можете загрузить этот выювер по адресу www.pentalogix.com/Download/download.html. ViewMate позволяет Вам рассматривать и файлы Gerber и файлы сверловки, а также позволяет делать пробную печать на принтер. Так как функции печати в FreePCB еще не осуществлены, это в настоящее время - единственный способ напечатать Ваши проекты. Пример того как ViewMate отображает Gerber-файлы FreePCB показан ниже. Этот файл Gerber включает контурную линию платы, moiges и текстовое описание слоя ("Top Copper Layer").



5.20.3 Размеры свёрл

Файл сверловки определяет размер и позицию каждого отверстия в PCB. Проблема, которая возникает с этими файлами, это преобразование размера отверстия к фактическому размеру сверла (когда конечный диаметр отверстия будет на несколько mils меньше после металлизации) или конечному размеру (или покрытый металлом размер), который является конечным размером отверстия после металлизации. Мне имеет больше смысла определять конечный размер и позволять производителю платы выбирать, какое сверло использовать, так как они лучше знают, насколько толстым будет их слой металлизации. FreePCB футпринты используют конечные размеры, таким образом это те размеры, которые появляются в файле сверловки.

Вы ДОЛЖНЫ уточнить эти размеры с вашим производителем, поскольку некоторые из них ожидают фактические диаметры сверла, которые должны быть больше конечного размера отверстия. В этом случае, Вам, вероятно, придется редактировать файл сверловки и увеличить размеры практической обработки соответственно. Ваш производитель платы должна быть в состоянии помочь с этим, если они понимают то, что Вы хотите.

Типовой файл практической обработки показан ниже.

```
;Holesize 1 = 24.0 PLATED MILS  
;Holesize 2 = 18.0 PLATED MILS  
;Holesize 3 = 14.0 PLATED MILS
```

M48

INCH

T01C0.024

T02C0.018

T03C0.014

%

G05

G90

T01

X028000Y018000

X029000Y018000

X028000Y017000

X023000Y010000

X023000Y011000

X023000Y012000

T02

X012000Y017000

X006000Y012000

X012000Y012800

X024000Y011000

X024200Y009000

X024200Y005000

X024000Y003000

T03

X019000Y010000

M30

Строки, которые начинаются с символа ";" являются комментариями. Каждый различный размер отверстия описан в комментарии, как

```
;Holesize 1 = 24.0 PLATED MILS
```

который указывает диаметр отверстия 24 mils, после металлизации. Строка

```
T01C0.024
```

является фактической командой для машины, которая устанавливает размер сверловки, в дюймах.

Если необходимо изменить размер сверления, чтобы учесть металлизацию, Вы должны изменить и комментарий и машинную команду. Например, чтобы использовать 28 mil сверло вместо 24 mil сверла, измените комментарий на

```
;Holesize 1 = 28.0 UNPLATED MILS
```

и машинная команда к виду

```
T01C0.028
```

Некоторые производители платы попросят отдельный текстовый файл, который перечисляет размеры сверления.

Вы можете посоветовать им смотреть на комментарии в начале файла практической обработки, или можете скопировать их в отдельный файл.

5.20.4 Зазоры сверления (Drill Clearances)

Производители плат будут часто рекомендовать "drill clearance". Это - минимальный рекомендуемый размер зазора вокруг отверстия во внутреннем слое меди, который создаётся вокруг отверстий и позволяет безопасный проход отверстия через внутренние слои без коротких замыканий. Как правило, он определяется как что-то типа "диаметр сверла плюс 0.025 дюйма". Это отсылает к **ДИАМЕТРУ** зазора отверстия. FreePCB использует [Hole-edge to copper-fill clearance](#) значение, чтобы создавать эти зазоры. Однако, так как FreePCB обрабатывает этот зазор как расстояние между краем отверстия и краем меди, это будет разницей **РАДИУСОВ** отверстий, которая является половиной разницы диаметров. Поэтому, чтобы создать зазор сверления "диаметр сверла плюс 0.025 дюйма", Вы должны использовать [Hole-edge to copper- fill clearance](#) одной половины 0.025 дюймов, или 12.5 mils. Это стоит округлить в большую сторону к 13 mils.

6. Футпринты и Библиотеки

6.1 Библиотеки футпринтов

Футпринты сохранены в библиотечных файлах **library files**, у которых есть расширение **.fpl**. Каждый файл содержит множество футпринтов, обычно для упаковок того же самого типа. FreePCB уже идет с рядом библиотечных файлов, большинство которых было получено путём преобразования библиотек от **Ivex Design International Inc.**, производителя коммерческого программного обеспечения ECAD, которое обанкротилось в прошлом году. Эти файлы организованы в три группы:

- Основные библиотеки (Core libraries) — Это наиболее часто используемые библиотеки. Они расположены в папке **C:\FreePCB\lib**, если Вы сделали стандартную установку.
- Дополнительные библиотеки — Это библиотеки с реже используемыми корпусами. Они расположены в **C:\FreePCB\lib_extra**.
- Внесенные библиотеки - Библиотеки, внесенные пользователями. Они расположены в **C:\FreePCB\lib_contrib**.

Когда Вы создадите проект в FreePCB, Вы выберете библиотечную папку, чтобы использовать её для проекта. Обычно, это будет папка основной библиотеки. Если Вы должны использовать любые другие библиотеки, Вы должны скопировать их в папку оперативной библиотеки. Если хотите, можете скопировать ВСЕ файлы в папку оперативной библиотеки и таким образом они все будут в одном месте.

Вы можете создать свои собственные футпринты, используя Мастер создания футпринтов Footprint Wizard или редактор футпринтов **Footprint Editor**, которые рассмотрены в [Разделе 6.2: Мастер создания футпринтов](#) и [Разделе 6.3: Редактор футпринтов](#). Если бы Вы создали свои собственные футпринты, я рекомендовал бы сохранить их в отдельных библиотечных файлах вместо стандартных файлов, которые идут с FreePCB. Таким образом, если появятся обновления стандартных библиотек, Вы можете заменить их, не теряя Ваших собственных футпринтов. Каждый библиотечный файл документирован в файл формата PDF, у которого есть то же самое название как библиотечный файл за исключением расширения **.pdf** вместо **.fpl**. Если Вы ищете специфический футпринт, файлы формата PDF - лучшее место, чтобы смотреть. Вы можете также просмотреть диалог [Add > Part](#) для футпринтов, но файлы формата PDF содержат более подробную информацию, такую как общие размеры и размеры площадок. Если Вы создаете или изменяете свои собственные библиотеки, Вы можете сделать файлы формата PDF для них воспользовавшись пунктом меню [Tools > Make PDF from Library File...](#) в редакторе футпринтов. Библиотечные файлы, которые в настоящее время поставляются вместе с FreePCB, перечислены в секциях ниже. Отметьте, что файлы, содержащие футпринты с площадками под штыревые выводы, начинаются с "th _", в то время как футпринты с площадками SMT начинаются с "sm _".

6.1.1 Основная библиотека

Имя файла (.fpl)	Источник(и)	Тип	Описание
th_transistor	Ivex, JEDEC	through-hole	JEDEC TO-серии упаковок транзисторов и ИС
th_diode	Ivex, JEDEC	through-hole	JEDEC DO-серии диодных упаковок
th_capacitor	Ivex	through-hole	Конденсаторы, полярные и неполярные
th_resistor	Ivex	through-hole	Резисторы, включая потенциометры
th_connector	Ivex	through-hole	Соединители
th_header	Ivex	through-hole	Headers
th_sip	Ivex	through-hole	SIP (однорядная) упаковки (100 mil расстояние)
th_dip	Ivex	through-hole	DIP (двухрядная) упаковки (100 mil расстояние)
sm_resistor	Ivex, IPC	surface-mount	Чип резистор
sm_capacitor	Ivex, IPC	surface-mount	Чип и танталовые конденсаторы
sm_soic	Ivex, IPC	surface-mount	SOIC (small outline IC) packages
sm_sop	Ivex, IPC	surface-mount	SOP and TSOP (small outline package) packages
sm_soj	Ivex, IPC	surface-mount	SOJ (small outline J-lead) packages
sm_lcc	Ivex, IPC	surface-mount	LCC (leadless chip carrier) packages
sm_plcc	Ivex, IPC	surface-mount	PLCC (plastic leaded chip carrier) packages
sm_sot	Ivex, Siemens	surface-mount	SOT (small outline transistor) packages
led	Ivex	mixed	Светодиоды
test_point	Ivex	mixed	Тестовые точки

6.1.2 Дополнительные библиотеки (Extra libraries)

Имя файла (.fpl)	Источник(и)	Тип	Описание
sm_qfp	Ivex, IPC	surface-mount	PQFP, SQFP и QFP (quad flat-pack) упаковки (этот файл не находится в папке основной библиотеки, потому что слишком большой)
device	Ivex	mixed	Различные устройства
sm_tantalum_cap	Ivex	surface_mount	Танталовые конденсаторы от AVX
elfa_cap	Ivex	mixed	Конденсаторы из каталога ELFA
elfa_chk	Ivex	mixed	Различные устройства из каталога ELFA
elfa_pot	Ivex	mixed	Потенциометры из каталога ELFA
elfa_res	Ivex	mixed	Резисторы из каталога ELFA
flatpack	Ivex, JEDEC	mixed	Quad flatpacks
sm_ipc782		surface-mount	Различные устройства от IPC отсутствующие в других библиотеках
siemens2		mixed	Siemens LCC упаковки
siemens3		mixed	Siemens SO упаковки
siemens4		mixed	Siemens QFP упаковки
transformer		mixed	Трансформаторы
tx_inst		mixed	Различные упаковки Burr-Brown и Texas Instruments

6.1.3 Внесенные библиотеки

Имя файла (.fpl)	Источник(и)	Тип	Описание
flintstone	Аноним	смешанный	Различные реле, горшки, трансформаторы и соединители

6.2 Мастер создания футпринтов

Могут быть моменты, когда Вам потребуется футпринт, отсутствующий в одной из библиотек, поставляемых с FreePCB. Мастер футпринта является инструментом для генерации футпринта для множества стандартных упаковок. Он вызывается с помощью пункта меню [Tools > Footprint Wizard](#). Который вызывает следующий диалог:

Footprint Wizard

Name Type **QUAD** Units **mils**

Number of pins
Total Per horizontal row Per vertical row
Pin 1 position **bottom row, left-most pin**

Pads
Shape **Rectangular** Hole diameter (blank or 0 for SMT)
Width (X) Length (Y) Spacing (E) Corner radius (Rounded Rect)

Distance between top and bottom rows
☐ Inner-inner (G1)
☒ Center-center (C1)
☐ Outer-outer (Z1)

Distance between left and right rows
☐ Inner-inner (G2)
☒ Center-center (C2)
☐ Outer-outer (Z2)

Diagram showing footprint layout with dimensions: G1, G2, C1, C2, Z1, Z2.

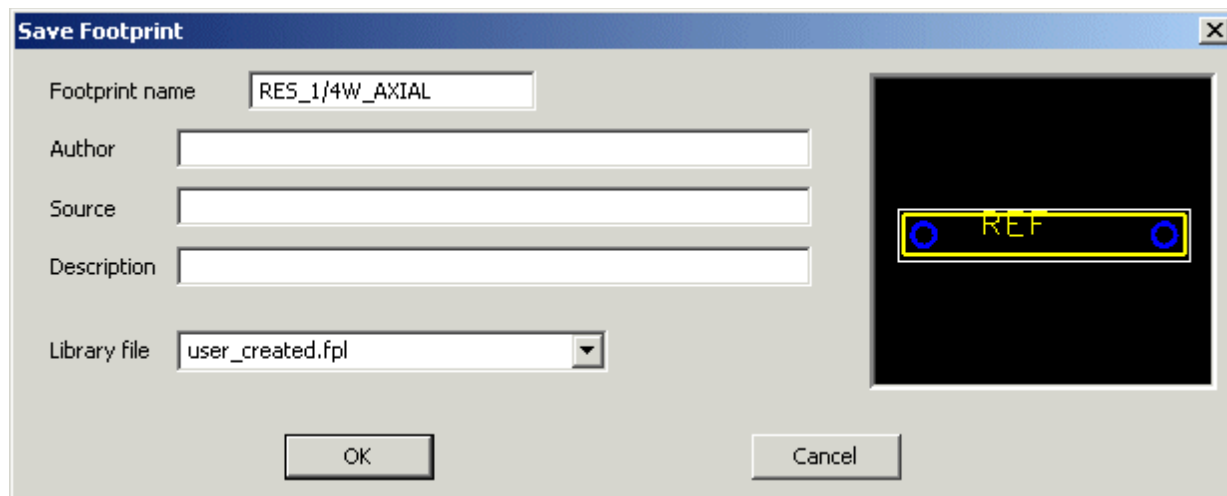
Buttons: Save, Exit, Preview

Футпринт создаётся, путем настройки различных опций управления в диалоге. Они описаны ниже:

- **Name** - Это название, которое будет назначено футпринту, когда он будет сохранен (например DIP28).
- **Type** - тип упаковки. Строка диаграммы выбранного типа будет показана в диалоге (QUAD в примере выше).
 - **SIP** (однолинейная упаковка) — содержит один ряд одного или более выводов.
 - **DIP** (двухлинейная упаковка) - две строки выводов, пронумерованных как для DIP IC упаковки.
 - **QUAD** - четыре строки выводов, упорядоченных как прямоугольник (как показано выше) и пронумерованный как для PLCC или QFP упаковки.
 - **HEADER** - выводов, упорядоченные в сетку и пронумерованные последовательно столбцом.
 - **HEADER2** - то же самое как **HEADER** кроме выводов, пронумерованных последовательно строкой.
 - **PGA/BGA** (массив штырьков или массив шариков) - выводы упорядочены в прямоугольнике, и обозначены, используя соглашение для массива решетки.
- **Units** - mils или мм.
- **Number of pins**
 - **Total** - общее количество выводов в упаковке.
 - **Per horizontal row** (только для упаковок QUAD, HEADER и PGA/BGA) - число выводов на горизонтальной строке.
 - **Per vertical row** (только для упаковок QUAD, HEADER и PGA/BGA) - это заполняется автоматически, для информации.
 - **Pin 1 position** (только для упаковок QUAD) — позиция первого вывода. Имеется три опции:
 - **top row, center pin** (верхний ряд, средний вывод)
 - **bottom row, left-most pin** (нижний ряд, крайний левый вывод)
 - **top row, left-most pin** (верхний ряд, крайний левый вывод)
- **Pads**
 - **Shape** — форма площадки. Имеется четыре опции:
 - **Rectangular** - прямоугольная площадка
 - **Pin 1 square, others round** - квадратная площадка для вывода 1, другие круглые
 - **Round** - круглые площадки
 - **Square** — квадратные площадки
 - **None** — используется для создания отверстия без площадки (например для монтажного отверстия).
 - **Hole diameter** - диаметр отверстия контактной площадки (пробел или "0" для площадки SMT). **Width (X)** - ширина площадки (показана как "X" в строке диаграммы).
 - **Length (Y)** - длина площадки (показана как "Y" в строке диаграммы).
 - **Spacing (E)** - интервал между центрами площадок в пределах строки ("E" в строке диаграммы).
- **Distance between top and bottom rows** — расстояние между верхним и нижним рядами. Выбирая одну из трех кнопок, можно установить расстояние как:
 - **Inner-inner (G1)** - расстояние между внутренними полями площадок ("G1" в диаграмме).
 - **Center-center (C1)** - расстояние между центрами площадок ("C1" в диаграмме).
 - **Outer-outer (Z1)** - расстояние между внешними полями площадок ("Z1" в диаграмме).
- **Distance between left and right rows** - расстояние между левым и правым рядами. Выбирая одну из трех кнопок, можно установить расстояние как:
 - **Inner-inner (G2)** - расстояние между внутренними полями площадок ("G2" в диаграмме).
 - **Center-center (C2)** - расстояние между центрами площадок ("C2" в диаграмме).
 - **Outer-outer (Z2)** - расстояние между внешними полями площадок ("Z2" в диаграмме).

Preview — клик по этой кнопке создает предварительный просмотр футпринта в диалоге.

Данные производителя являются лучшим источником размеров корпуса компонента. Обычно эта информация доступна через интернет. В некоторых случаях, изготовитель даже предлагает рисунок варианта футпринта PCB (для SMT компонентов, они часто упоминаются как "land patterns (образец посадки)"). После того, как параметры настройки для футпринта введены, кликните [Preview](#), чтобы увидеть его изображение. Если всё в порядке, то можно сохранить футпринт в библиотечном файле, кликнув Save. Это вызовет диалог сохранения футпринта показанный ниже.



The image shows a 'Save Footprint' dialog box with a blue title bar and a close button (X) in the top right corner. The dialog contains several input fields and a preview window. The 'Footprint name' field is filled with 'RES_1/4W_AXIAL'. The 'Author', 'Source', and 'Description' fields are empty. The 'Library file' field is a dropdown menu showing 'user_created.fpl'. To the right of these fields is a preview window showing a black background with a yellow rectangular outline and the text 'REF' in yellow. At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Field	Value
Footprint name	RES_1/4W_AXIAL
Author	
Source	
Description	
Library file	user_created.fpl

[Footprint name](#) (название футпринта) скопировано из мастера и при желании может быть изменено. [Author](#) (Автор), [Source](#) (Источник) и [Description](#) (Описание) могут быть заполнены текстом, описывающим футпринт. Строка [Library file](#) позволяет выбрать библиотечный файл или ввести имя нового файла, чтобы его создать. По умолчанию это будет файл с именем **user_created.fpl**.
Ниже дано несколько примеров футпринтов, созданных с помощью мастера.

6.2.1 Пример 1: Монтажное отверстие или контрольная точка с единственным выводом

Чтобы создать футпринт единственного вывода для монтажного отверстия или контрольной точки, установите **Type** в "SIP" и **Number of pins** в "1". Параметры настройки для монтажного отверстия с диаметром отверстия 100 mils и круглой площадкой диаметром 200 mils показаны ниже.

The screenshot shows the 'Footprint Wizard' dialog box with the following settings:

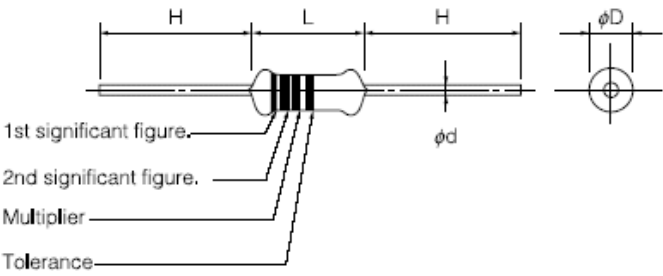
- Name:** HOLE_100_ROUND_200
- Type:** SIP
- Units:** mils
- Number of pins:**
 - Total: 1
 - Per horizontal row: 1
 - Per vertical row: 0
- Pin 1 position:** bottom row, left-most pin
- Pads:**
 - Shape: Round
 - Hole diameter (blank or 0 for SMT): 100
 - Width (X): 200
 - Length (Y): 200
 - Spacing (E):
 - Corner radius (Rounded Rect): 0
- Distance between top and bottom rows:**
 - Inner-inner (G1):
 - Center-center (C1):
 - Outer-outer (Z1):
- Distance between left and right rows:**
 - Inner-inner (G2):
 - Center-center (C2):
 - Outer-outer (Z2):

Diagrammatic elements include a pin placement schematic showing four pins in a row with dimensions E, X, and Y, and a preview image of a blue circular pad with a yellow square outline and the text 'REF'.

Buttons at the bottom: Save, Exit, Preview.

6.2.2 Пример 2: Резистор с осевыми выводами

■ Dimensions in mm (not to scale)



See Page ER150 for color code indication
Standard Quantity : 2000 pcs.

Type	Dimensions (mm)				Mass (mg)
	L	ϕD	ϕd	H	
ERDS1T ERDS1F	6.35 ^{+0.65} _{-0.35}	2.30 ^{+0.50} _{-0.30}	0.60 ^{+0.05}	20 min.	228
ERDS2T ERDS2F	3.20 ^{+0.20}	1.70 ^{+0.20} _{-0.10}	0.45 ^{+0.05}	20 min.	107
ERD25T ERD25F	6.35 ^{+0.65} _{-0.35}	2.30 ^{+0.50} _{-0.30}	0.60 ^{+0.05}	20 min.	228

Давайте начнём с изображения резистора, взятого из таблицы данных Panasonic. Этот футпринт будет для резистора мощностью 1/4Вт, типа ERD25.

Согласно таблицы данных, длина корпуса резистора составляет 6.35 мм. Чтобы учесть изгиб выводов, увеличим расстояние между контактными площадками до 12.5 мм. Диаметр выводов составляет 0.60 мм. Чтобы обеспечить монтажный зазор, используем диаметр отверстия 0.9 мм. Диаметр площадки бусть будет 1.4 мм. Установки мастера футпринтов показаны ниже.

Footprint Wizard

Name: RES_1/4W_AXIAL Type: SIP Units: mm

Number of pins
Total: 2 Per horizontal row: 2 Per vertical row: 0
Pin 1 position: bottom row, left-most pin

Pads
Shape: Round Hole diameter (blank or 0 for SMT): 0.9
Width (X): 1.4 Length (Y): 1.4 Spacing (E): 12.5 Corner radius (Rounded Rect): 0.000

Distance between top and bottom rows
☐ Inner-inner (G1) 0.000
☒ Center-center (C1) 0.000
☐ Outer-outer (Z1) 0.000

Distance between left and right rows
☐ Inner-inner (G2) 0.000
☒ Center-center (C2) 0.000
☐ Outer-outer (Z2) 0.000

Save Exit Preview

The preview shows a black rectangular footprint with a yellow rectangular body. Two blue circular pads are located at the ends of the body. A yellow label 'REF' is centered on the body.

6.2.3 Пример 3: DIP корпус с прямоугольными площадками

Здесь приводятся настройки для футпринта DIP интегральной схемы (ИС) с 20 штыревыми выводами. Стандартный DIP интервал между штыревыми выводами - 100 mils, а интервал между рядами выводов - 300 mils. Мы будем использовать прямоугольные площадки 80 x 40 mils в размере с отверстиями диаметром 25 mil.

Footprint Wizard

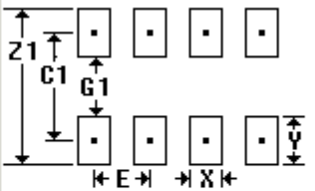
Name: Type: Units:

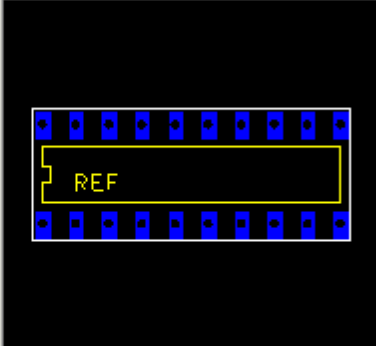
Number of pins:
Total: Per horizontal row: Per vertical row:
Pin 1 position:

Pads:
Shape: Hole diameter (blank or 0 for SMT):
Width (X): Length (Y): Spacing (E): Corner radius (Rounded Rect):

Distance between top and bottom rows:
☐ Inner-inner (G1):
☒ Center-center (C1):
☐ Outer-outer (Z1):

Distance between left and right rows:
☐ Inner-inner (G2):
☒ Center-center (C2):
☐ Outer-outer (Z2):

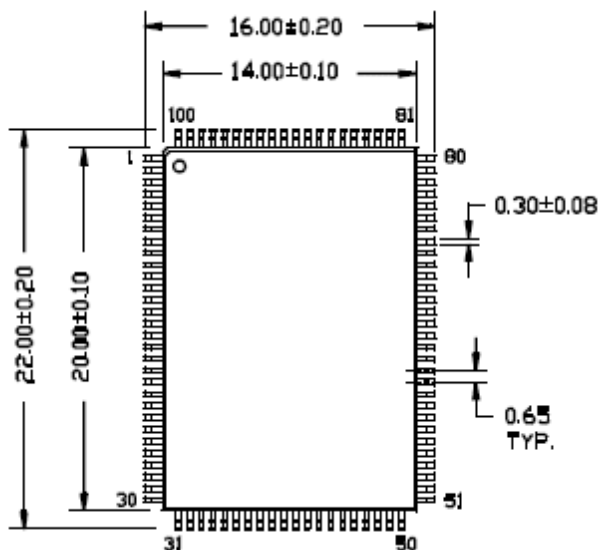




Save Exit Preview

6.2.4 Пример 4: 100-выводной QFP корпус

Это футпринт корпуса синхронной оперативной памяти Cypress CY7C1329, 64 КБ X 32. Размеры корпуса микросхемы, скопированные с таблицы данных Cypress, показаны на рисунке ниже.



Выдвинем контактные площадки на 0.5 мм дальше конца каждого вывода, добавив таким образом 1 мм к внешним размерам выводов. Кроме этого, повернём корпус так, чтобы вывод 1 оказался в левом нижнем углу. Параметры настройки для мастера футпринтов показаны ниже.

Footprint Wizard

Name: QFP100_20X30 Type: QUAD Units: mm

Number of pins:
Total: 100 Per horizontal row: 30 Per vertical row: 20
Pin 1 position: bottom row, left-most pin

Pads:
Shape: Rectangular Hole diameter (blank or 0 for SMT): 0
Width (X): 0.3 Length (Y): 1.5 Spacing (E): 0.65 Corner radius (Rounded Rect): 0.000

Distance between top and bottom rows:
☐ Inner-inner (G1): 14.000
☐ Center-center (C1): 15.500
☒ Outer-outer (Z1): 17

Distance between left and right rows:
☐ Inner-inner (G2): 20.000
☐ Center-center (C2): 21.500
☒ Outer-outer (Z2): 23

Diagram showing pin layout dimensions: Z2, C2, G2, G1, C1, Z1, X, Y, E.

Preview image showing the footprint layout with the label REF.

Buttons: Save, Exit, Preview

6.3 Редактор футпринта (Footprint Editor)

Мастер футпринтов предлагает наиболее простой способ создания нового футпринта, но он ограничен несколькими предопределенными шаблонами. На практике обычно требуется большая гибкость в размещении выводов. Кроме того, Вы можете захотеть создать более информативные или артистические контуры для своих футпринтов.

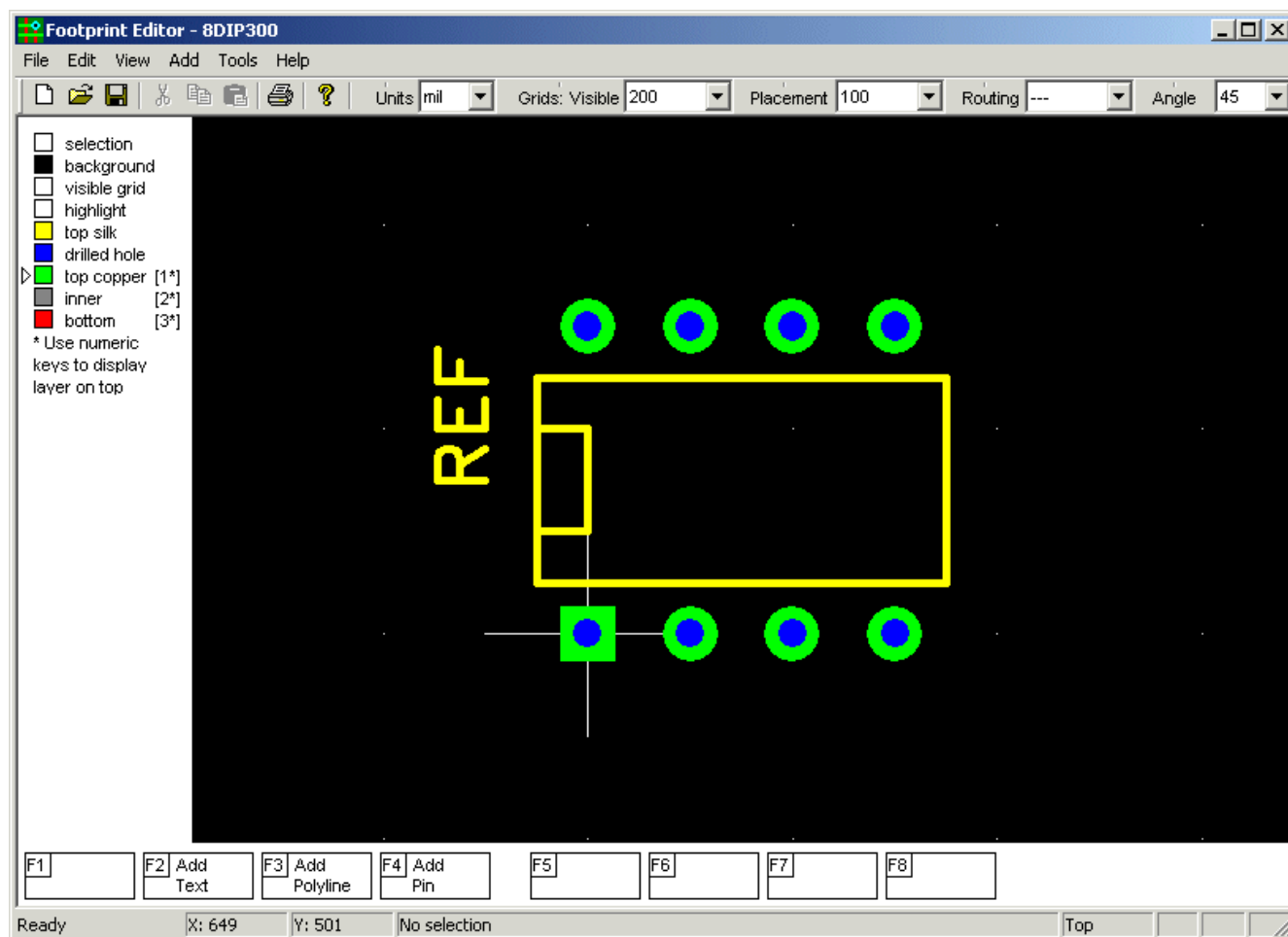
Редактор футпринтов позволяет Вам делать все эти вещи. Он может быть открыт в программе FreePCB несколькими способами:

- Выбрав пункт меню [File > Open Footprint Editor](#) . Этот способ доступен даже когда в программе нет открытых проектов.
- Выбрав пункт меню [Tools > Footprint Editor](#) . Этот способ доступен только когда в программе открыт какой-то проект.
- Выбрав корпус и нажав F2 ("Edit Footprint"). Этот способ позволяет открыть редактор с уже импортированным футпринтом корпуса. После завершения работы редактора, будет предложено внести сделанные изменения в оригинальный футпринт.

6.3.1 Окно редактора футпринтов (Footprint Editor)

После открытия редактора футпринтов, его окно заменяет обычное окно программы FreePCB. Вы можете определить, что находитесь в редакторе футпринтов, взглянув на область заголовка окна. После того как редактирование футпринта завершено, Вы можете вернуться в редактор PCB (FreePCB), нажав клавишу F8 ("Return to PCB"), выбрав элементы меню [File > Return to PCB Layout](#) или [Tools > Return to PCB layout](#) или кликнув в боксе "Close" в верхнем правом углу.

Копия экрана Footprint Editor, с импортированным футпринтом DIP8, показана ниже.



Как и следовало ожидать, пункты меню редактора футпринтов Footprint Editor отличается от меню FreePCB. Они перечислены ниже:

- **File** -
 - **New footprint** — Начать редактирование нового футпринта.
 - **Import Footprint** - Импорт футпринта из библиотечного файла.
 - **Save Footprint As** - Сохраняют футпринт в библиотечном файле.
 - **Return to PCB layout** - Закрывает Footprint Editor и возвращается к FreePCB.
- **Edit** -
 - **Undo** — отмена последней операции редактирования (если возможно).
- **View** -
 - **Entire footprint** - изменить размеры и повторно выровнять по центру окно, чтобы отобразить все элементы футпринта.
- **Add** -
 - **Pin** - Добавить новый вывод или строку выводов.
 - **Polyline** - Добавить новую ломаную линию в слой шелкографии.
 - **Text** - Добавить текстовую строку.
- **Tools** -
 - **Footprint Wizard** - Вызвать мастер футпринтов.
 - **Make PDF from Library File** - Создать файл формата PDF, описывающий футпринты в библиотечном файле.
 - **Return to PCB Layout** - То же самое, что и в меню File.
- **Help** -
 - **About FreePCB** - Показать "Окно информации" с номером версии.

Другие элементы окна, такие как панель инструментов, список слоёв, меню функциональных клавиш, строка состояния и окно размещения, такие же как для FreePCB.

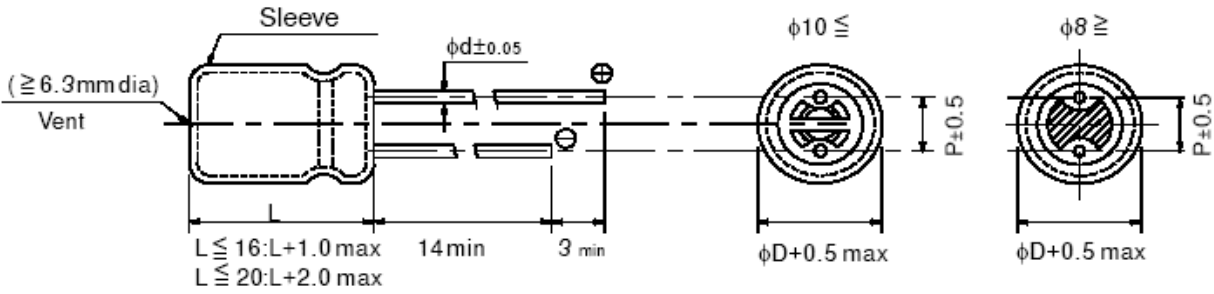
6.3.2 Элементы футпринта

Футпринты состоят из 4-х основных элементов. Это:

- **Pins** — выводы, реализованные как стек контактных площадок **padstacks**. Стек контактных площадок содержит медные площадки для верхнего, внутренних и нижнего слоёв, а также отверстие.
- **Polylines** — линии, которыми прорисовываются графические элементы футпринта в слое шелкографии. Они могут быть замкнутыми или разомкнутыми.
- **Reference designator** - текстовая строка позиционного обозначения. Поскольку фактически позиционное обозначение принадлежит компоненту а не футпринту, Footprint Editor использует строку "REF" лишь как указатель места для заполнения. Эта строка всегда присутствует и не может быть удалена. Однако можно изменить её размер.
- **Selection box** - это прямоугольник, который включает все другие элементы и используется для выбора компонента во время размещения на PCB. Этот прямоугольник генерируется автоматически во время сохранения футпринта.

Процесс создания футпринта на самом деле очень похож на процесс размещения PCB и если Вы использовали FreePCB, то уже имеете большинство необходимых навыков. В следующих разделах мы создадим футпринт для электролитического конденсатора. Размеры конденсатора, показанные на рисунке ниже, взяты из таблицы данных Panasonic. Создадим футпринт для конденсатора, имеющего диаметр корпуса 12.5 мм.

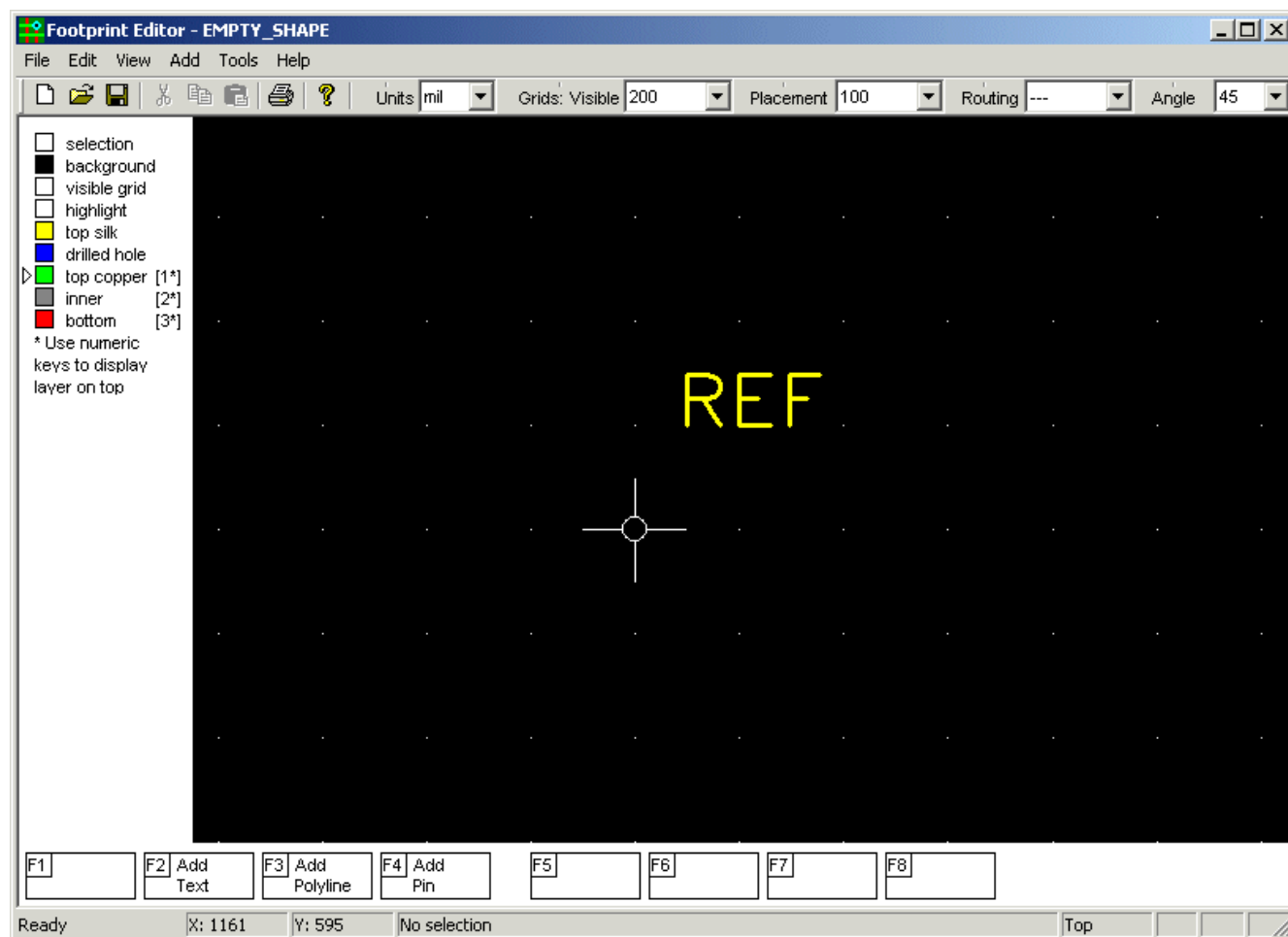
■ Dimensions in mm (not to scale)



Body Dia. ϕD	5	6.3	8	10	12.5	16	18
Lead Dia. ϕd	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8
Lead space P	2.0	2.5	3.5	5.0	5.0	7.5	7.5

6.3.3 Начало создания нового футпринта

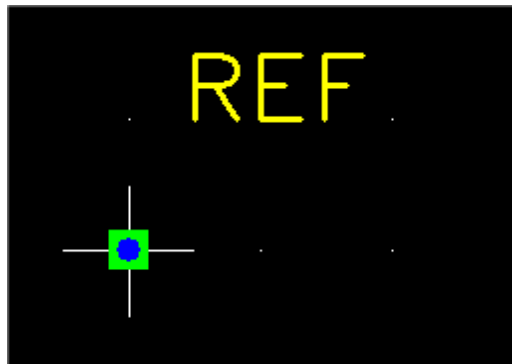
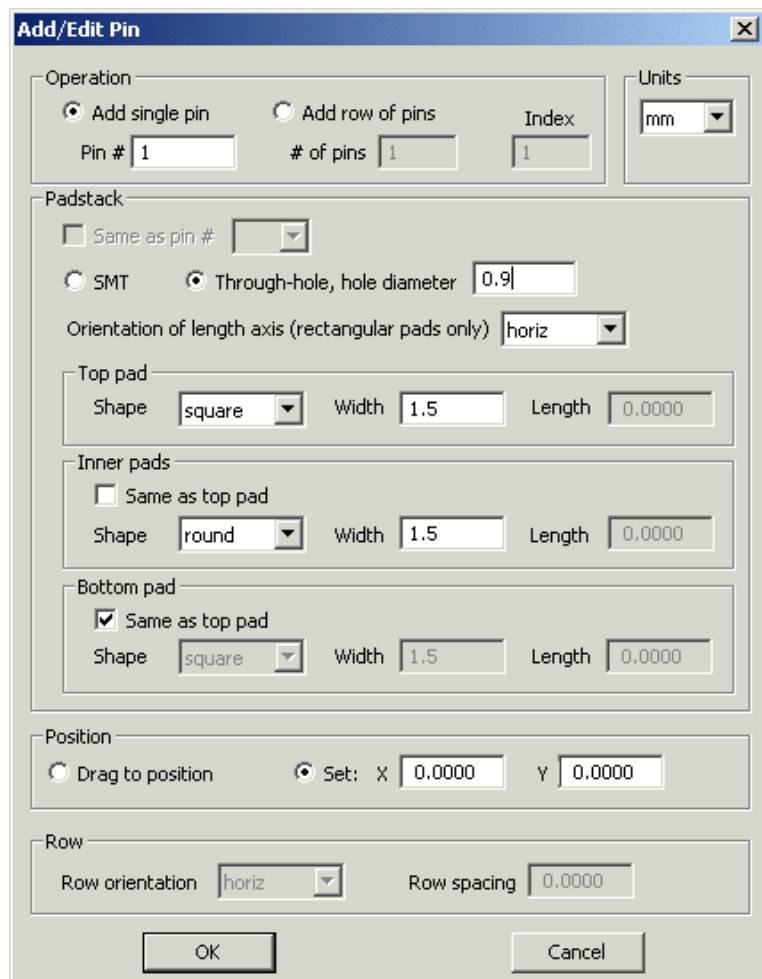
Находясь в FreePCB, вызовите редактор футпринта (Footprint Editor) из меню [File](#) или [Tools](#). Вы стартуете с окна размещения, которое пусто за исключением символа начала координат и позиционного обозначения, как показано в скриншоте ниже. Так как мы будем использовать метрическую систему измерения, удостоверьтесь, что [Units](#) есть "мм".



6.3.4 Добавление и редактирование выводов (ножек)

Выберем элемент меню **Add > Pin**, который активизирует диалог **Add/Edit Pin**. Средства управления в этом диалоге в значительной степени очевидны. Некоторые из них активны или не активны в зависимости от добавленного вывода. Пока мы добавляем первый вывод, выбор **Padstack > Same as pin #** заблокирован по очевидным причинам.

Конденсатор имеет выводы диаметром 0.6 мм. Для получения необходимого зазора, будем использовать диаметр отверстия 0.9 мм и диаметр площадки 1.5 мм. Для первого вывода мы будем использовать квадратные площадки на верхних и нижних слоях и круглую площадку на внутренних слоях. Выберите **Padstack > Through-hole** кнопку и установите диаметр отверстия **hole diameter** 0.9 мм. Установите **Top pad > Shape** в "square (квадратная)" и ширину **Width** 1.5 мм. **Inner pads > Shape** должны быть "round (круглая)". **Bottom pad** должна быть такой же как **Top pad**. Установите позицию **Position** в **X** = 0.0 и **Y** = 0.0. В результате, диалог должен выглядеть следующим образом:



После нажатия ОК, контактная площадка вывода будет помещена в начале координат.

Согласно таблице данных, интервал между выводами составляет 5 мм. Таким образом, разместим наш второй вывод в координатах $X = 5.0$ мм и $Y = 0.0$ мм. Чтобы упростить эту задачу, установим видимость [Visible](#) сетки и шаг размещения [Placement](#) величиной 1 мм. Теперь повторим выбор [Add > Pin](#), чтобы добавить второй вывод.

Add/Edit Pin

Operation
☒ Add single pin ☐ Add row of pins Index: 2
Pin #: 2 # of pins: 1

Units: mil

Padstack
☒ Same as pin #: 1
☐ SMT ☒ Through-hole, hole diameter: 35
Orientation of length axis (rectangular pads only): horiz

Top pad
Shape: square Width: 59 Length: 0

Inner pads
☐ Same as top pad
Shape: round Width: 59 Length: 0

Bottom pad
☐ Same as top pad
Shape: square Width: 59 Length: 0

Position
☒ Drag to position ☐ Set: X: 0 Y: 0

Row
Row orientation: horiz Row spacing: 0

OK Cancel

Так как один вывод уже создан, выбор [Padstack > Same as pin #](#) активен и, по умолчанию, предлагает создать второй вывод таким же как первый. Однако, для вывода 2 нам требуется контактная площадка круглой, а не квадратной формы. Поэтому, снимаем флажок [Padstack > Same as pin #](#) и изменяем [Padstack > Top pad > shape](#) на "round(круглый)". Затем установим флажки для внутренних [Padstack > Inner pads > Same as top pad](#) и нижней площадок [Padstack > Bottom pad > Same as top pad](#), чтобы сделать эти площадки такими же как верхняя.

Теперь диалог должен принять следующий вид:

Add/Edit Pin

Operation
☒ Add single pin ☐ Add row of pins Index:
Pin #: # of pins:

Units:

Padstack
☐ Same as pin #:
☐ SMT ☒ Through-hole, hole diameter:
Orientation of length axis (rectangular pads only):

Top pad
Shape: Width: Length:

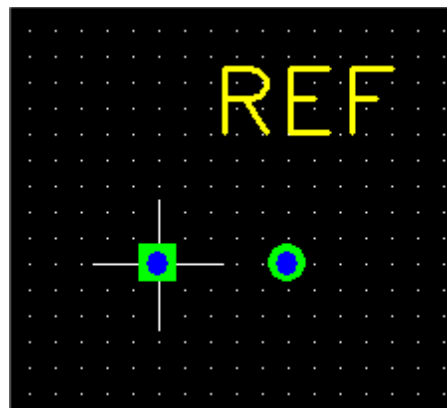
Inner pads
☒ Same as top pad
Shape: Width: Length:

Bottom pad
☒ Same as top pad
Shape: Width: Length:

Position
☒ Drag to position ☐ Set: X: Y:

Row
Row orientation: Row spacing:

OK Cancel

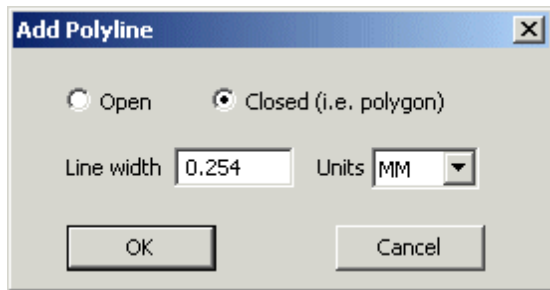


Нажмём ОК, чтобы выйти из диалога и сформировать контактную площадку. Разместим её в координатах $X = 5.0$ мм и $Y = 0.0$ мм, как показано на рисунке.

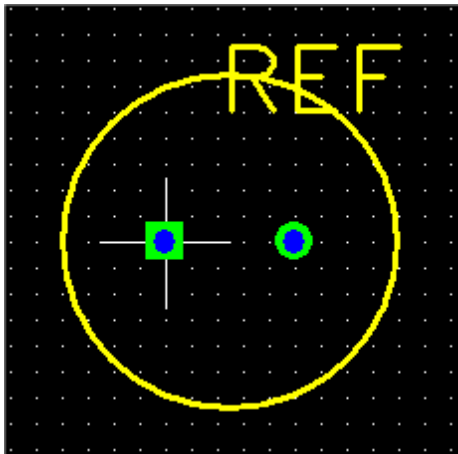
6.3.5 Добавление контура корпуса компонента (Adding Polyline)

Теперь, в слое шелкографии, добавим некоторые графические элементы, содержащие контур корпуса (круг приблизительно такого же диаметра, как диаметр конденсатора) и символ "+", отмечающий положительный вывод, который в соответствии с принятым соглашением является 1-ым.

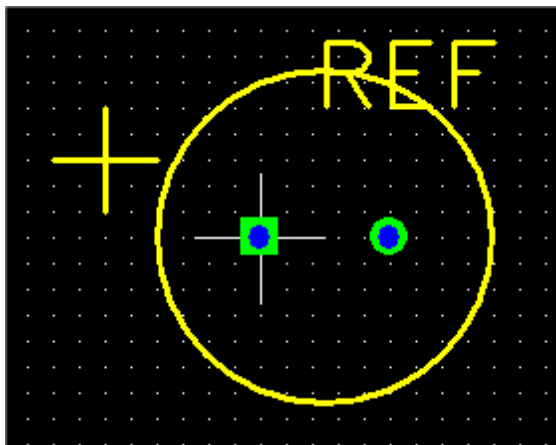
Давайте начнём с круга. Круг рисуется замкнутой ломанной линией, состоящей из дуг, соединённых в точках излома. Так как нам нужно разместить изломы (углы) этой линии на полпути между выводами на оси X, установим сетку размещения [Placement](#) в "0.5 мм". Кроме того, удостоверимся в том, что угол излома линии [Angle](#) установлен в "45". После этого выбираем пункт меню [Add > Polyline](#), который вызовет диалог [Add Polyline](#):



1. Так как для круга нам нужна замкнутая ломанная линия, то удостоверимся, что кнопка [Closed](#) выбрана, как показано выше. Толщина линии [Line width](#) установлена в 0.254 мм (или 10 mil) по умолчанию. Это разумное значение, которое можно оставить без изменения. Чтобы приступить к размещению начального излома линии, нажмём ОК. Поместим его в координатах X = -4.0 мм, Y = 0.0 мм. По умолчанию, ломанная линия формируется из прямых участков. Нажмём клавишу F2 ("Arc (CW)"), чтобы изменить этот стиль на дугу, формируемую по часовой стрелке. Разместим второй излом в координатах X = 2.5 мм, Y = 6.5 мм. Далее, разместим третий излом в координатах X = 9.0 мм, Y = 0.0 мм и четвертый излом в координатах X = 2.5 мм, Y = -6.5 мм. Затем щелкнем правой кнопкой мыши, чтобы замкнуть ломаную линию. В результате должен получиться круг:

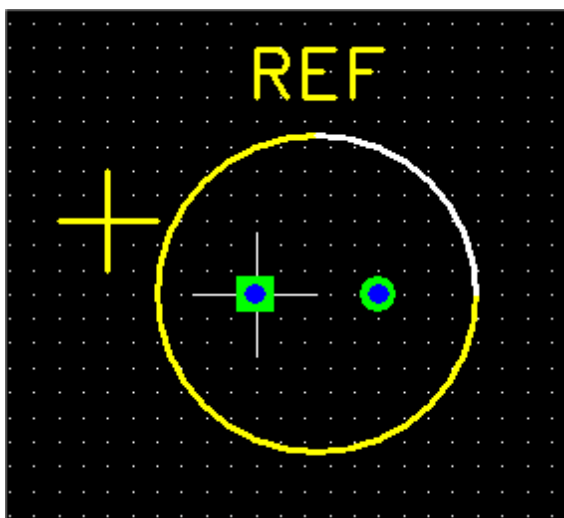


Теперь давайте добавим символ "+". Для этого выберем [Add > Polyline](#), но на сей раз выберем разомкнутую (Open) ломанную линию. Рисуем вертикальную линию, поместив первый излом в координатах $X = -6.0$ мм, $Y = 5.0$ мм и второй излом в координатах $X = -6.0$ мм, $Y = 1.0$ мм. Затем щелкните правой кнопкой мыши, чтобы прекратить рисование. Таким же образом добавим горизонтальную линию, поместив первый излом в координатах $X = -8.0$ мм, $Y = 3.0$ мм и второй излом в $X = -4.0$ мм, $Y = 3.0$ мм. Теперь Ваш футпринт должен приобрести следующий вид:



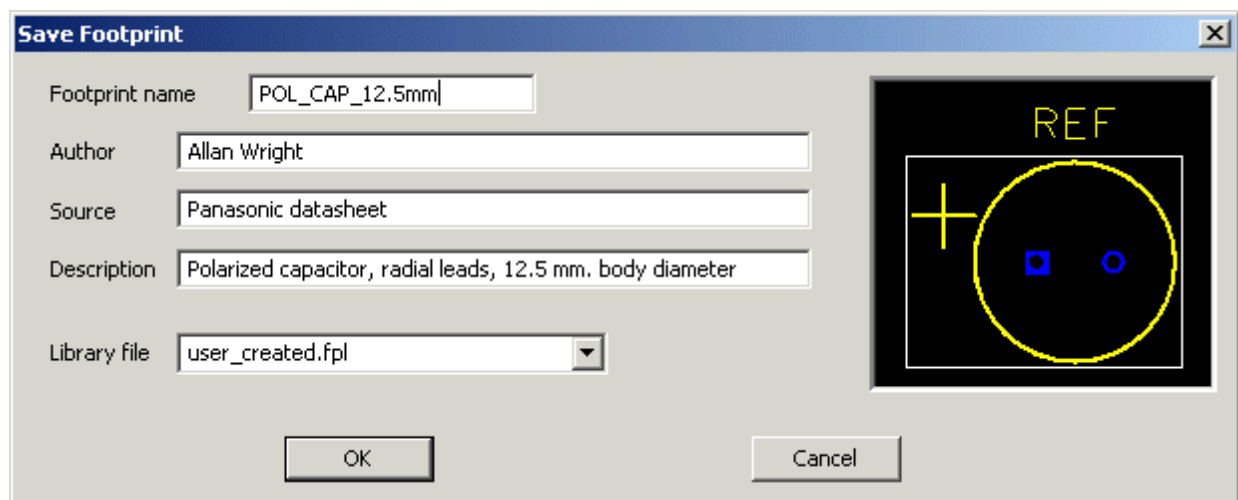
6.3.6 Изменение позиционного указателя (Reference Designator)

Наконец, давайте переместим позиционный указатель за пределы контурной линии корпуса. Кликните на нём, чтобы выбрать, и нажав F4 ("Move Ref Text"), начнём перемещение. Переместим указатель выше контура корпуса и разместим левым кликом. Если Вы хотите сделать размеры указателя больше или меньше, нажмите клавишу F1 ("Set Size"), а затем используйте диалог [Reference Text Properties](#), чтобы изменить его размер и толщину линии. Футпринт, в окончательном виде, должен выглядеть так, как показано ниже:



6.3.7 Сохранение футпринта

Чтобы сохранить Ваш новый футпринт в библиотечном файле, выберите элемент меню **File > Save As**, который вызовет диалог **Save Footprint**. Введите, как показано ниже, имя футпринта **Footprint name** и (опционально) имя автора **Author**, источник **Source** и описание **Description**. Затем выберите библиотечный файл **Library file**, который Вы желаете использовать (или ввести новое имя файла), и нажмите OK, чтобы сохранить футпринт.



Save Footprint

Footprint name: POL_CAP_12.5mm

Author: Allan Wright

Source: Panasonic datasheet

Description: Polarized capacitor, radial leads, 12.5 mm. body diameter

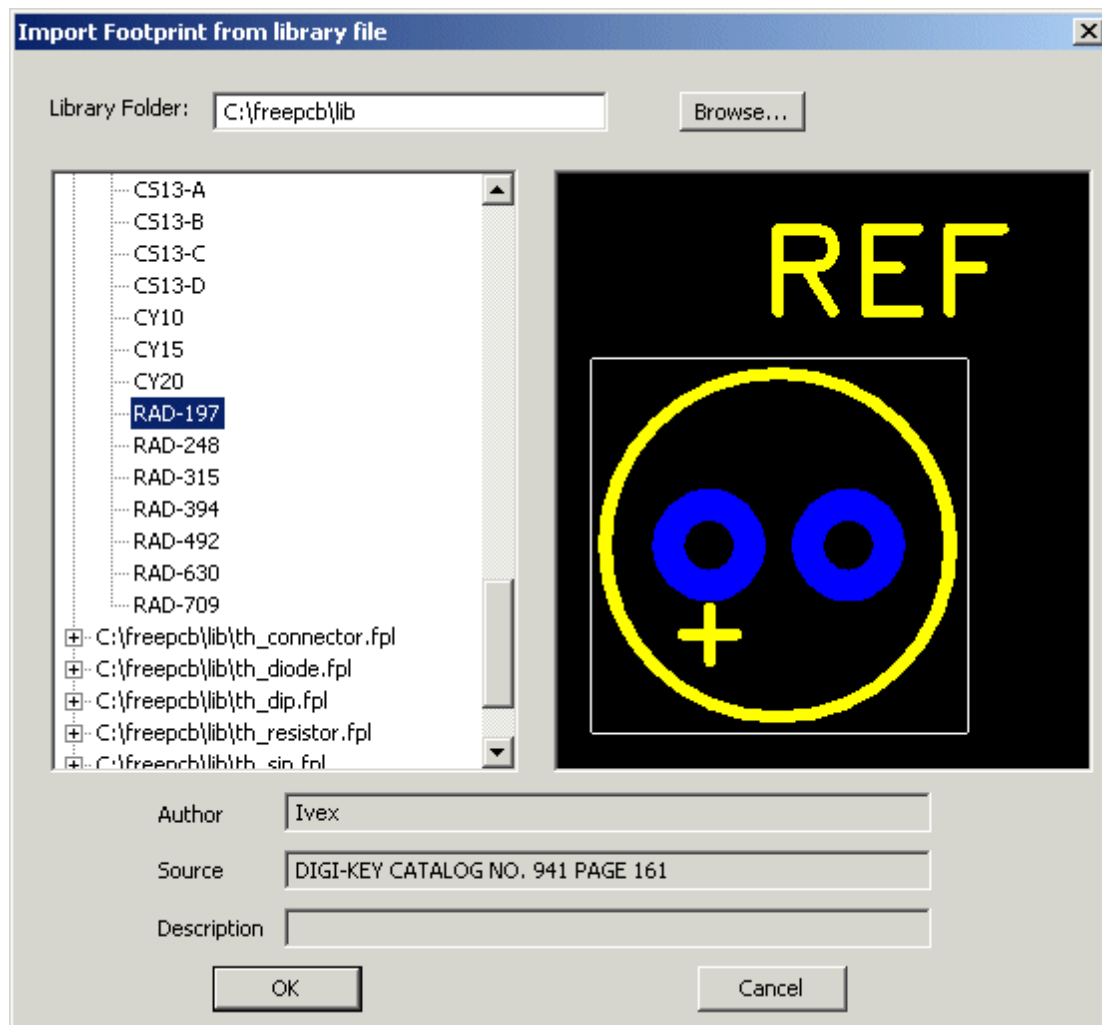
Library file: user_created.fpl

OK Cancel

REF

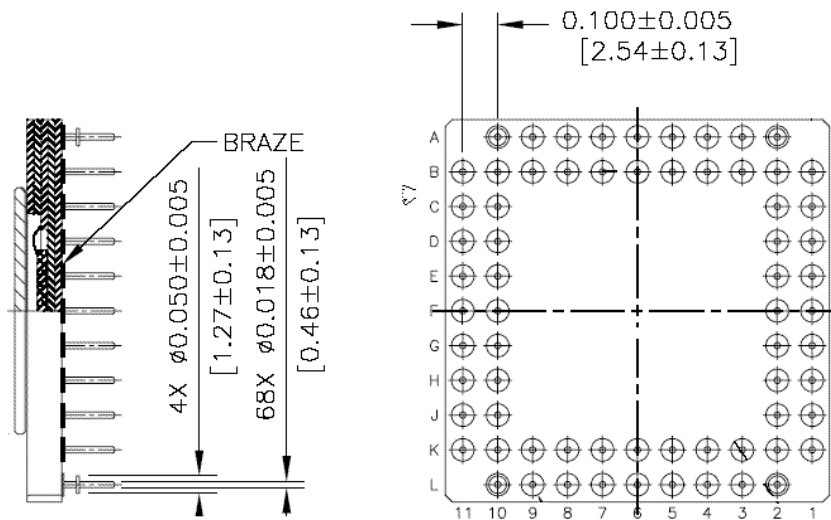
6.3.8 Импорт футпринта

Выше мы описали, как создать футпринт с нуля. Однако, во многих случаях будет проще взять существующий футпринт и изменить его. Вы можете импортировать футпринт в редактор Footprint Editor используя элемент меню [File > Import footprint](#), который вызовет следующий диалог.



Здесь Вы можете выбрать библиотечную папку, открыть библиотечные файлы и выбрать футпринты. В диалоге можно осуществить предварительный просмотр выбранного футпринта. Нажмите OK, чтобы импортировать футпринт в редактора. После этого Вы сможете редактировать его.

6.3.9 Использование мастера футпринта



Вы можете использовать мастер футпринта внутри редактора футпринта. В качестве примера такого использования, давайте сделаем футпринт для корпуса PGA показанного ниже. Это - датчик изображения Kodak. Диаметр ножки вывода - 18 mils, и интервал между ножками - 100 mils. Выводы называют так, как обычно принято для PGA.

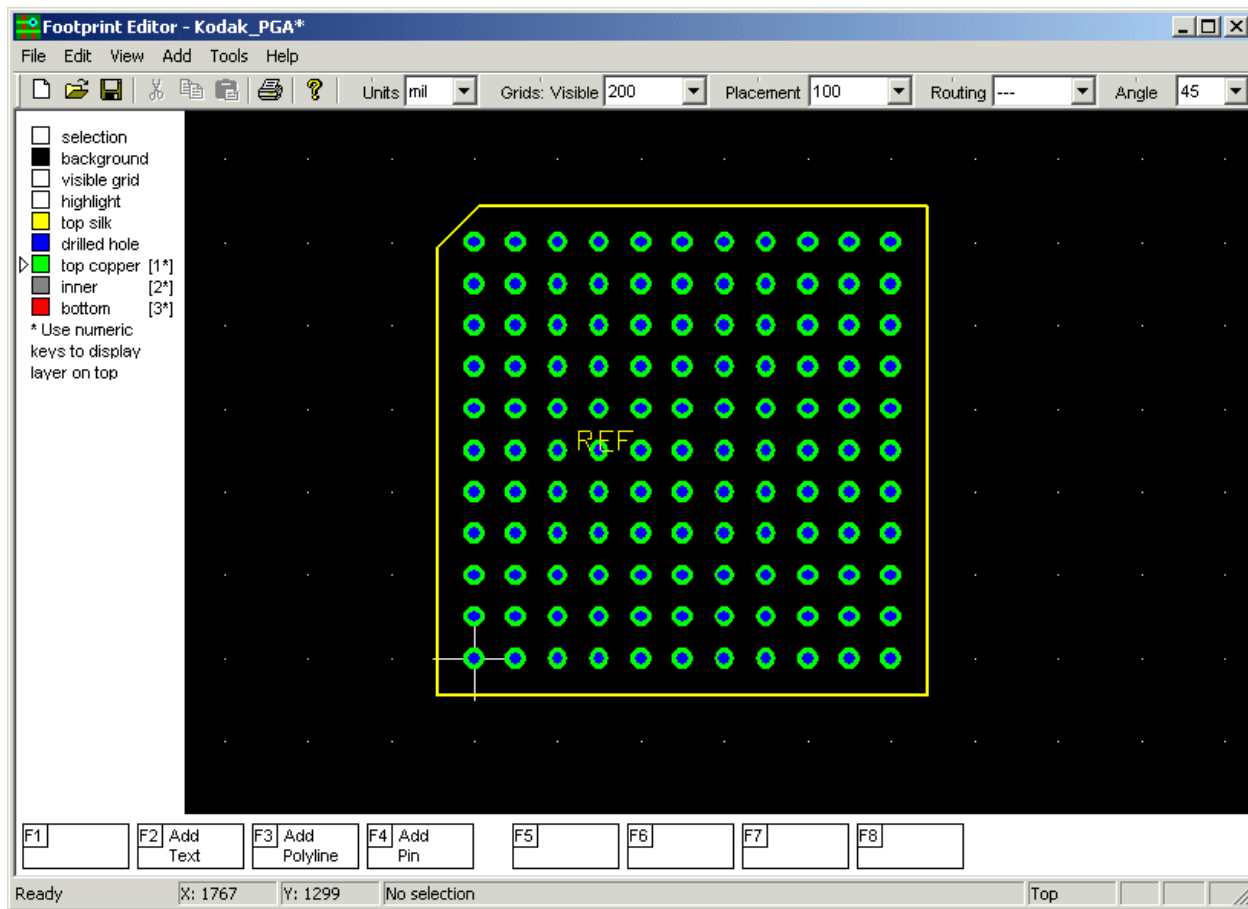
Находясь в редакторе футпринта, выберите пункт меню [Tools > Footprint Wizard](#). Мы будем использовать круглые площадки диаметром 50 mils с диаметром отверстия 28 mils. Так как ножки упорядочены в 11 столбцах и 11 строках, первоначально создадим футпринт как матрицу 11 x 11 = 121 ножек. Затем удалим лишние. Установите диалог [Footprint Wizard](#) как показано ниже.

The screenshot shows the 'Footprint Wizard' dialog box with the following settings:

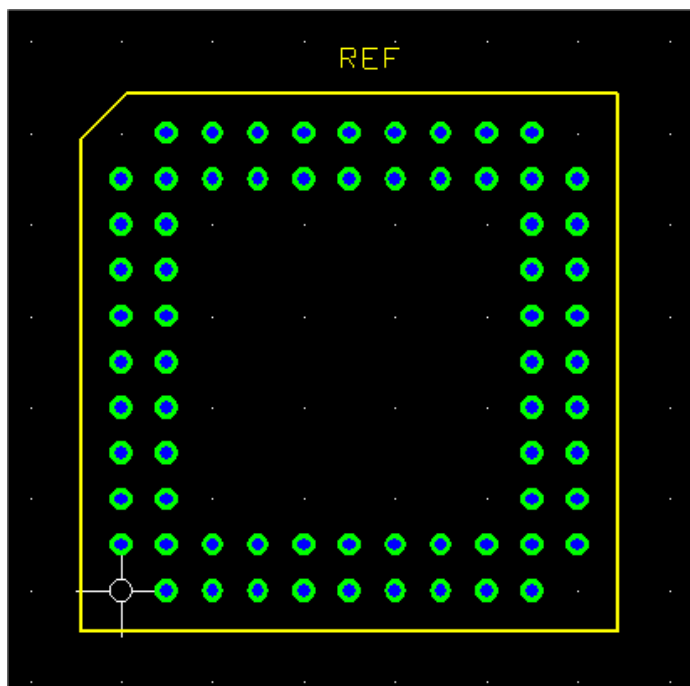
- Name: Kodak_PGA
- Type: PGA/BGA
- Units: mils
- Number of pins: Total 121, Per horizontal row 11, Per vertical row 11
- Pin 1 position: top row, left-most pin
- Pads: Shape Round, Hole diameter (blank or 0 for SMT) 28, Width (X) 50, Length (Y) 50, Spacing (E) 100
- Distance between top and bottom rows: Center-center (C1)
- Distance between left and right rows: Center-center (C2)

The 'PINS NUMBERED AS:' section shows a 4x4 grid of pins labeled A1, A2, A3, A4 in the first row and B1, B2, B3, B4 in the second row. A preview image on the right shows a 11x11 grid of pins with a yellow 'REF' label in the center.

Нажмите Done, чтобы создать футпринт и импортировать его в редактор Footprint Editor. Результат изображен ниже:

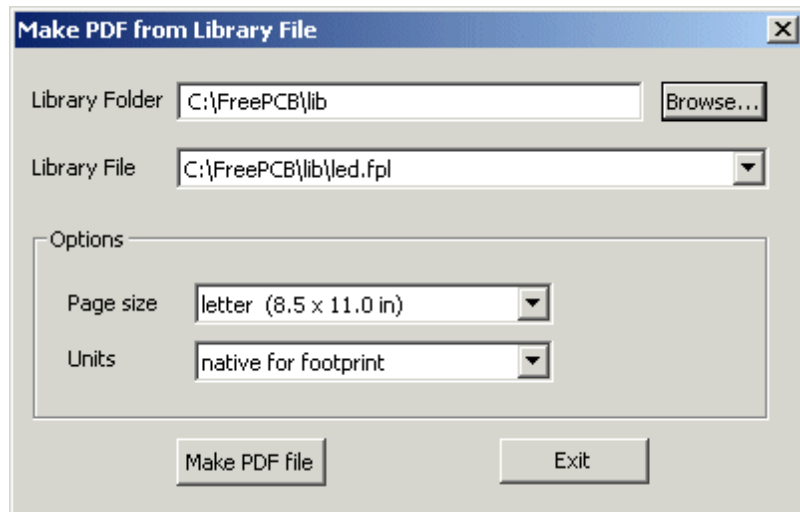


Теперь, выберите каждый лишний вывод и удалите его. Переместите "REF" строку так, чтобы она стала видимой. Результат изображен ниже:

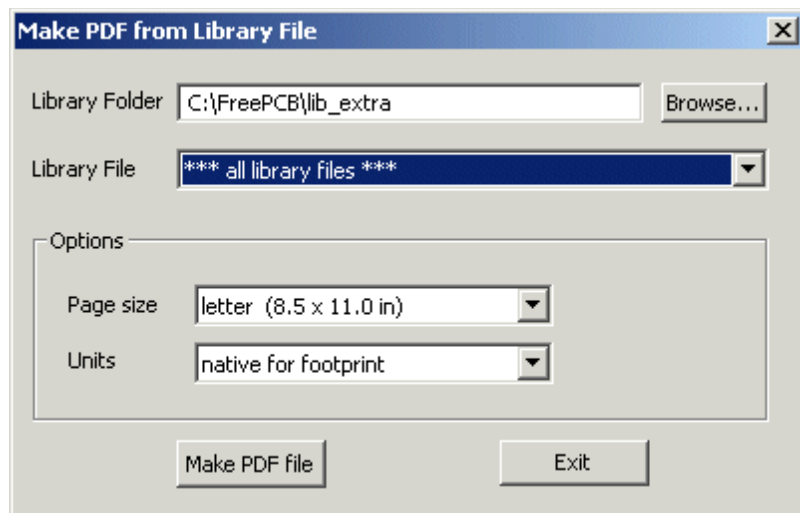


6.3.10 Создание файлов формата PDF из библиотек

Если Вы создали или изменили библиотечный файл, то можете сделать файл формата PDF, описывающий отпечатки в библиотеке. Для этого используйте элемент меню [Tools > Make PDF from Library File...](#), который вызовет следующий диалог:



При необходимости, используйте поле [Library Folder](#), чтобы выбрать библиотечную папку. Используйте раскрывающееся меню [Library File](#), чтобы выбрать файл, который Вы желаете документировать. Чтобы сделать файлы формата PDF из всех библиотечных файлов в папке, листайте до основания меню файла и выберите "**** all library files ****", как показано ниже. Вы можете использовать меню [Page size](#), чтобы выбрать размер страницы, и меню [Units](#), чтобы выбрать единицы измерения, которые будут использоваться в формате PDF. Затем [Make PDF file](#), чтобы сделать файл (ы).



Типовая страница из файла формата PDF показана ниже.

TO-3*Author:* Ivex*Source:* JEDEC PUBLICATION NO.95 BOOK ONE PAGE 98*Size:* 1050 x 1573 mil

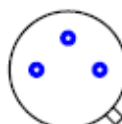
PIN(s)	PAD			
	TYPE	SHAPE	SIZE	HOLE
1-2	TH	Round	95 mil	45 mil
3-4	TH	Round	300 mil	150 mil

Scale 1:2

**TO-5***Author:* Ivex*Source:* JEDEC PUBLICATION NO.95 BOOK ONE PAGE 99*Size:* 370 x 370 mil

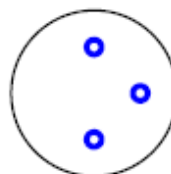
PIN(s)	PAD			
	TYPE	SHAPE	SIZE	HOLE
1-3	TH	Round	50 mil	20 mil

Scale 2:1

**TO-8***Author:* Ivex*Source:* JEDEC PUBLICATION NO.95 BOOK ONE PAGE 100*Size:* 524 x 524 mil

PIN(s)	PAD			
	TYPE	SHAPE	SIZE	HOLE
1-3	TH	Round	65 mil	28 mil

Scale 2:1

**TO-8BB-54***Author:* Ivex*Source:* DIGITAL PRINTED CIRCUIT DESIGN AND DRAFTING, PAGE 398*Size:* 320 x 320 mil

PIN(s)	PAD			
	TYPE	SHAPE	SIZE	HOLE
1-8	TH	Round	54 mil	20 mil

Scale 2:1

**TO-8BB-62***Author:* Ivex*Source:* DIGITAL PRINTED CIRCUIT DESIGN AND DRAFTING, PAGE 398*Size:* 342 x 342 mil

PIN(s)	PAD			
	TYPE	SHAPE	SIZE	HOLE
1-8	TH	Round	62 mil	20 mil

Scale 2:1

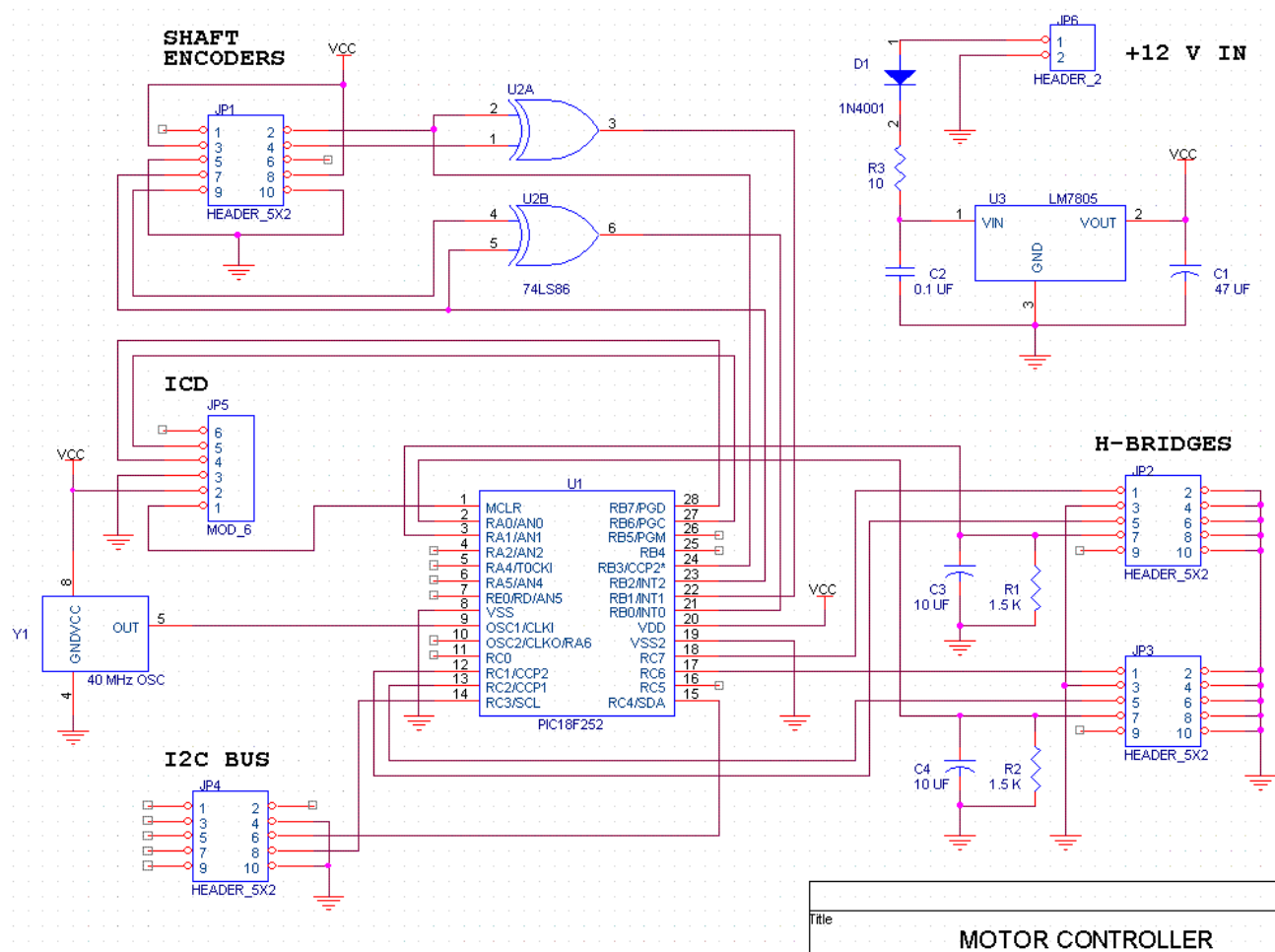


7. Учебник

7.1 Схема

Лучший способ изучить новую CAD программу состоит в том, чтобы использовать её. Этот учебник проведёт Вас через создание маленькой печатной платы для моторного контроллера, схема которого показана ниже. Извините, если это изображение слишком большое.

Вы можете пожелать распечатать копию схемы, чтобы можно было следовать ей в процессе создания PCB.



7.2 Создание проекта

Сначала создадим новый проект под названием "Motor".

Выберите пункт **New** меню **File**, который вызовет следующий диалог.

Project Options

Name:

Project Folder:

Library folder:

Number of copper layers:

Default trace and via widths (mils):

trace: via pad: via hole:

Menu of trace and via widths:

Trace width	Via pad width	Via hole width
6	28	14
8	28	14
10	28	14
12	28	14
15	28	14
20	28	14
25	28	14

Add Edit Delete

Autosave

☐ Enable Interval (minutes):

OK Cancel

- Введите слово "motor" в блок **Name**. Это позволит установить название проекта.
- Так как у проектной папки обычно такое же как у проекта название, слово "motor" будет автоматически добавлен в конец пути папки в блоке **Project Folder**, который должен теперь читаться "..\projects\motor". Отметьте, что этот путь указан относительно местоположения приложения, которое обычно находится в папке **FreePCB\bin**. Если Вы хотите использовать отличную от проектной папку, то можете отменить значение по умолчанию, вводя другой путь к папке, который может быть указан относительно папки приложения или абсолютно. Если проектная папка ещё не существует, FreePCB создаст ее (хотя его родительская папка должна существовать). Так как проектная папка "motor" уже существует и содержит файл списка соединений для моторного контроллера, я предложил бы оставить этот путь в покое.
- Точно так же Вы можете отменить путь к библиотечной папке **Library Folder**, которая содержит библиотеки футпринтов. Если бы Вы сделали стандартную установку FreePCB, то в этом нет необходимости.
- Если Вы решаете перемещать свои папки, Вы можете изменить заданные по умолчанию пути, редактируя файл **default.cfg** в папке приложения. Если Вы перемещаете библиотечную папку уже после создания проекта, редактируйте библиотечный путь в файле проекта **motor.fpc**.
- Оставьте число медных слоёв равное "4".
- Заданный по умолчанию размеры дорожек и

переходов **Default trace and via widths** будут применены к любому соединению или дорожке, у которого нет явно назначенных размеров. Так как мы будем использовать заданную по умолчанию ширину дорожки 10 mils, оставим эти настройки в покое.

- **Menu of trace and via widths** является списком значений, которые будут предложены, если Вы позже явно назначите размеры дорожки или соединения. Вы не ограничены использованием этих значений, но использование выбора из меню удобно и уменьшает шанс ошибки. Если Вы знаете, что Вы будете использовать определенные размеры, которые не находятся в заданном по умолчанию меню, Вы можете добавить их нажатием на **Add**. С помощью **Delete** можно удалить элементы, которые Вы не будете использовать или редактировать элемент, выбрав его и нажав **Edit**.
- В этом учебнике мы будем использовать размеры дорожки 10 и 15 mils. Выберите каждый из других размеров в меню и удалите его.

Автосохранение **Autosave** позволит автоматически периодически сохранять Ваш проект. Разрешите **Enable** это и установите интервал сохранения **Interval** в 5 минут.

- Теперь Ваш диалог должен походить на указанный ниже:

Project Options

Name

Project Folder

Library folder

Number of copper layers

Default trace and via widths (mils)

trace via pad via hole

Menu of trace and via widths

Trace width	Via pad width	Via hole width
10	28	14
15	28	14

Add Edit Delete

Autosave

☒ Enable Interval (minutes)

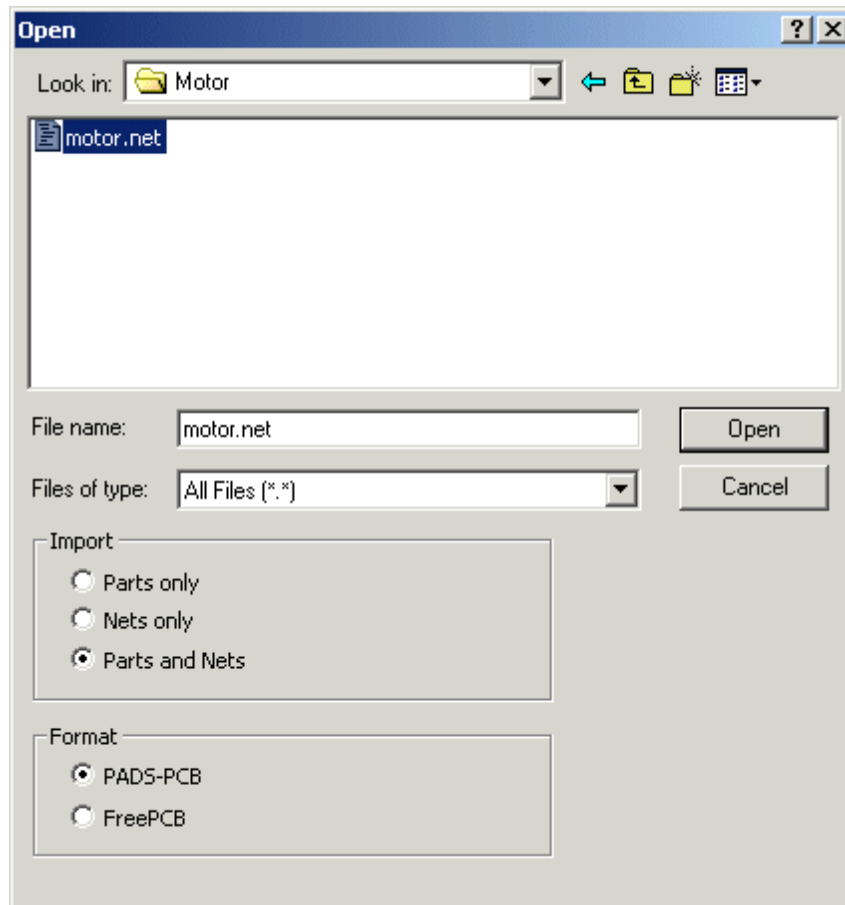
OK Cancel

- Нажмите ОК, чтобы выйти из диалога.
- Теперь в область заголовка окна FreePCB должен читаться надпись "FreePCB - motor.fpc *", где **motor.fpc** - название проектного файла, который будет создаваться. Звездочка указывает, что проект был изменен, и информация не была сохранена. Чтобы удостовериться, что Вы можете сохранить файл, выберите [Save](#) от меню [File](#) (или нажмите ctrl-s). FreePCB запишет файл и звездочка исчезнет.
- Если Вы хотите смотреть проектный файл, Вы можете открыть **motor.fpc** редактором текста, таким как Блокнот. Вы будет видеть, что там есть секция опций [options] файла, содержащая опции, которые Вы устанавливаете, наряду с некоторыми другими опциями по умолчанию. Большинство других секций файла, таких как ajhvs [shapes], корпуса [parts] и т.д. будут пустыми.
- В следующей части мы начнём проектировать нашу PCB импортируя файл списка соединений.

7.3 Импортирование списка соединений

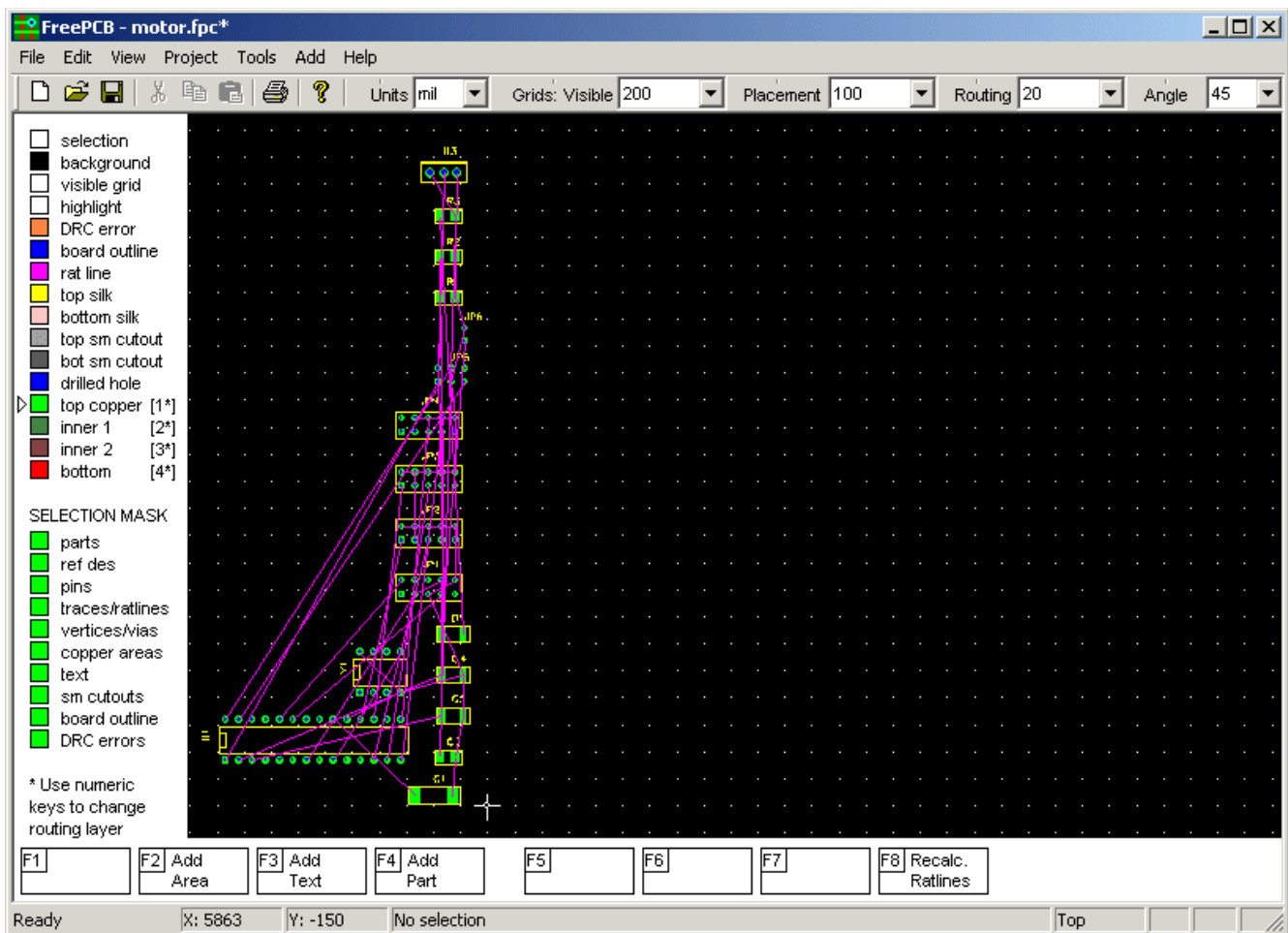
Файл списка соединений, который мы будем использовать, был перечислен в [Разделе 5.14: Импортирование файлов списка соединений](#). Возможно полезно было бы сделать обзор этой части перед продолжением. Корпус U2 преднамеренно оставлен неправильным, таким образом, чтобы мы могли установить это после того, как файл будет импортирован.

- Выберите пункт [Import](#) из меню [File](#), который вызовет диалог [Open](#).

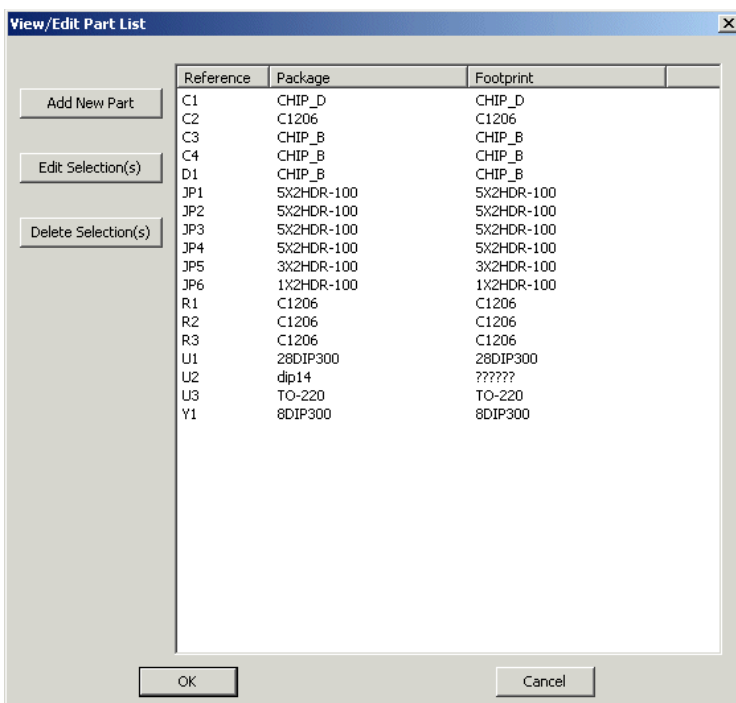


- В случае необходимости, переместитесь в проектную папку "motor". Выберите файл **motor.net**.
- Выберите [Parts and Nets](#) в секции [Import](#) диалога.
- Выберите [PADS-PCB](#) в секции [Format](#) диалога.
- Нажмите кнопку [Open](#).
- FreePCB откроет окно [Log](#) и импортирует список соединений, описывая этот прогресс в [Log](#). Вы должны видеть сообщение указывающее, что футпринт для U2 не была найден. Нажмите ОК, чтобы убрать [Log](#).
- Все импортированные корпуса компонентов будут расположены в стеке слева от символа начала координат в окне размещения.

- Выберите **View > All Parts** (или нажмите клавишу "Home"), чтобы видеть все компоненты. Связи между выводами компонентов будут показаны как ratlines.

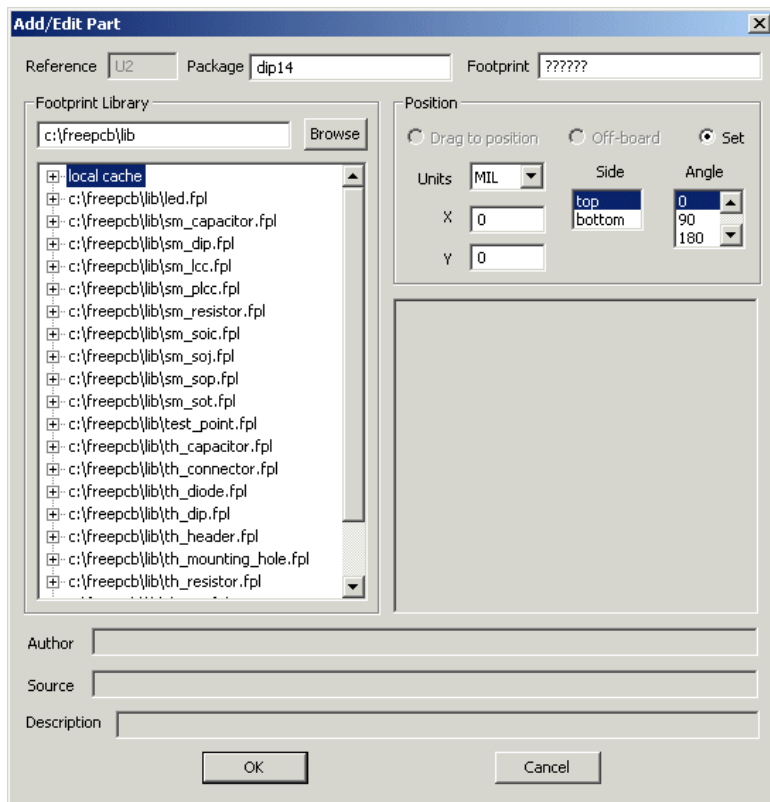


- Теперь установим недостающий футпринт. Для этого выберите **Parts...** из меню **Project**. В результате появится диалог **View/Edit Part List**:

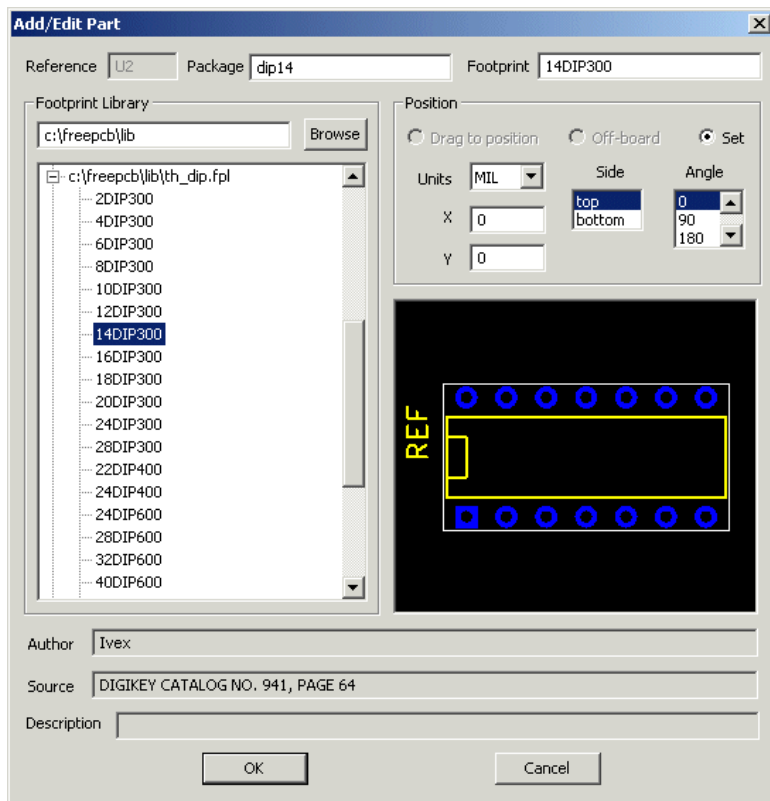


- Этот диалог показывает список всех корпусов, которые были импортированы, с их позиционными обозначениями, идентификаторами упаковки и футпринтами.
- Обратите внимание, что футпринт для U2 показан как "?????", указывая, что идентификатор упаковки "dip14" не соответствует ни одному из футпринтов Free PCB. Мы должны определить его.
- Выберем строку для U2, кликнув по ней.

Нажмите кнопку **Edit Selection(s)**. Это вызовет диалог **Add/Edit Part**, показанный ниже.

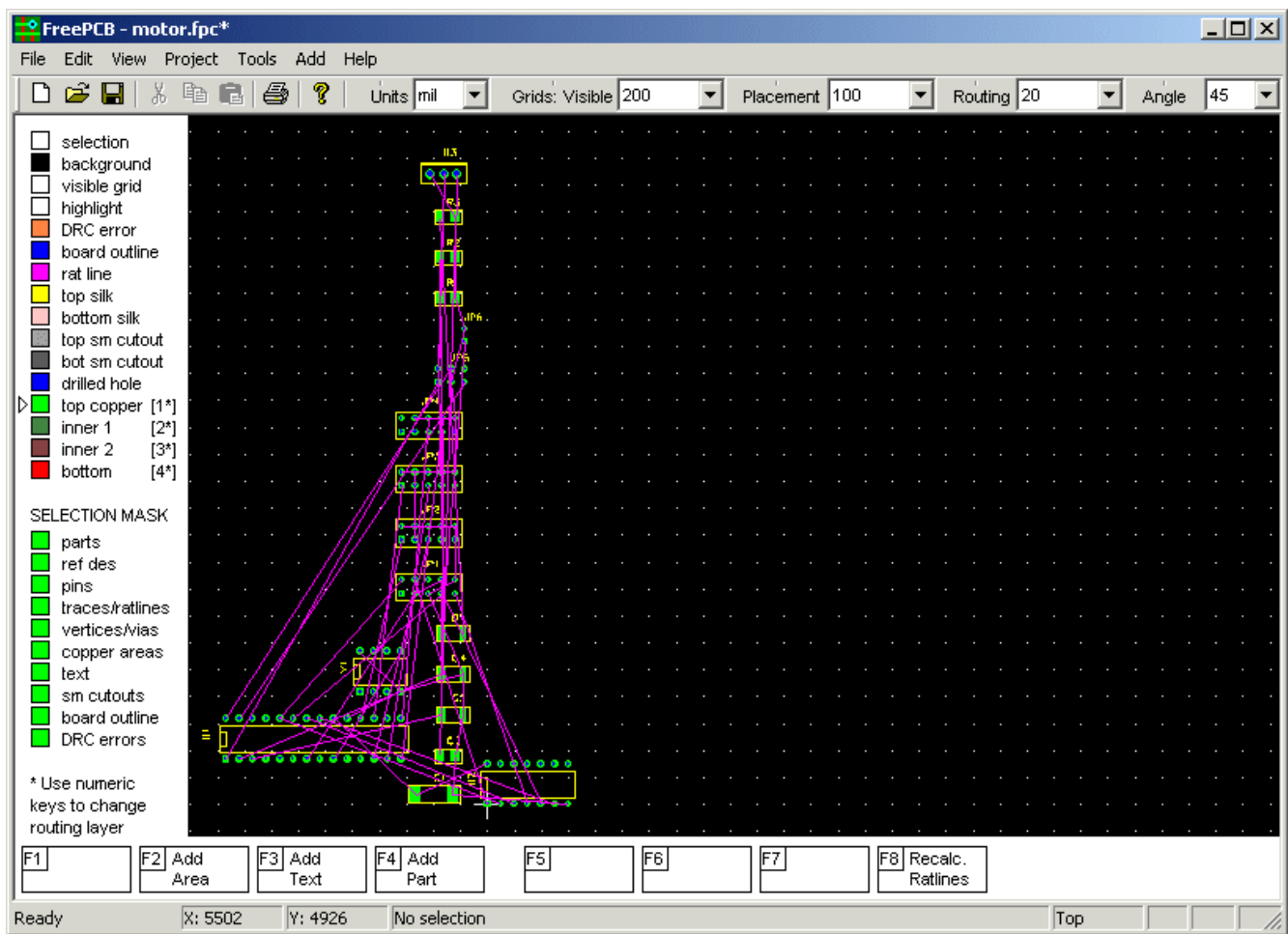


предварительного просмотра, и "14DIP300" должен заменить "?????" в поле **Footprint**. Теперь диалог должен выглядеть так:



- Этот диалог позволяет Вам редактировать параметры для корпуса U2, включая его отпечаток. Все доступные библиотеки отпечатков показаны в большом древовидном списке, занимающем большую часть диалога. В первой строке указан "local cache (локальный кэш)", который фактически не является библиотекой, но содержит все футпринты, которые в данный момент загружены в FreePCB.
- Разверните "th_dip.fpl" библиотеку кликнув "+" рядом с ней. Эта библиотека содержит отпечатки для DIP упаковок. Её имя начинается "th _", указывая, что он содержит футпринты с контактными площадками, предназначенными для установки штыревых компонентов (контактные площадки с отверстиями).
- Выберите "14DIP300" от библиотеки кликнув по нему. Изображение футпринта появится в окне

- Нажмите на OK.
- Появится окно сообщения с вопросом - хотите ли Вы заменить все идентификаторы "dip14" на "14DIP300", или только для U2. Поскольку мы используем только один компонент с таким идентификатором, то без разницы, что Вы выберете, **YES** или **NO**.
- Теперь Вы возвратились к диалогу **View/Edit Partlist**, заменив "?????" на "14DIP300" для корпуса U2.
- Нажмите OK. U2 теперь обретёт футринт, помещённый в позицию (0,0), как показано ниже.



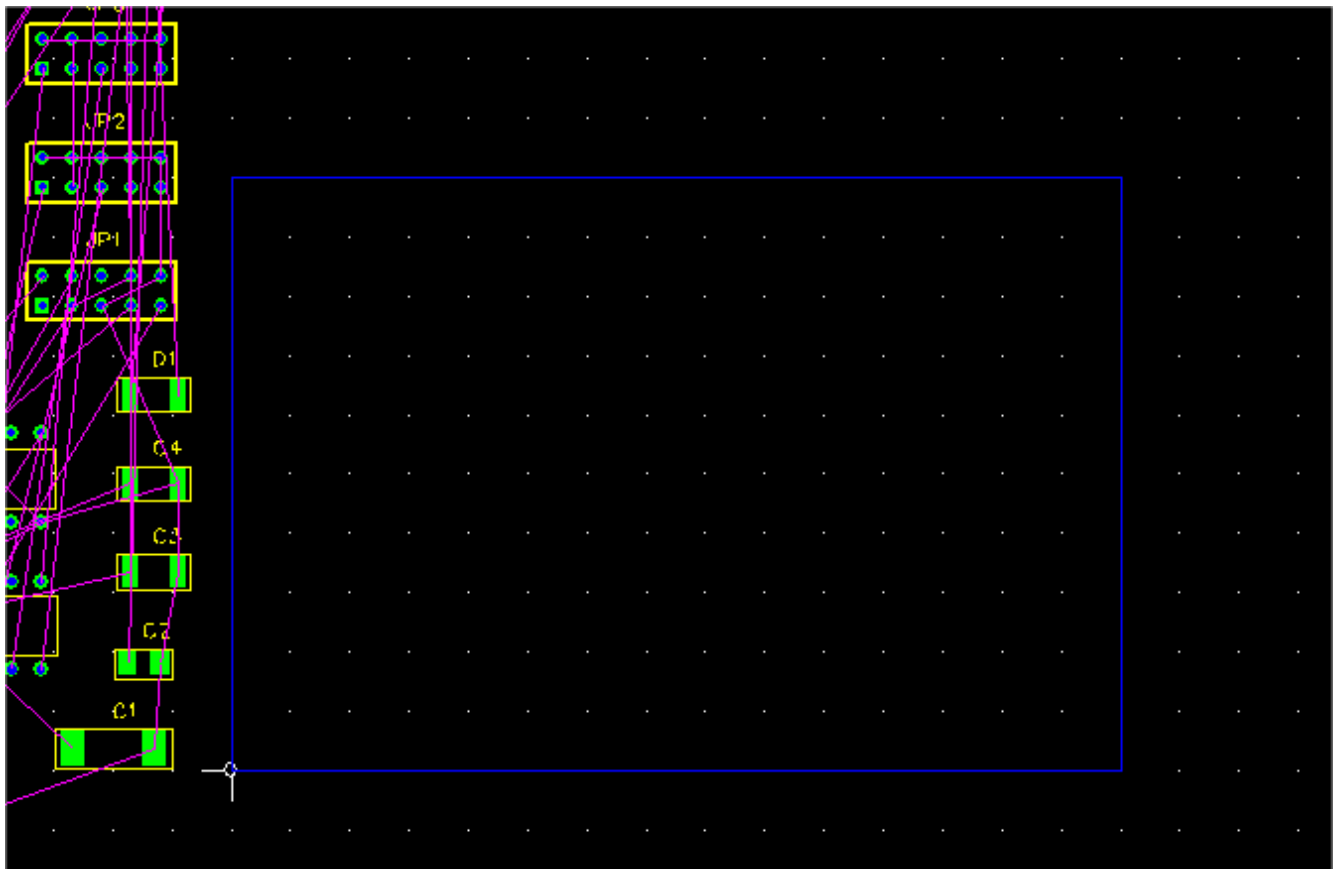
OK, теперь все отпечатки загружены. Сохраните свою работу. В следующем разделе мы создадим плату.

7.4 Рисование контура платы

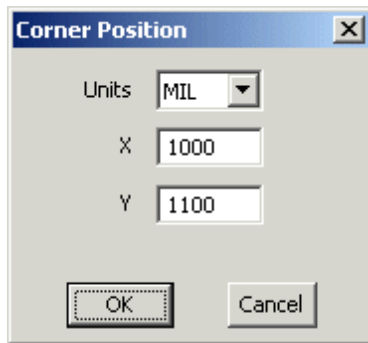
В этом разделе, мы создадим контур платы для нашей РСВ. Это будет прямоугольная плата, 3 дюйма длиной и 2 дюйма высотой. Полезно сделать обзор [Раздела 5.10: Контур платы](#) перед началом.

- Во-первых, давайте переместим U2 в сторону. Для этого увеличьте начало координат платы, помещая курсор по этому месту и прокрутив вперед колёсико мышки (или нажимая PgUp). Выберите U2, кликнув по нему. В результате вокруг него появится белая контурная, указывая, что компонент выбран. Нажмите F4, чтобы начать его перемещение и сместите его влево от начала координат, чтобы создать место для контура платы. Перемещайте окно как нужно слегка поворачивая колесо прокрутки мышки или нажав "space". (Между прочим, окно, описывающее все "горячие" клавиши, доступно в [Help > Keyboard shortcuts](#)).
- Левым кликом мышки помещаете U2 в его новую позицию.
- Во время рисования контурной линии платы действует сетка размещения [Placement](#). Установите для неё разумно большое число, как 100 или 200 mils.
- Выберите [Board Outline](#) из меню [Add](#). Курсор должен измениться на перекрестие. Поместите перекрестие в начале координат (то есть. X=0, Y=0). Левым кликом поместите первый угол платы.
- Теперь переместите курсор вертикально вверх. За курсором будет тянуться сегмент, представляющий левую сторону платы. Переместите курсор в X=0, Y=2000 и левым кликом поместите левый верхний угол платы.
- Точно так же поместите углы в X=3000, Y=2000 и X=3000, Y=0.

Теперь щелкните правой кнопкой мыши, чтобы замкнуть контурную линию платы нарисованную от последнего угла до первого. Контур вашей платы должна быть похож на изображенный ниже:



Вы можете проверить позицию угла, кликнув по нему, чтобы выбрать. Маленький белый квадрат, показавшийся вокруг угла, показывает, что он был выбран. Теперь нажмите F1 ("Set Position"), чтобы вызвать диалог [Corner Position](#). Этот диалог отображает точные координаты выбранного угла, и позволяет изменять их, если Вы хотите. Этот диалог очень полезен, если Вы проектируете плату с необычными размерностями.



- Если Вы желаете, можете испытать некоторые другие команды редактирования контура платы, описанные в [Разделе 5.10: Контур платы](#). Когда Вы закончите, убедитесь, что контур был восстановлен к его оригинальной прямоугольной форме.

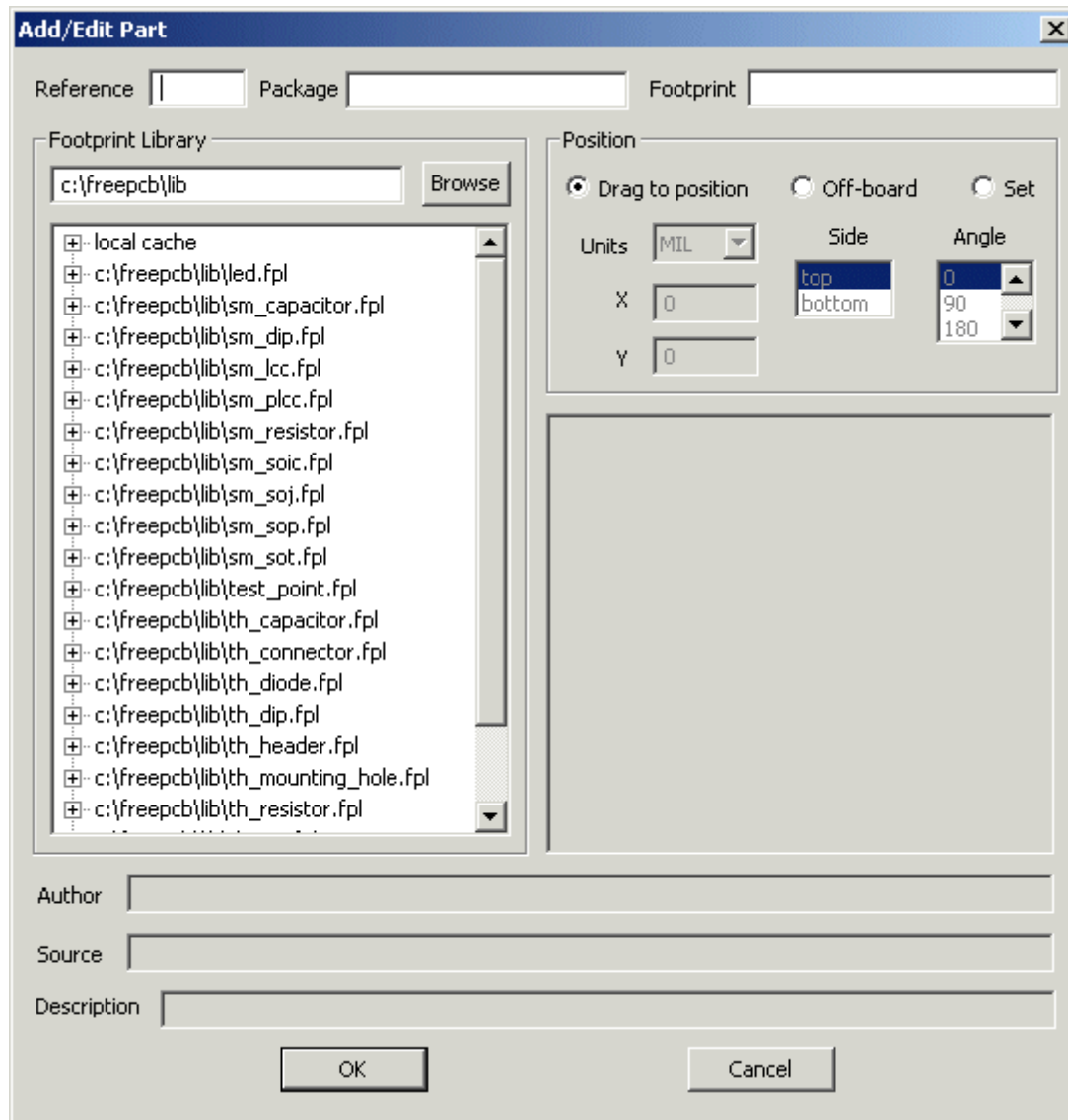
Сохраните проект при помощи пункта [Save](#) из меню [File](#).

7.5 Добавление монтажных отверстий

Теперь добавим монтажные отверстия в углы PCB. Полезно было бы сделать обзор [Раздела 5.12: Монтажные отверстия](#) перед началом.

- Монтажные отверстия фактически являются специальным типом корпуса, состоящего из единственного отверстия. Они добавляются к проекту как любой другой корпус. Они могут быть включены в файл списка соединений, или они могут быть добавлены позже. Так как наш файл списка соединений не включал монтажные отверстия, мы добавим их используя меню [Add > Part](#).
- Установите сетку размещения в небольшое число, такое как 25 mils.

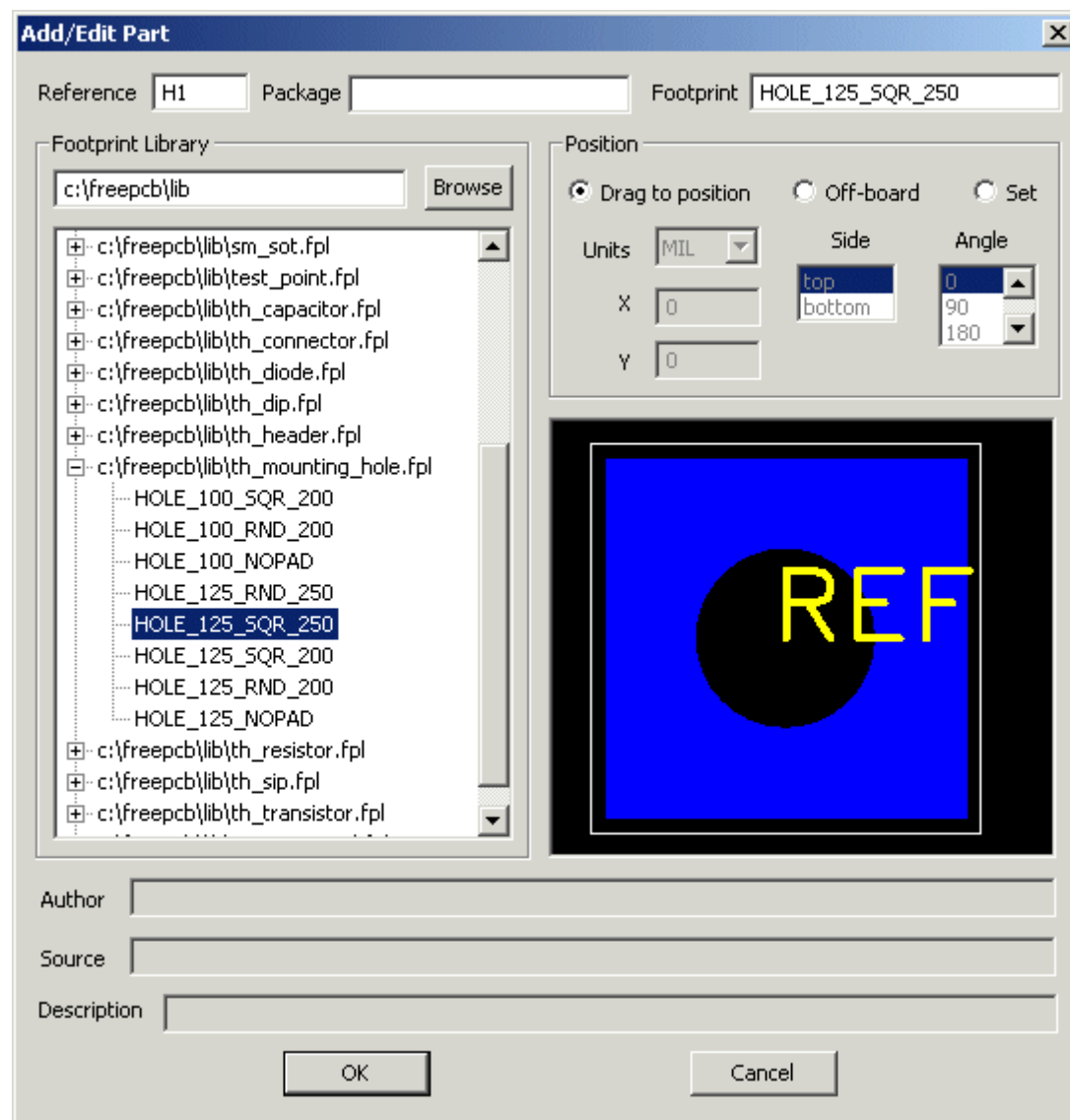
Выберите [Part](#) из меню [Add](#). Следующий диалог должен появиться



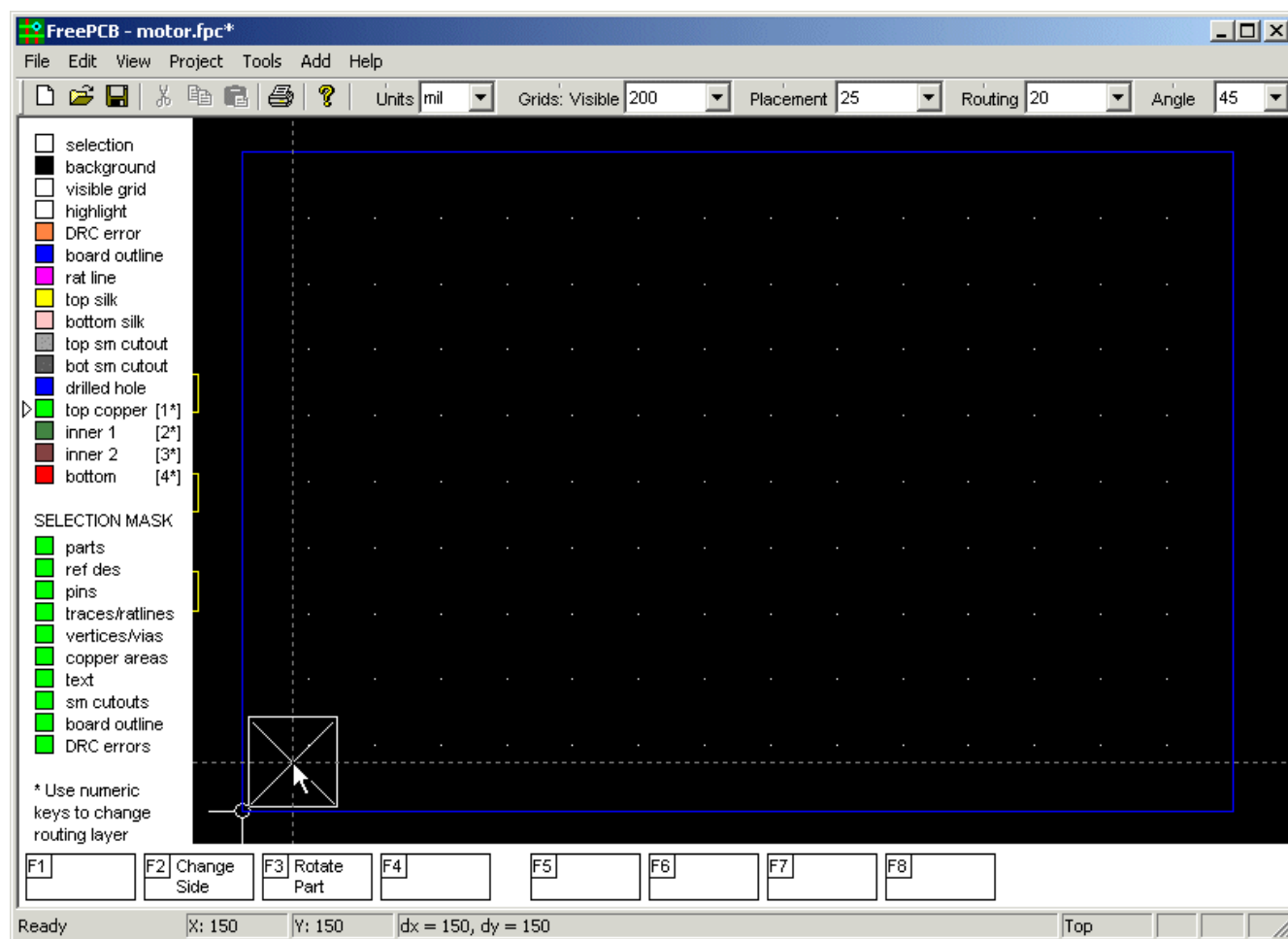
- Введите "H1" в поле диалога [Reference](#) . Это будет позиционное обозначение для первого монтажного отверстия.

Разверните библиотечный файл **C:\FreePCB\lib\th_mounting_hole.fpl**, нажимая "+" рядом с ним. Затем нажмите на "HOLE_125_SQUARE_250". Это футпринт монтажного отверстия 125 mils в диаметре, с квадратной площадкой со стороной 250 mils. Это правильный размер для машинного винта #4.

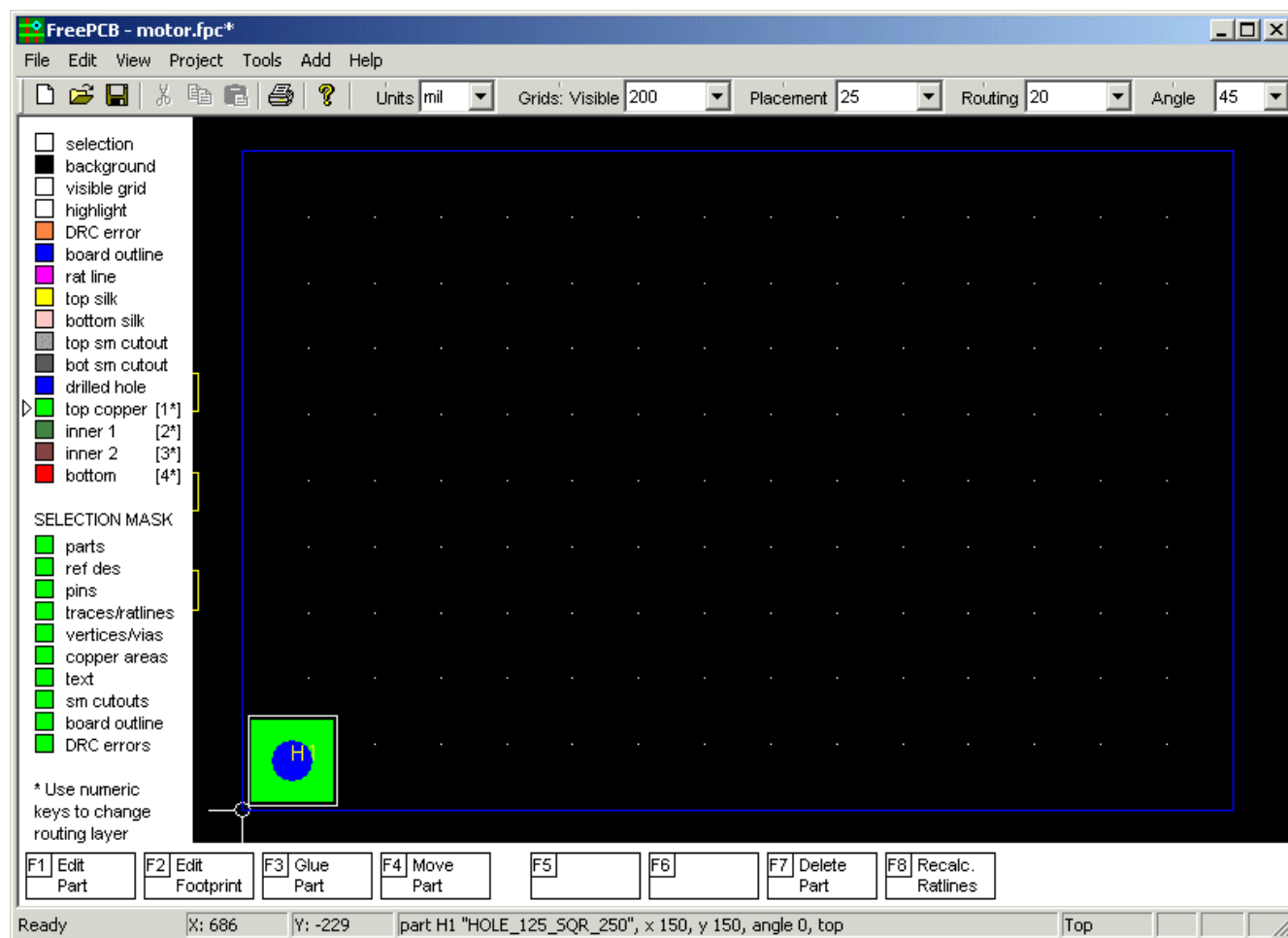
Теперь диалог должен быть таким, как показано ниже:



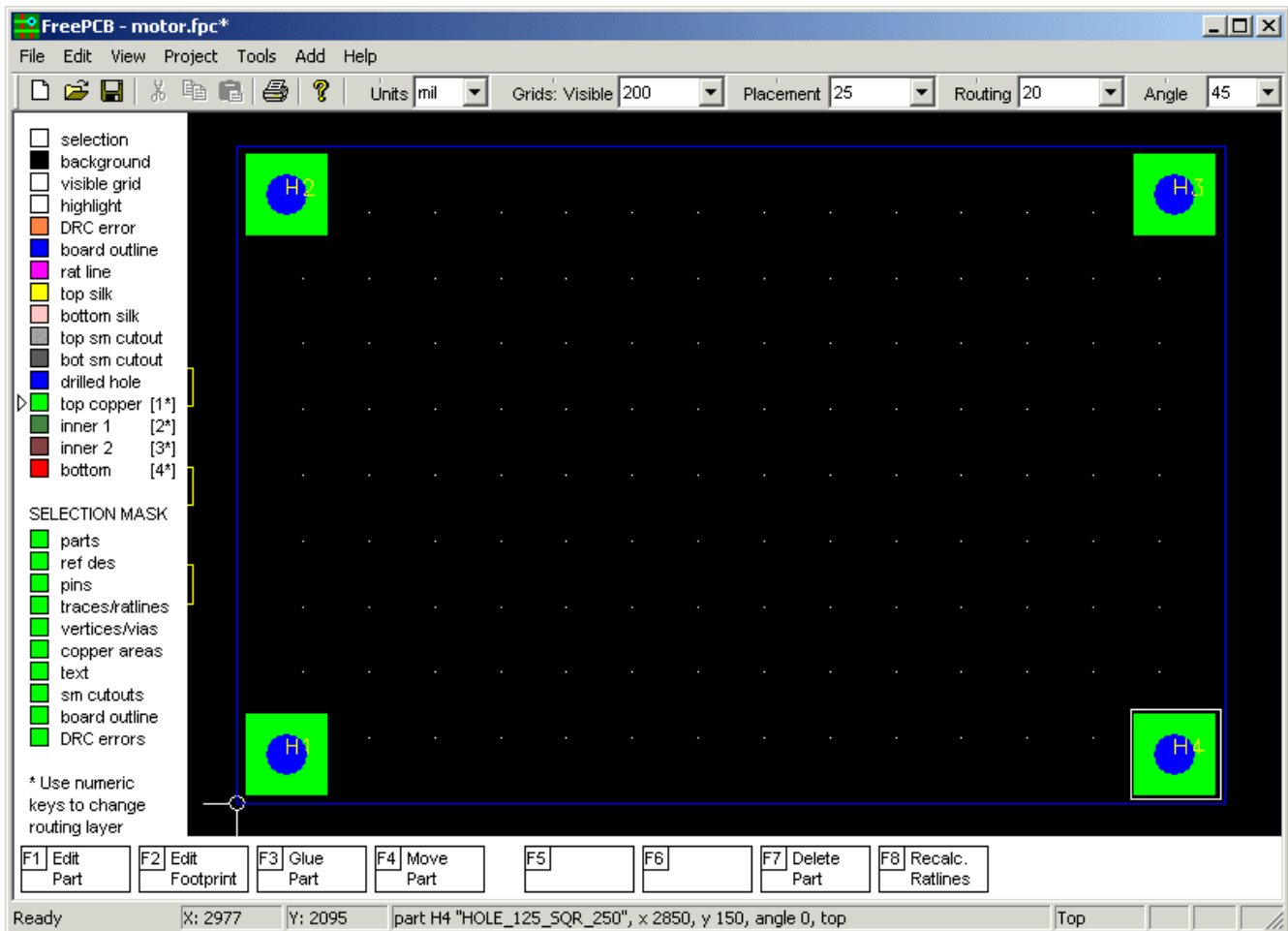
Нажмите OK, чтобы закрыть диалог и начать перемещение монтажного отверстия. Переместите его в координаты X = 150, Y = 150, как показанный ниже.



Нажмите левую кнопку мыши, чтобы разместить отверстие. Теперь схема размещения примет следующий вид

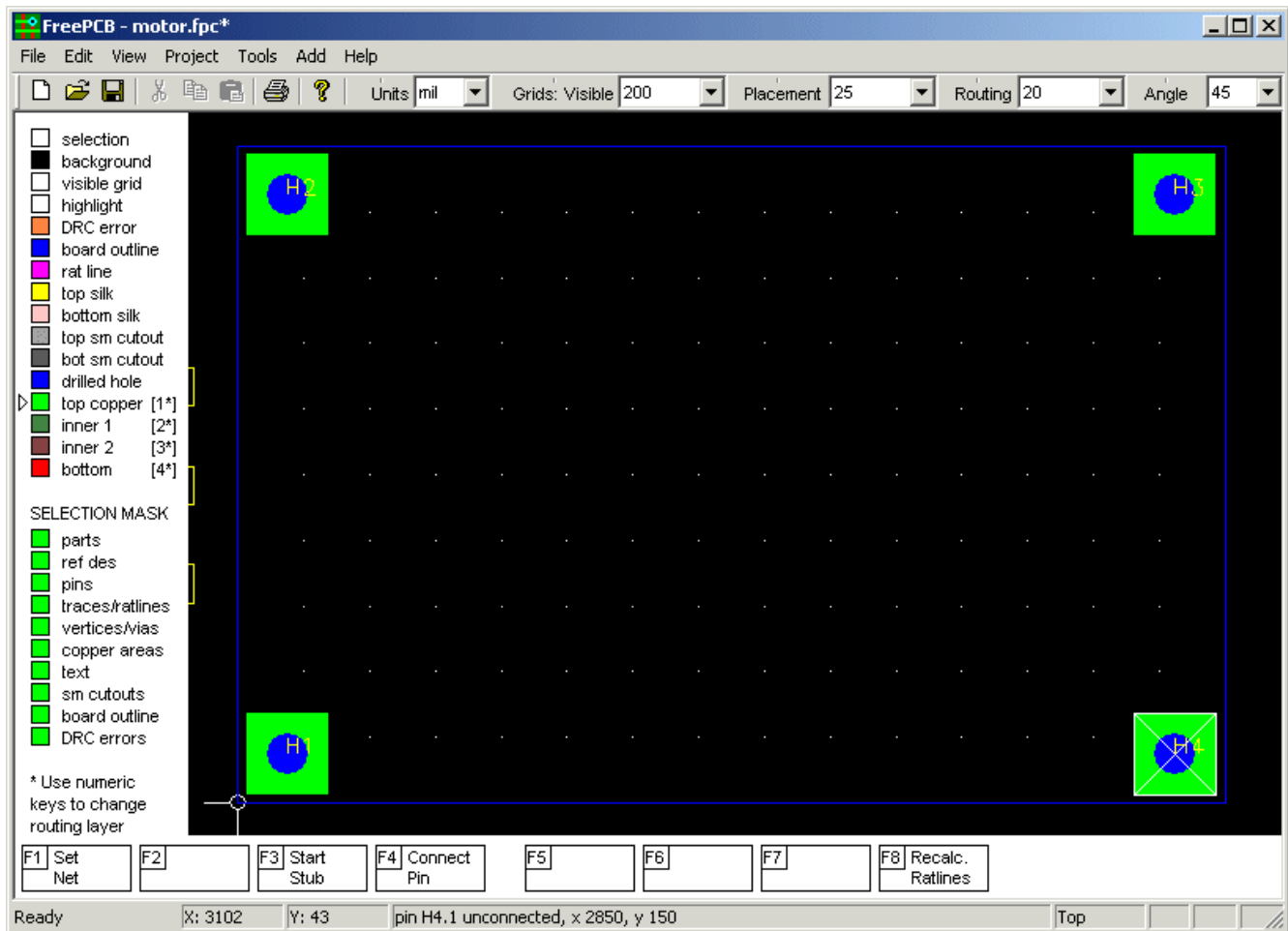


- Точно так же, добавьте еще 3 монтажных отверстия в других углах PCB, используя позиционные обозначения H2, H3 и H4, как показано ниже. Обратите внимание на то, что когда Вы используете диалог [Add > Part](#) для добавления отверстий, их позиционные обозначения увеличиваются автоматически для каждого последующего. Таким образом Вам только остаётся нажать OK или "return", чтобы добавить следующее монтажное отверстие.

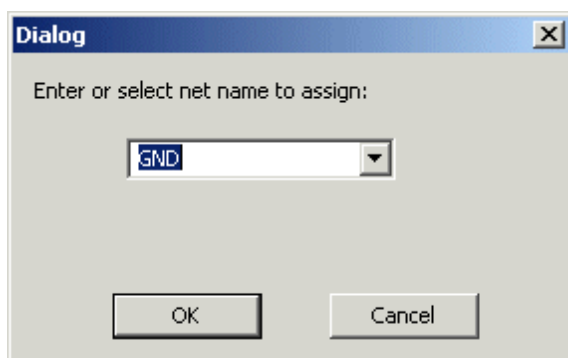


- Теперь мы подключим отверстие H4 к цепи GND, так, чтобы его можно было использоваться для заземления PCB на корпус. Для этого мы должны выбрать вывод H4.1, вместо корпуса H4, так как подключения всегда делаются к выводам. Имейте в виду, что в скриншоте выше, прямоугольник выбора вокруг H4 не похож на "X", указывая, что выбран корпус, а не вывод. Строка состояния также показывает, что выбран корпус H4.

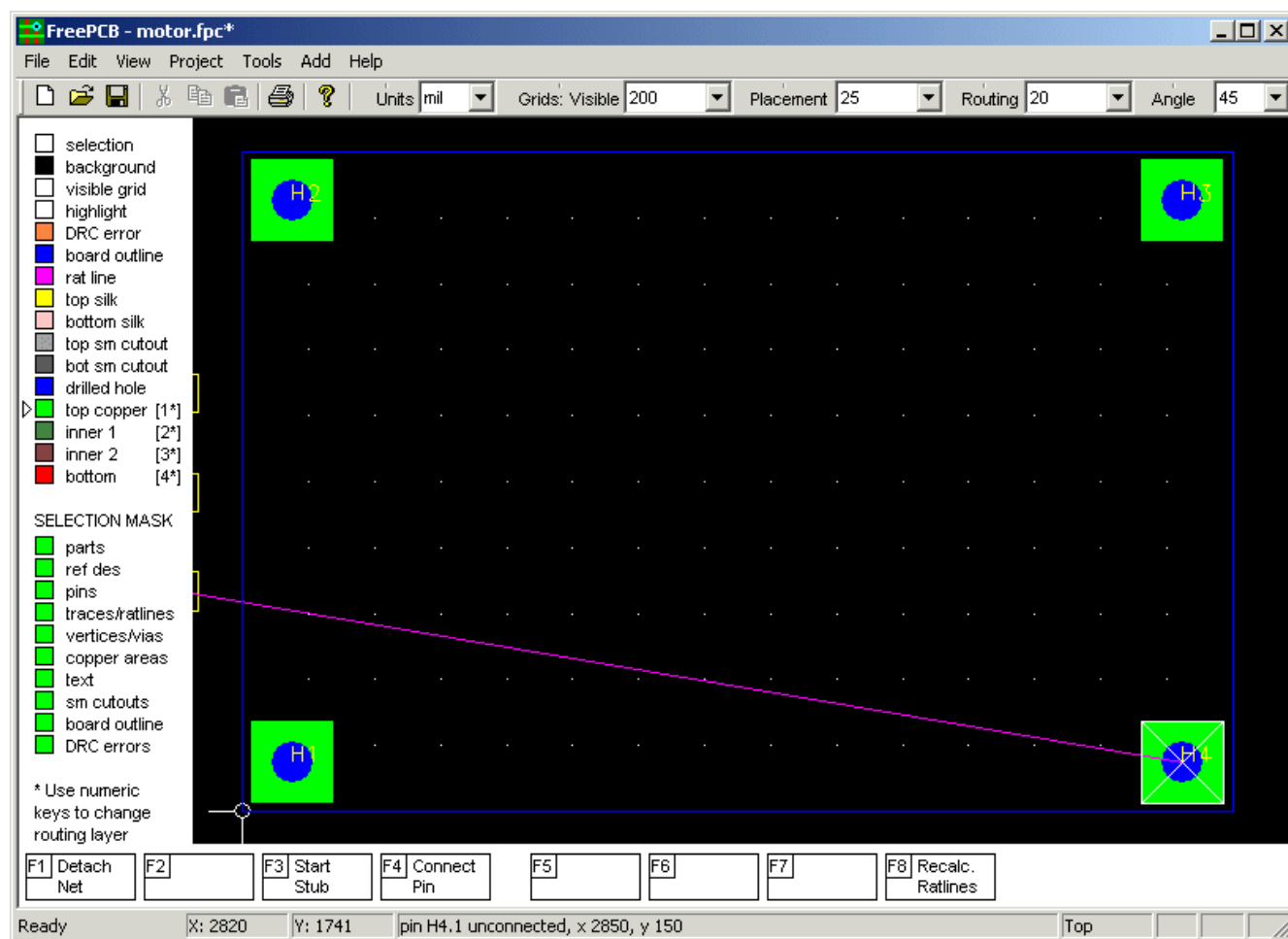
- Чтобы выбрать вывод H4, кликните где-нибудь в районе площадки. Теперь прямоугольник выбора должен превратиться в "X" и в строке состояния появится сообщение о том, что вывод H4.1 был выбран, как показано ниже. Если Вы хотите повторно выбрать корпус (чтобы переместить его, например), то щелкните еще раз по площадке.



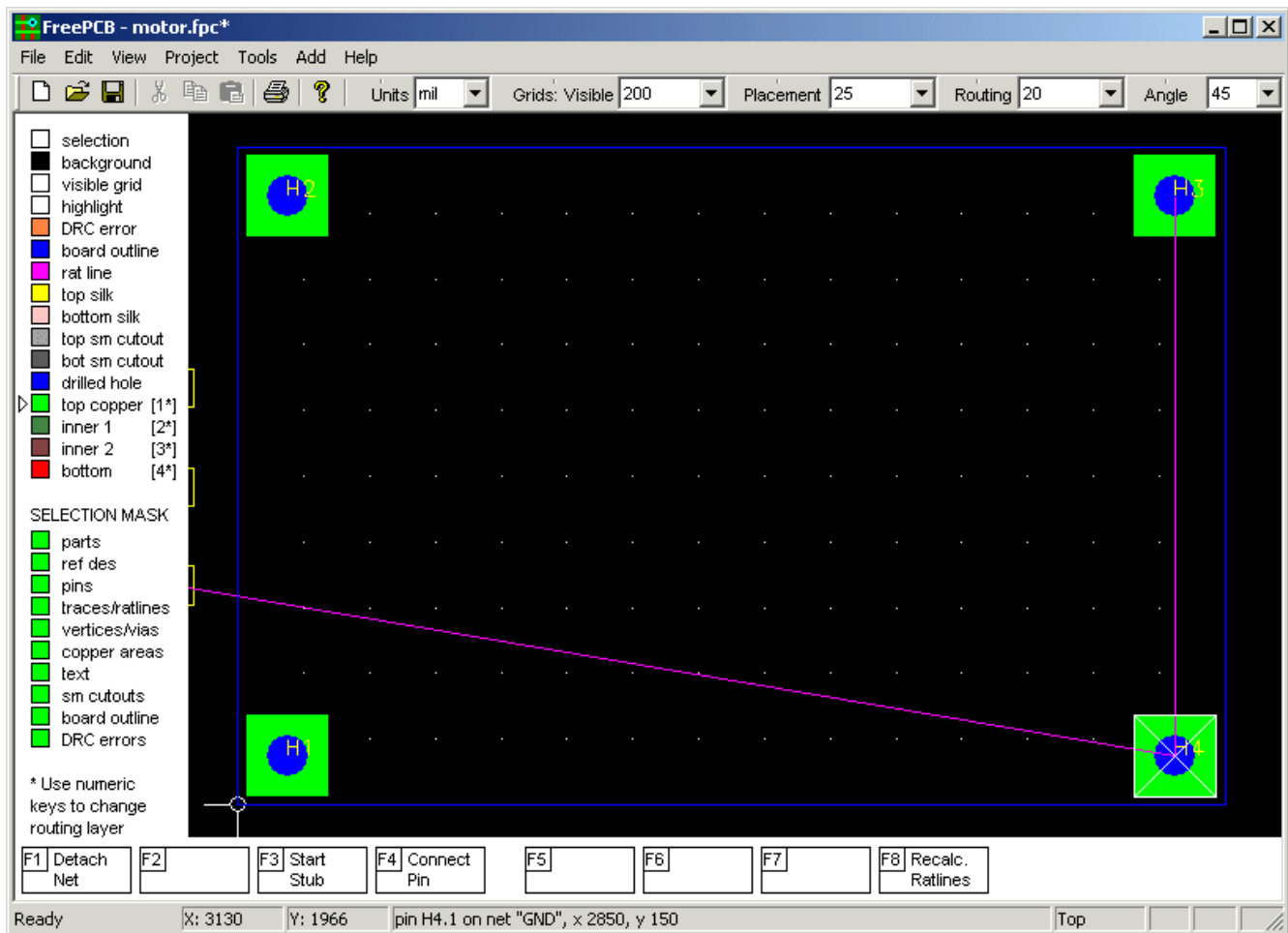
- С выбранным выводом, нажмите F1 ("Set Net"), что вызовет следующий диалог. Используйте раскрывающееся меню, чтобы выбрать цепь GND, как показано ниже.



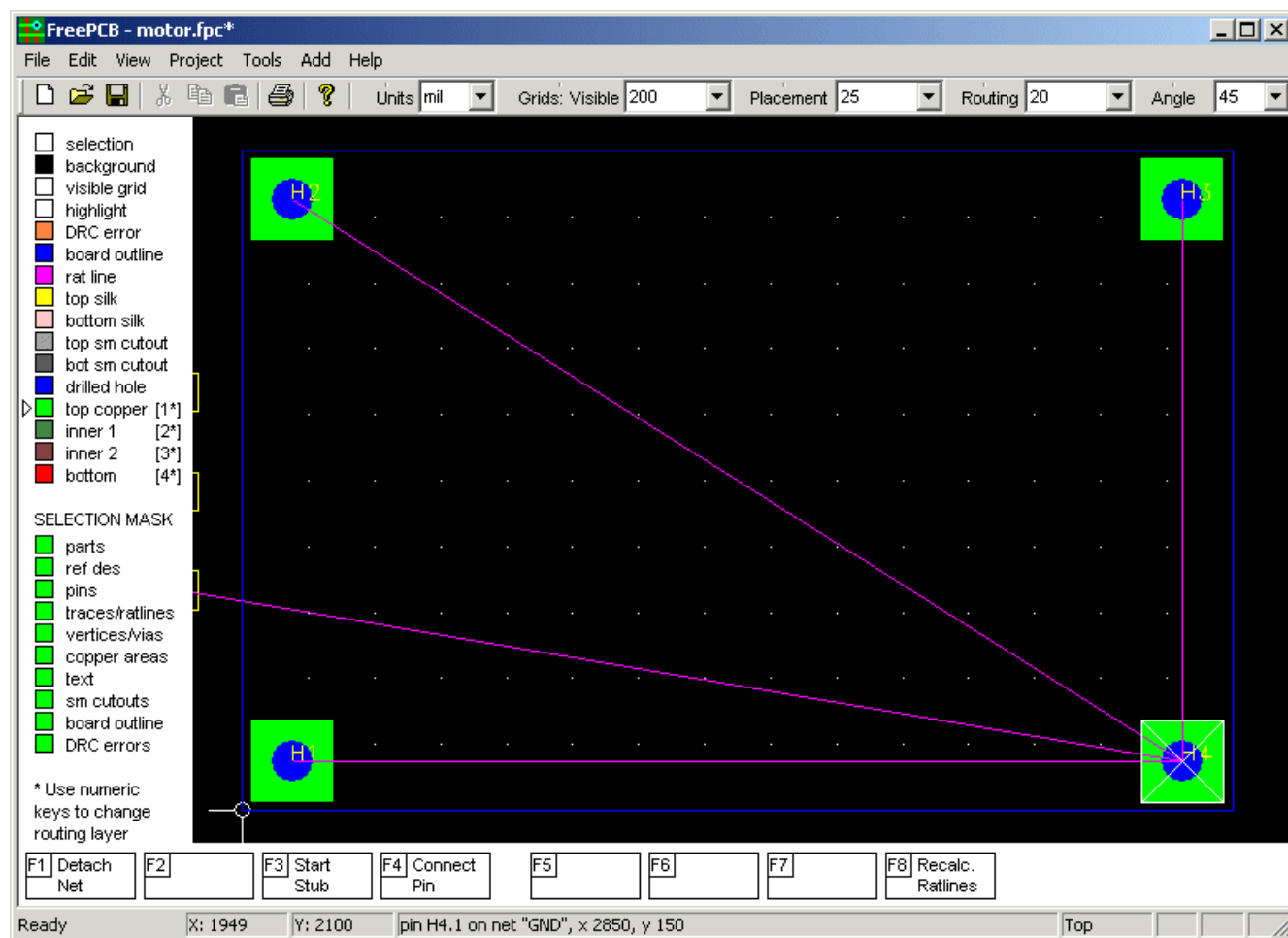
- Нажмите OK, чтобы назначить H4.1 на цепь GND. После этого к выводу подключится соответствующая ratline.



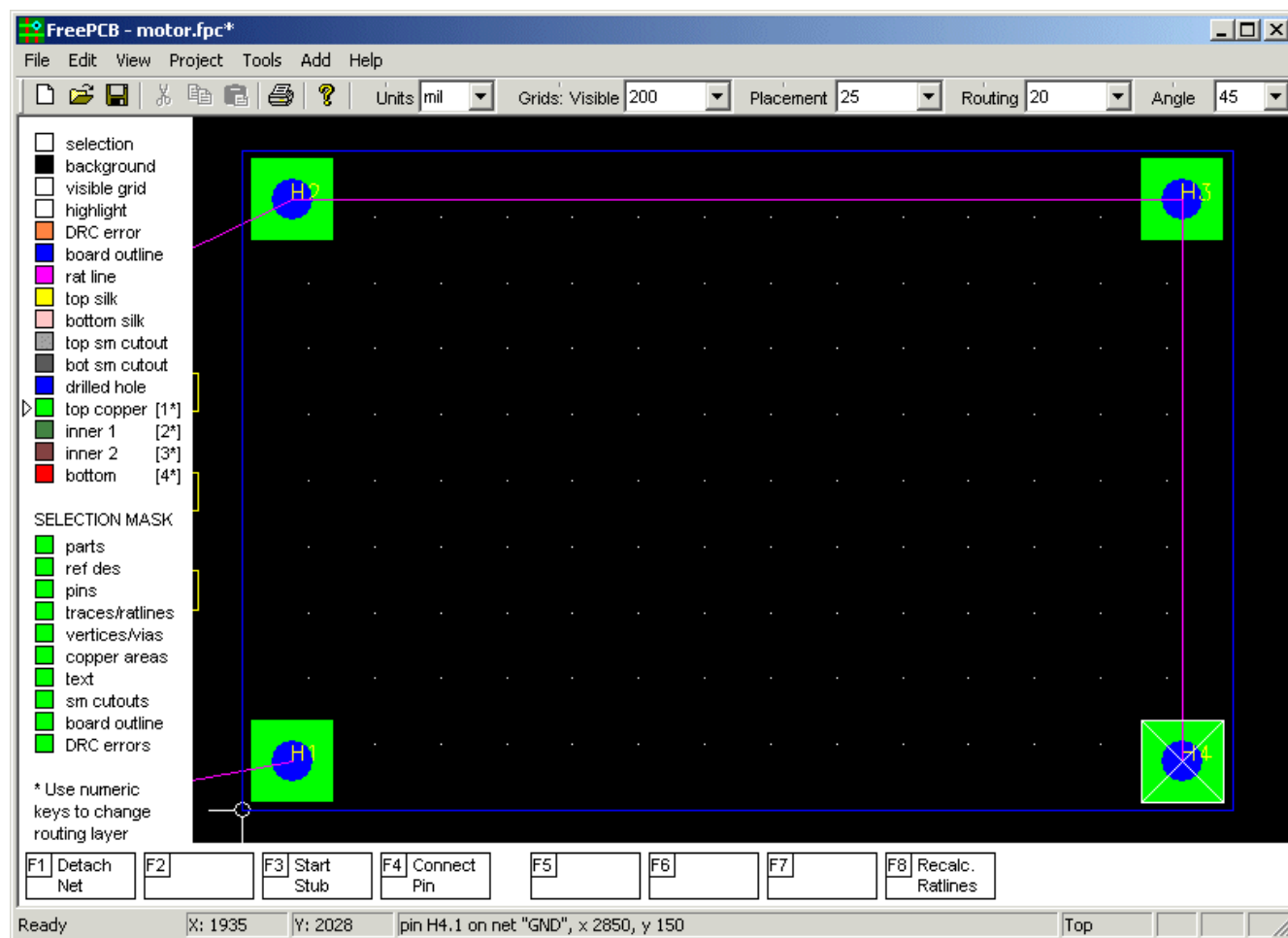
- Теперь подключим H3.1 к GND, рисуя ratline от H4.1 к H3.1. С всё ещё выбранным выводом H4.1 нажмите клавишу F4 ("connect Pin"). Теперь Вы будете тянуть ratline от H4.1. Поместите конец ratline на H3 и левым кликом подключите H3.1 к H4.1, как показано ниже.



Точно так же, подключите H4 с H1 и H2.



Теперь нажмите F8 ("Recalc ratlines"), чтобы перерисовать ratlines, минимизировав их полную длину.

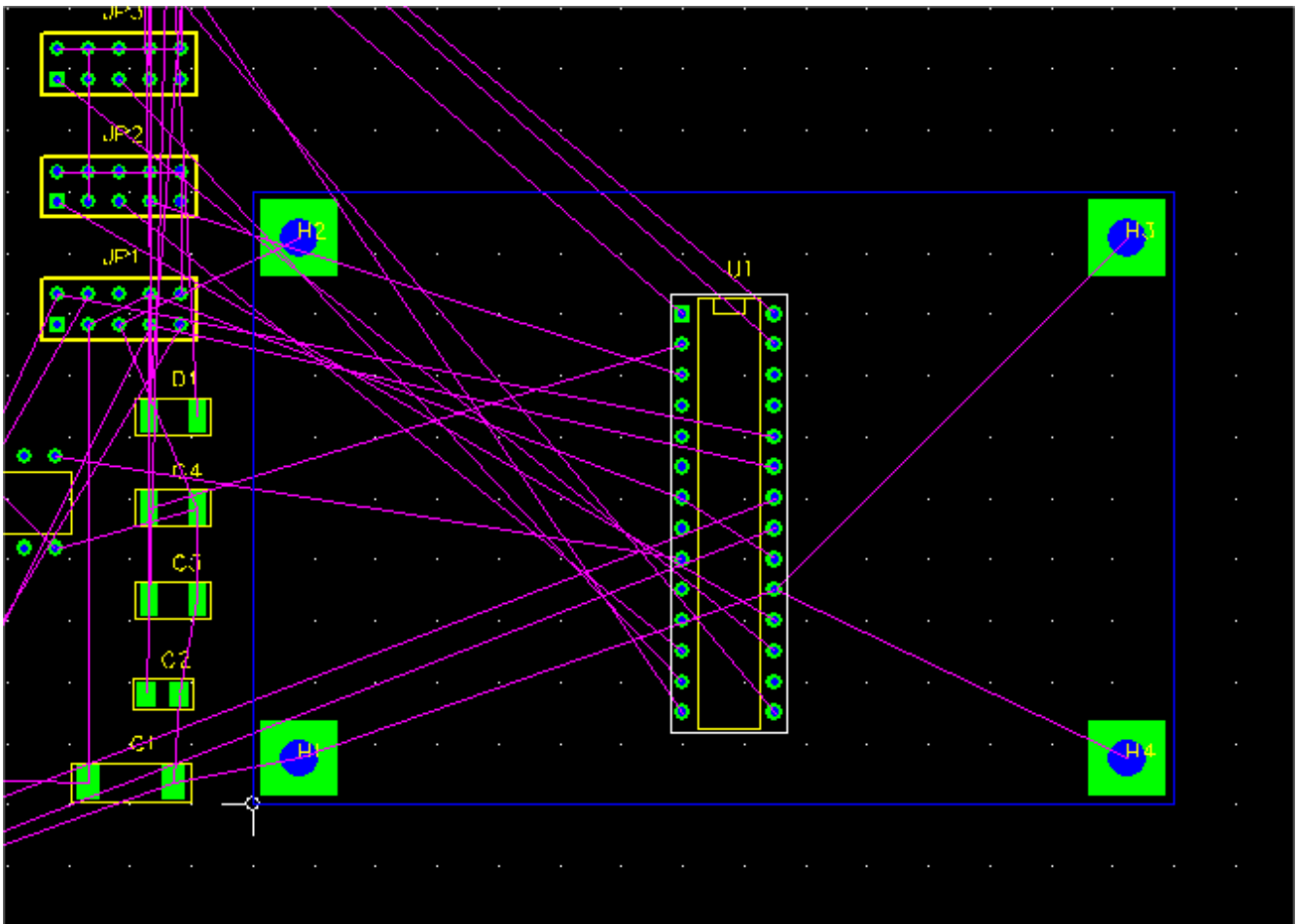


7.6 Размещение корпусов

В этом разделе, мы разместим корпуса на нашей плате (PCB).

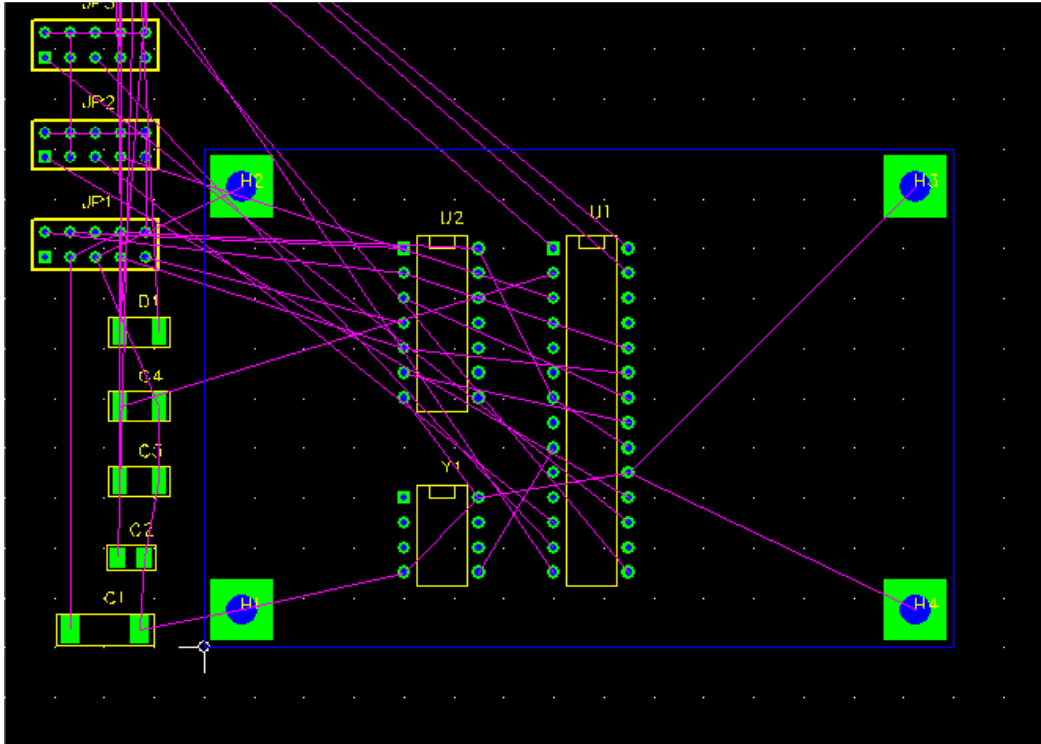
- Установите сетку размещения [Placement](#) в разумное значение, такое как 100 mils, для того, чтобы разместить корпуса со штыревыми выводами, у которых интервал между отдельными выводами составляет 100 mils. Это облегчит выравнивание корпусов. Позже, мы можем использовать меньшую сетку для SMT корпусов.
- Выберите [Show all](#) из меню [View](#) (или нажмите клавишу "Home") так, чтобы Вы могли видеть все корпуса. Это поможет, если Вы сделаете окно FreePCB как можно больше (хотя тогда у Вас может быть проблемы с просмотром этого учебника, если конечно у Вас нет второго монитора).
- Прежде чем размещать корпуса, уделите минуту, чтобы сделать обзор схемы. Может быть полезным напечатать схему так, чтобы Вы могли обращаться к ней, проектируя PCB. Так как U1 - наибольший и наиболее "подключенный" компонент, я предложил бы поместить его куда-нибудь около центра платы, с другим ИС неподалёку. Разъёмы JP1-JP6, вероятно, должны быть помещены около краев.
- Давайте начнём с размещения U1. Выберите его, кликнув по нему. Белая контурная линия должна появиться вокруг корпуса, показывая, что он был выбран. Будьте осторожными, что бы не нажимать на одну из площадок или позиционное обозначение, или Вы выберете это вместо всей корпуса. Если у Вас есть проблема с поиском U1, Вы можете использовать пункт [View > Show part](#), чтобы выбрать нужное позиционное обозначение.
- Предупреждение: Иногда может быть трудно выбрать маленький корпус, у которой есть относительно большие площадки, такие как конденсатор поверхностного монтажа. Однако, вот уловка, которую Вы можете использовать. FreePCB никогда не будет выбирать кое-что, что уже выбрано, если есть альтернатива. Поэтому, если Вы нажимаете на корпус и выбираете площадку вместо этого (или какая-нибудь структура перекрытия), щелкаете еще раз, и Вы, скорей всего, выберите корпус. Вы должны убедиться в том, что между отдельными щелчками есть достаточный период времени, чтобы Windows не восприняла их за двойной щелчок, который обычно ничего не делает.

- С выбранным U1, нажмите F4, чтобы начать его перемещение. Перетащите его к центру платы. Курсор будет "прикреплен" к первому выводу корпуса. Вращайте корпус, нажимая F3, так, чтобы корпус стал вертикально и вывод 1 располагался в верхнем левом углу. Когда корпус окажется в центре платы, левым кликом разместите его. Результат должен выглядеть примерно так:

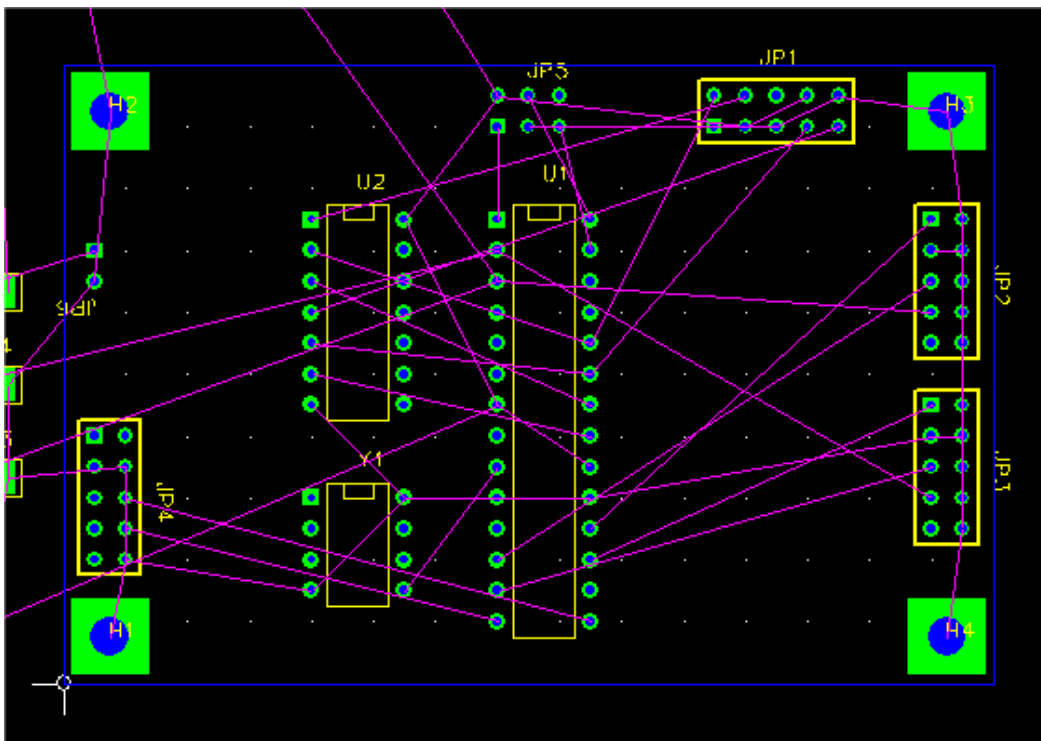


- Обратите внимание, что ratlines двигаются с корпусом. После того, как Вы разместили его, возможно обратите внимание, что часть из ratlines изменили своё подключение к выводам. Это потому, что FreePCB автоматически оптимизирует ratlines для минимизации их полной длины.

- Теперь давайте поместим другие DIP ИС, U1 и Y1, как показано ниже:

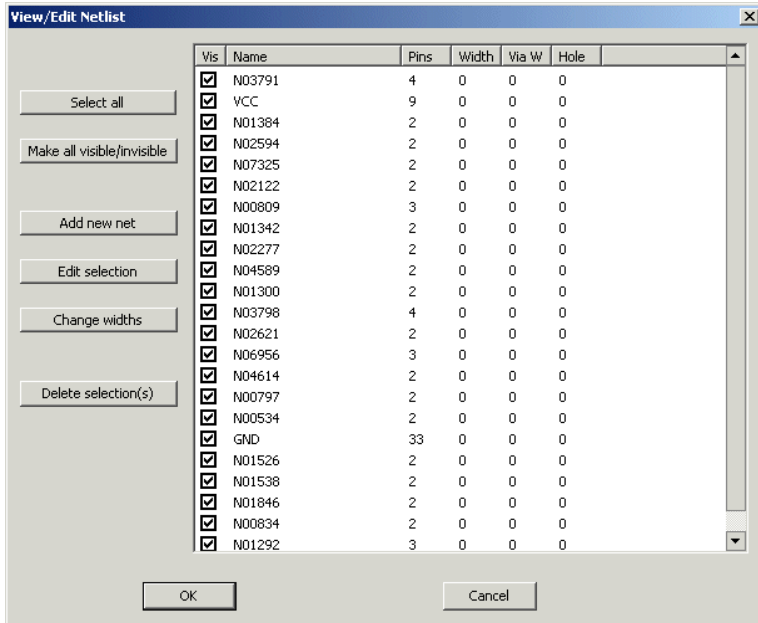


- Теперь поместите DIP разъёмы вдоль краев платы, как показано ниже:

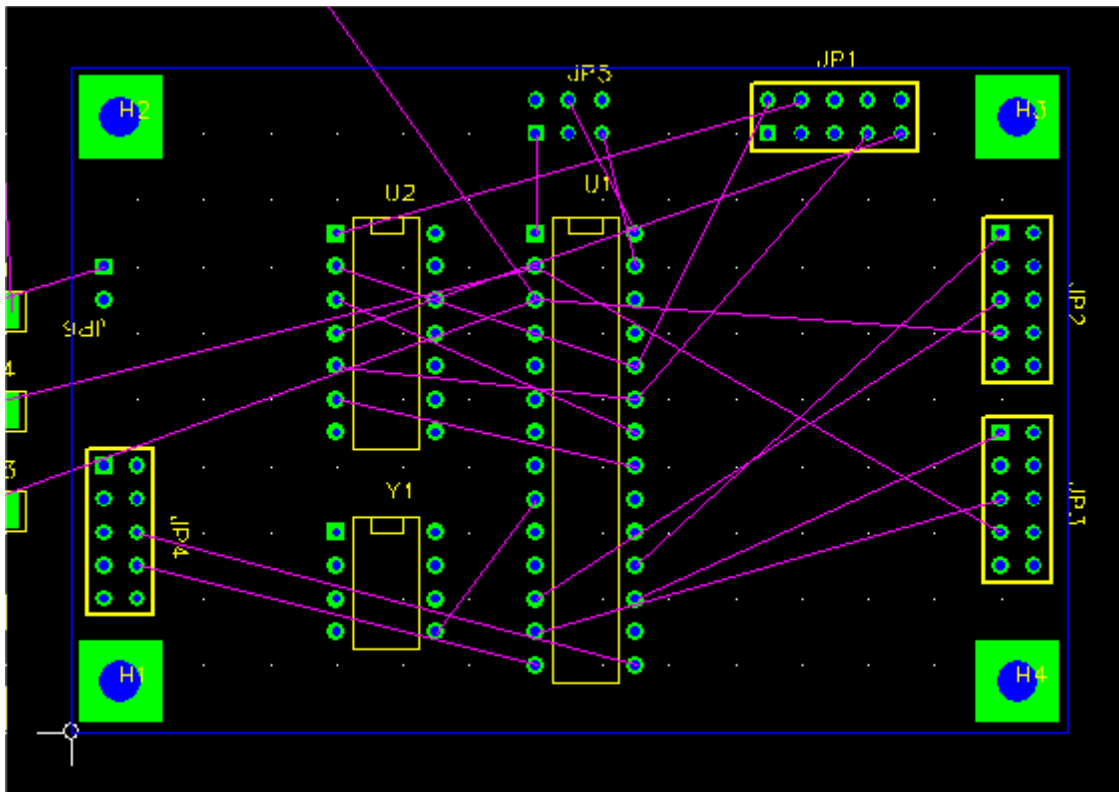


В процессе размещения корпусов смотрите на ratlines, чтобы попытаться найти оптимальное расположение для более легкой последующей разводки. Однако, не обязательно обращать внимание на все ratlines. На этой плате мы будем использовать внутренние слои для цепей VCC и GND. Поэтому, ratlines для этих цепей лучше сделать невидимыми.

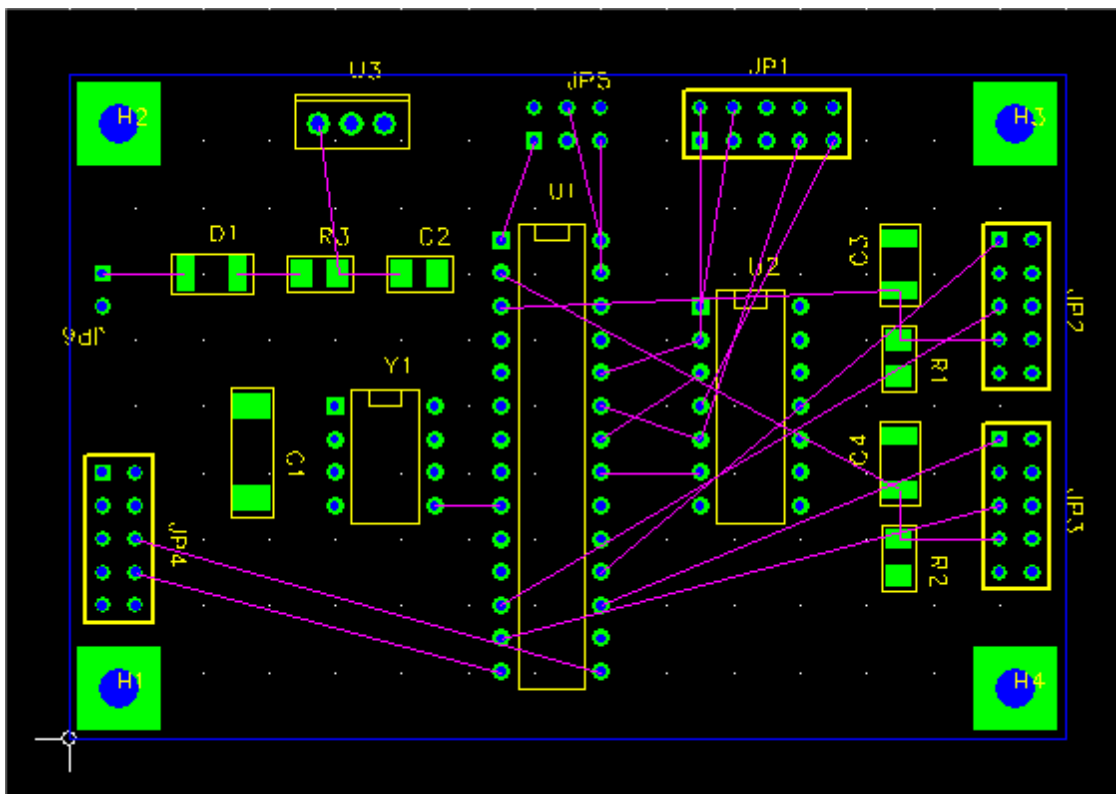
- Выберите **Nets...** из меню **Project**. Появится следующий диалог:



Большая часть диалога занята списком цепей. Рядом с названием каждой цепи показано количество выводов, входящих в цепь, размеры дорожек и переходных отверстий. Кроме того, слева от каждого названия есть переключатель, который определяет видимость ratlines данной цепи. В данный момент все цепи видимы. Чтобы сделать VCC и GND невидимыми, снимите галочки рядом с ними. Затем нажмите OK. Теперь видимых ratlines стало меньше.

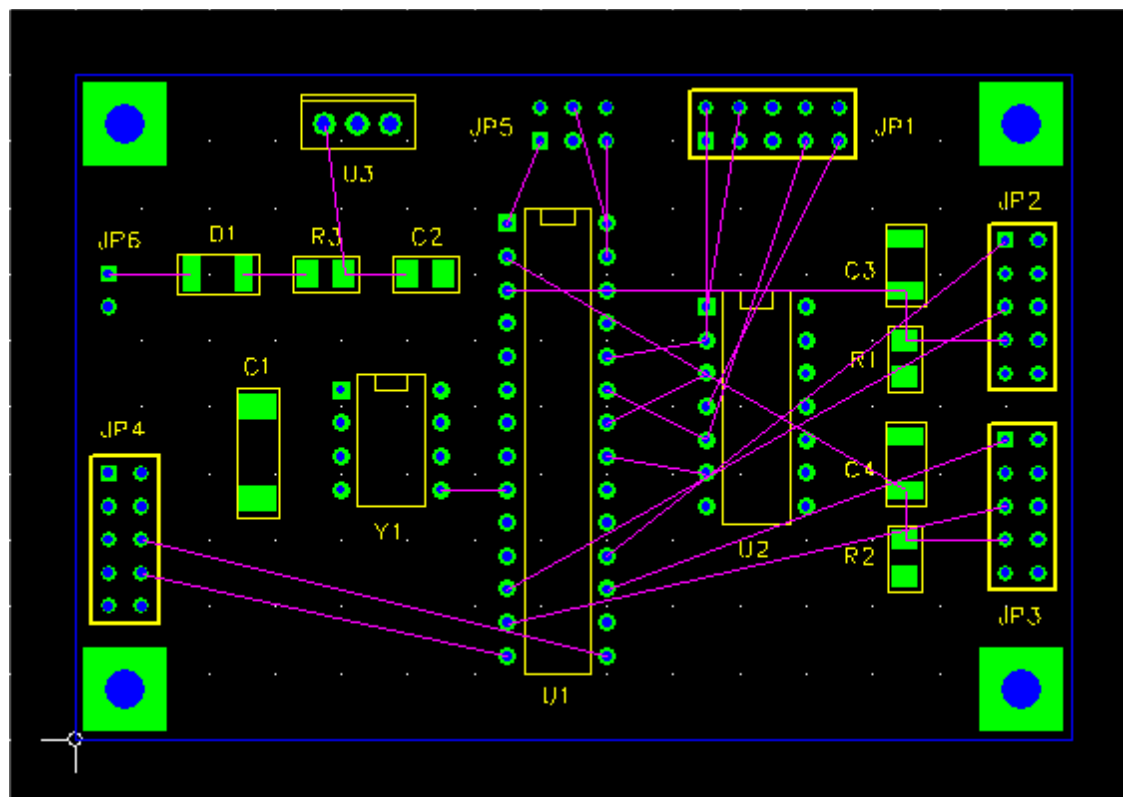


- Теперь разместите остальные корпуса. Как упомянуто выше, выбор маленьких корпусов SMT конденсаторов может оказаться сложным, если Вы не располагаете курсор точно между его контактными площадками или не используете метод с двух щелчков. Вы можете использовать мелкую сетку размещения [Placement](#), такую как 50 mils. После того, как все корпуса будут размещены, возможно, Вам придется ещё несколько раз перемещать их, чтобы создать свободное место место или улучшить эффективность подключений. Попробуйте устанавливать корпуса не слишком плотно. В реальной жизни от правильного размещения корпусов зависит успех разводки. Так что не жалейте времени на то, чтобы сделать это правильно. Однако, как бы то ни было, на данной плате это не должно быть большой проблемой.
- Вы можете видеть мой вариант размещения корпусов ниже. Обратите внимание, что я переместил U2 вправо от U1, чтобы сократить длину ratlines между этими корпусами.



- Теперь, давайте разместим позиционные обозначения корпусов в слое шелкографии так, чтобы они были правильно ориентированы и хорошо видимы после того, как компоненты будут впаяны. Во-первых, установите маленькое значение сетки размещения [Placement](#), например 10 mils, для более точного размещения этих маленьких элементов. Выберите каждое позиционное обозначение, кликая по нему, и переместите его клавишей F4. Как и с корпусами, F3 вращает позиционное обозначение во время перемещения.
- Так как позиционные обозначения для монтажных отверстий не представляют пользы, можете сделать их невидимыми, последовательно выбирая их, затем нажимая F5 ("Set Size") и обнуляя размер. Поскольку они расположены прямо над контактными площадками отверстий, Вы, скорей всего, не сможете их выбрать. После клика будет выбираться либо корпус, либо вывод. Поэтому, используйте маску выбора, чтобы отключить выбор корпусов и/или выводов, а затем кликните по позиционному обозначению. В качестве альтернативы, выберите корпус монтажного отверстия, а затем выберите [Set Ref. Text Size](#) из меню правого клика. Таким же образом можно сделать их видимыми снова, увеличив размер.

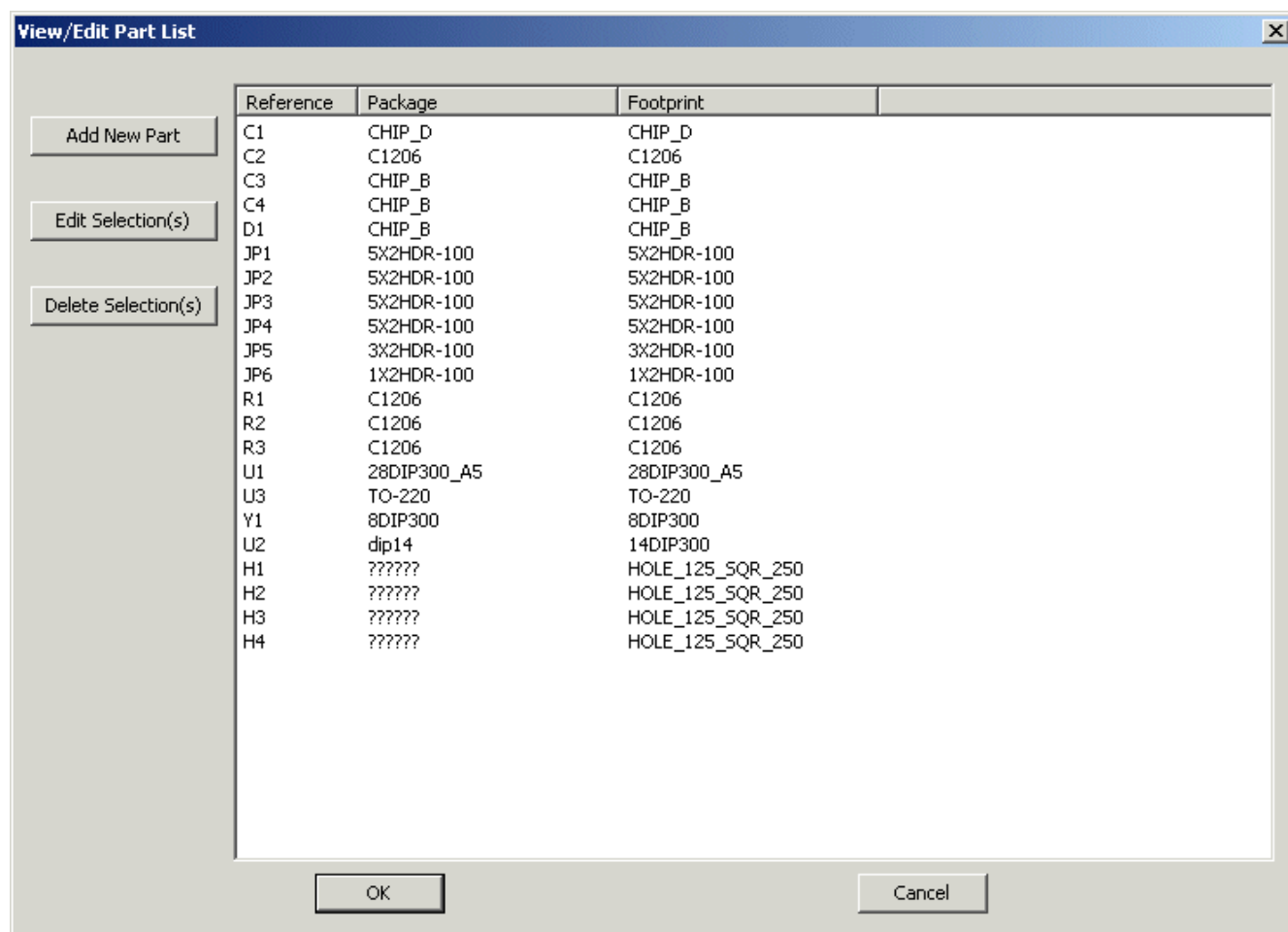
Вот конечный скриншот.



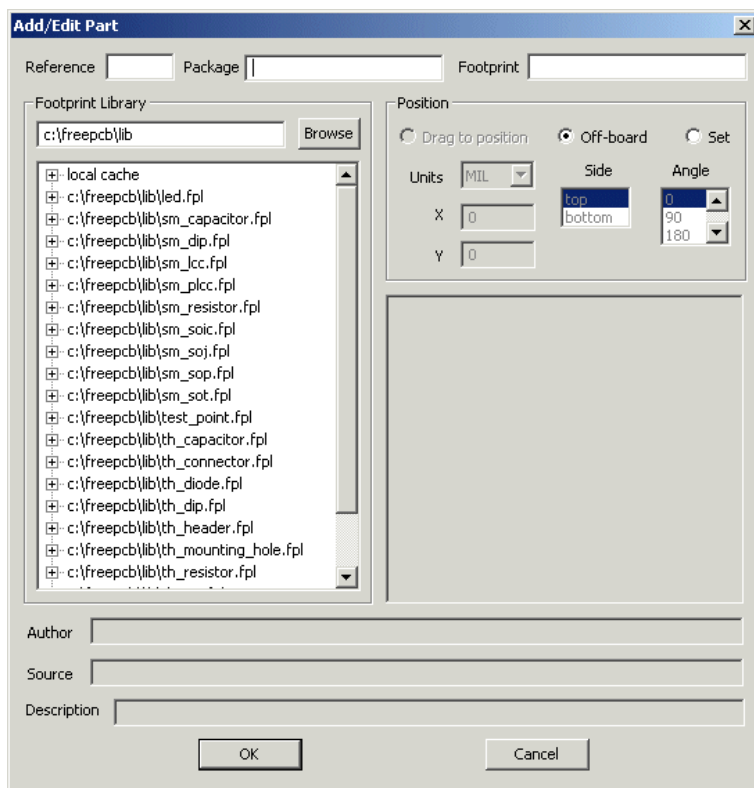
7.7 Добавление корпусов и редактирование соединений

Изменение проекта PCB через добавление, замену или удаление корпусов или изменение списка соединений, иногда упоминается как редактирование "на лету". FreePCB дает Вам фактически неограниченную свободу для этого типа редактирования. Однако, Вы должны использовать эту свободу осторожно. Имейте в виду, что, изменяя partlist и список соединений, Вы создаете несоответствие между своей схемой размещения PCB и схемным оригиналом. Если вы вносите любые значимые изменения, то также должны обратно внести их в схему. В противном случае диагностика PCB может стать кошмаром. Вообще, "оперативное" редактирование лучше всего используется для относительно незначительных изменений. Если вам нужно выполнить более обширные переработки, то лучше вернуться в схемный редактор и создать новый файл списка соединений. В этом разделе мы добавим три блокировочных конденсатора к нашему PCB, один для каждого DIP корпуса. Мы подключим их к цепям VCC и GND. FreePCB обеспечивает несколько способов, чтобы сделать это, и мы их все обсудим.

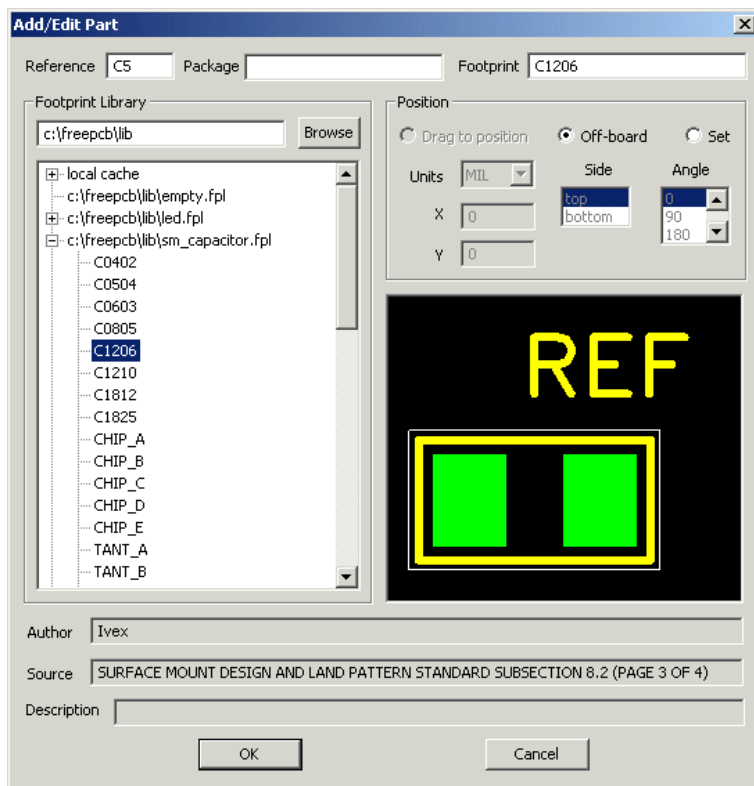
- Установим разумное значение сетки размещения для конденсаторов поверхностного монтажа, например 50 mils.
- Выберем [Parts...](#) из меню [Project](#). В результате появится диалог [View/Edit Part List](#).



- Обратите внимание, что последним в списке корпусов будет конденсатор C4. Мы добавим C5, C6 и C7.
- Нажмите [Add New Part](#). Это вызовет диалог [Add/Edit Part](#).

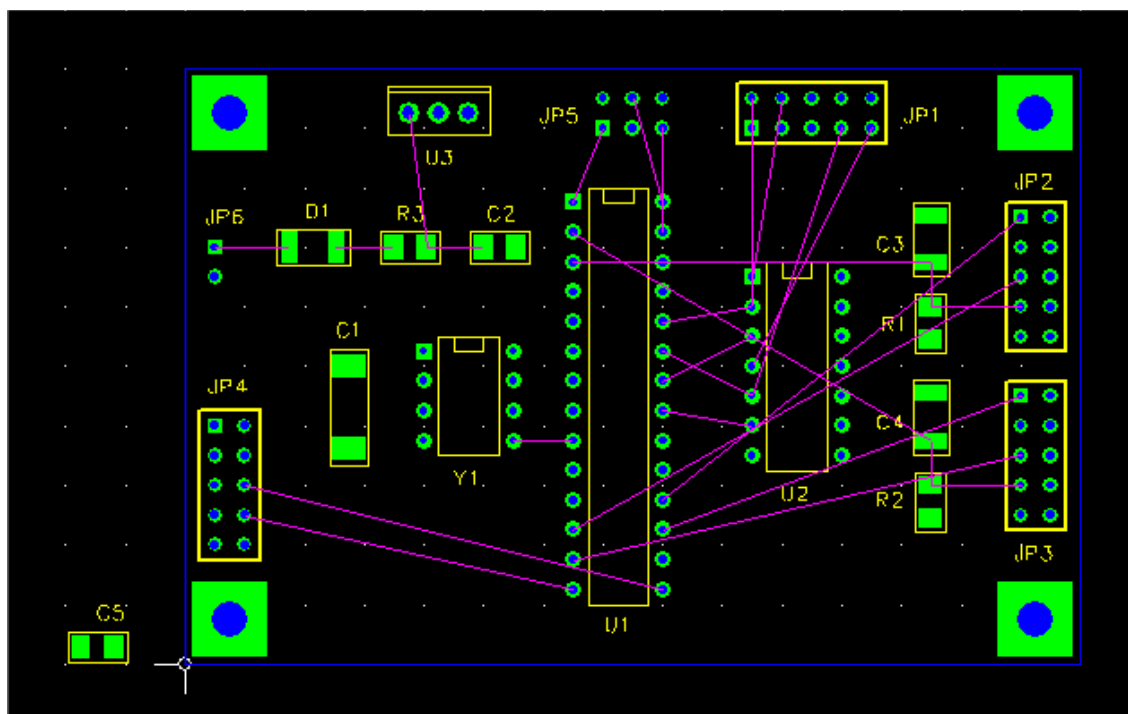


- Разверните библиотеку **sm_capacitor.fpl**, кликая по символу "+" рядом с ней.
- Выберите футпринт "C1206", кликнув по нему. Поле **Footprint** должно измениться на "C1206".
- Введите "C5" в поле **Reference**. Теперь Вы должны видеть:

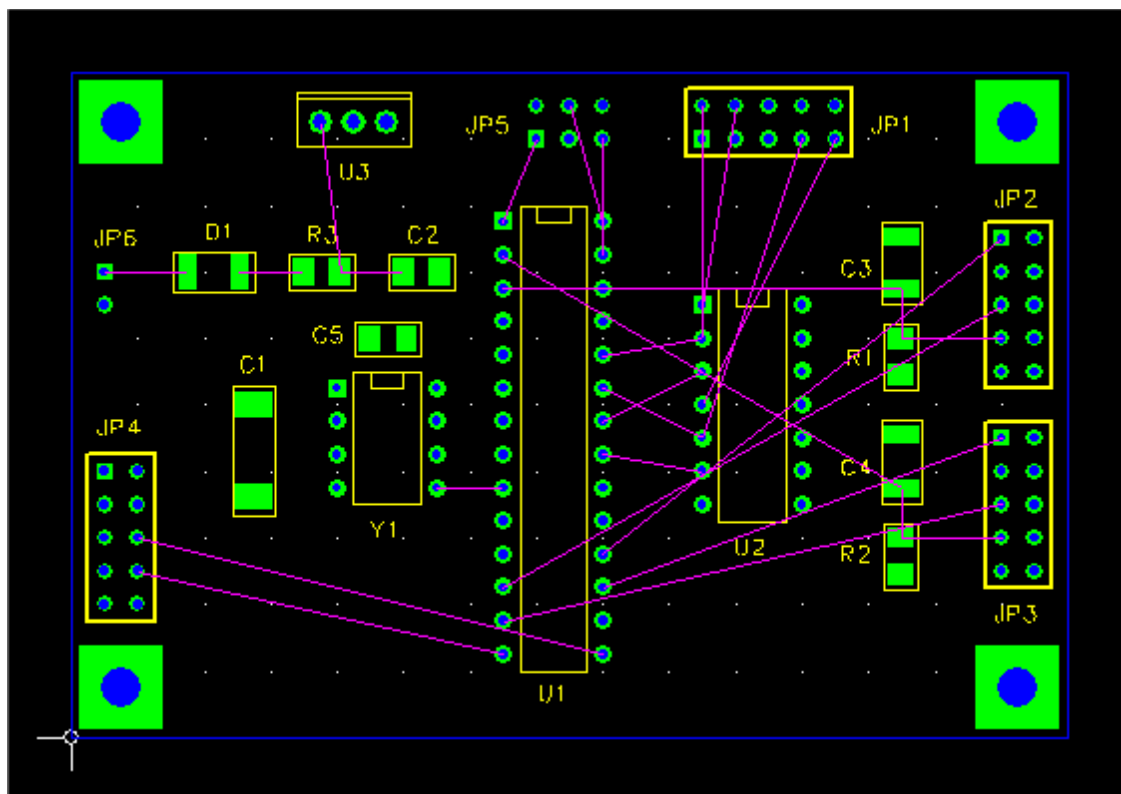


Нажмите OK, чтобы добавить корпус в список partlist.

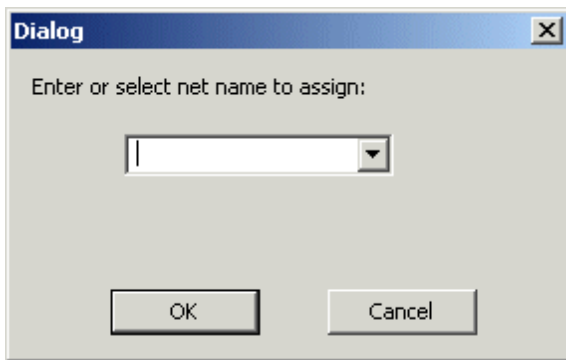
- Теперь Вы вернетесь в диалог **View/Edit Part List**. Нажмите ОК, чтобы выйти. Новый конденсатор C5 появился слева от начала координат.



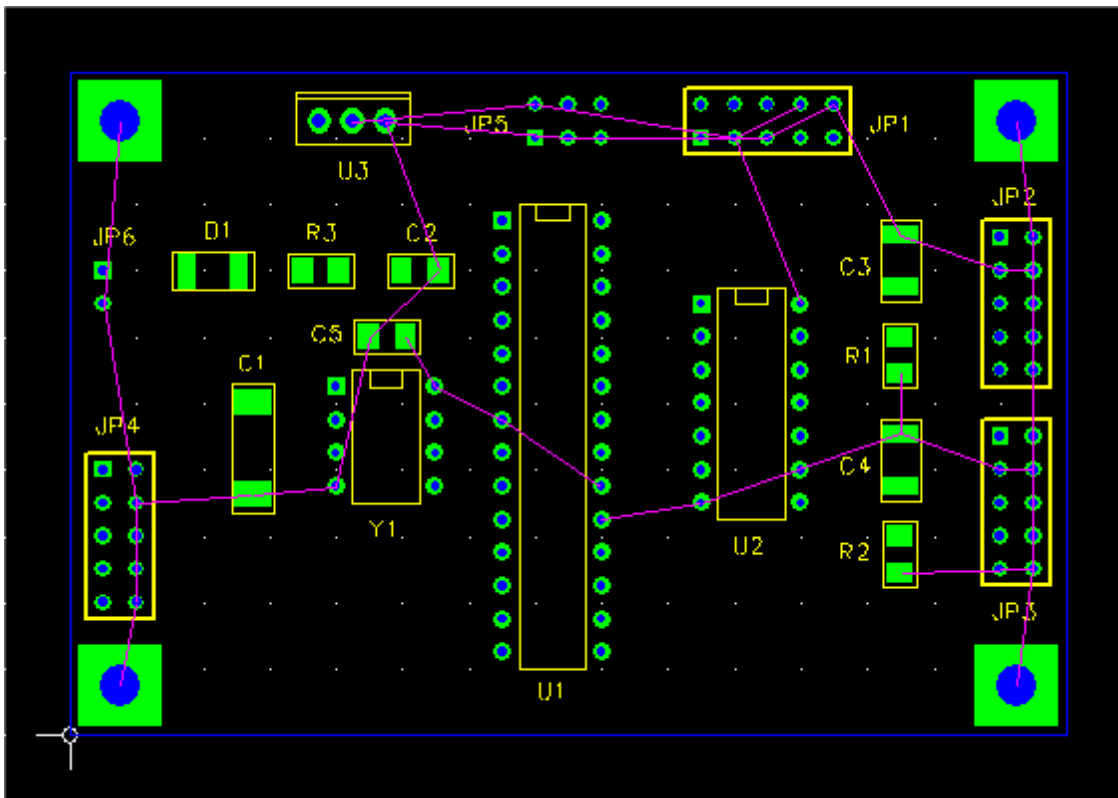
Выберите C5, кликнув по нему, и разместите его сверху от Y1. Если необходимо, переместите текст позиционного обозначения таким образом, чтобы оно было видно.



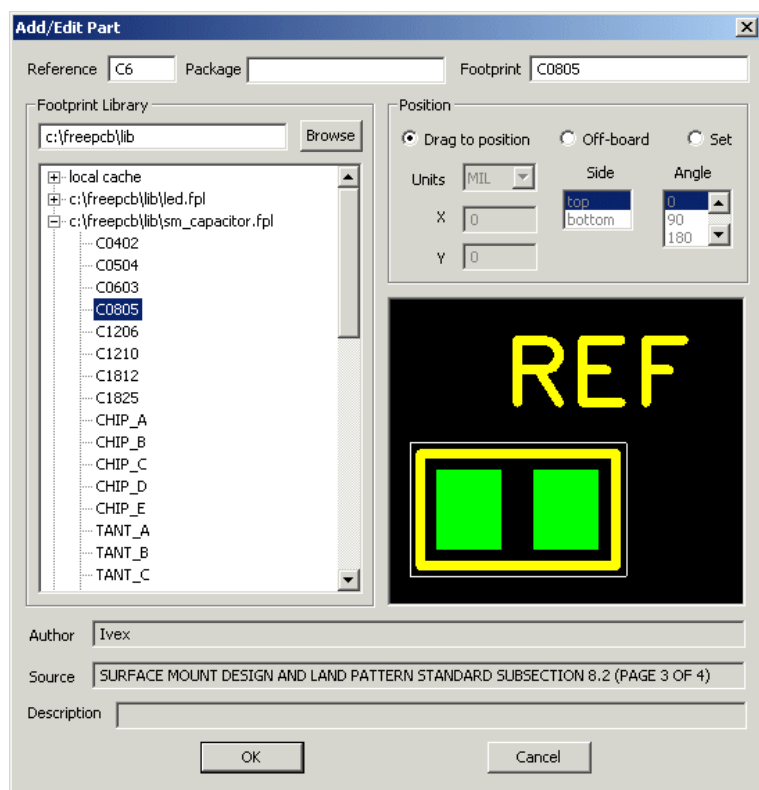
- Нажмите на крайнюю справа площадку C5, чтобы выбрать её. Если Вы не вращали корпус, то это будет вывод 2. Нажмите F1 ("Set Net"), чтобы появился следующий диалог:



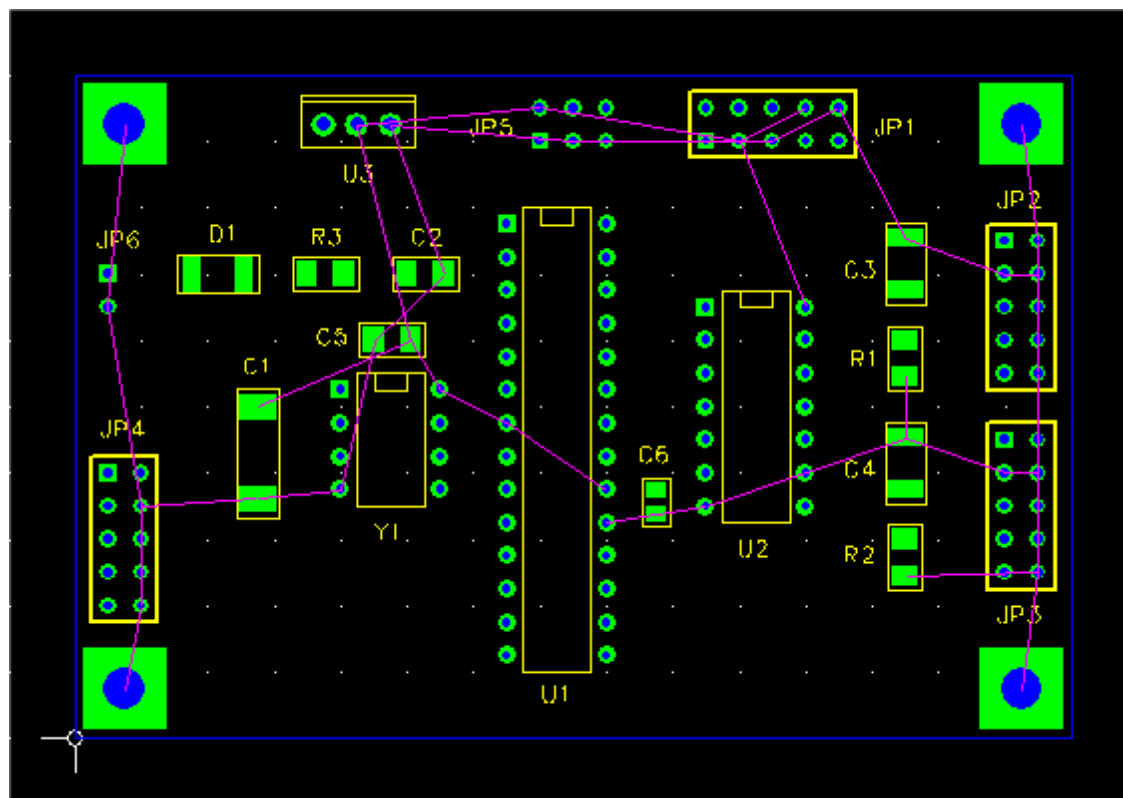
- Из выпадающего меню, выберите VCC, или просто напечатайте "VCC" в текстовом поле. Нажмите OK, чтобы подключить вывод. Нажмите F8 ("Recalc. Ratlines"), чтобы повторно вычислить ratlines для VCC, и включить новый вывод C5.2.
- Теперь выберите крайнюю левую площадку C5, и повторите всю процедуру, чтобы подключить её к GND. Теперь Вы должны видеть ratlines к обоим площадкам C5.



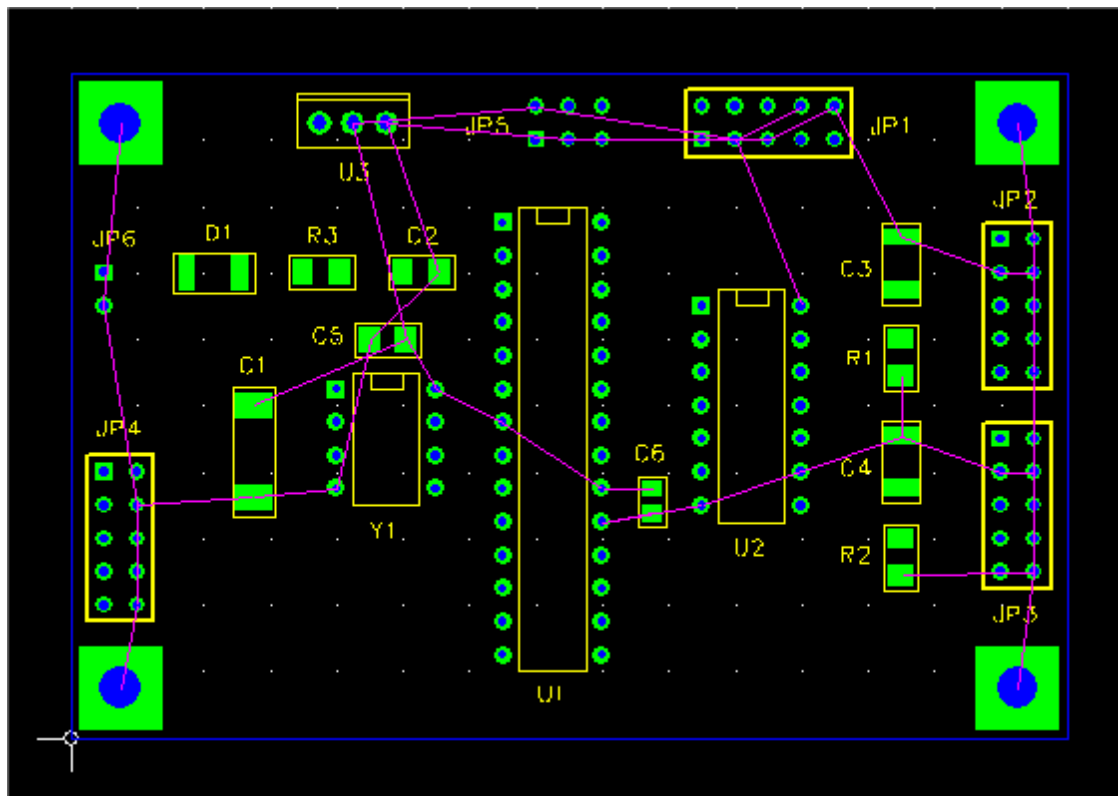
Теперь давайте использовать немного другой метод, чтобы добавить C6. Выберите [Add > Part](#). В результате появится диалог [Add/Edit Part](#). Это тот же самый диалог, что мы вызывали раньше из диалога [View/Edit Partlist](#), за исключением того, что кнопка [Drag to position](#) теперь разрешена и выбрана. На сей раз, для нового корпуса выберите футпринт C0805. Введите C6 в поле [Reference](#).



- Нажмите ОК. Теперь Вы можете перемещать C6. Поместите его около выводов 19 и 20 U1, как показано ниже.

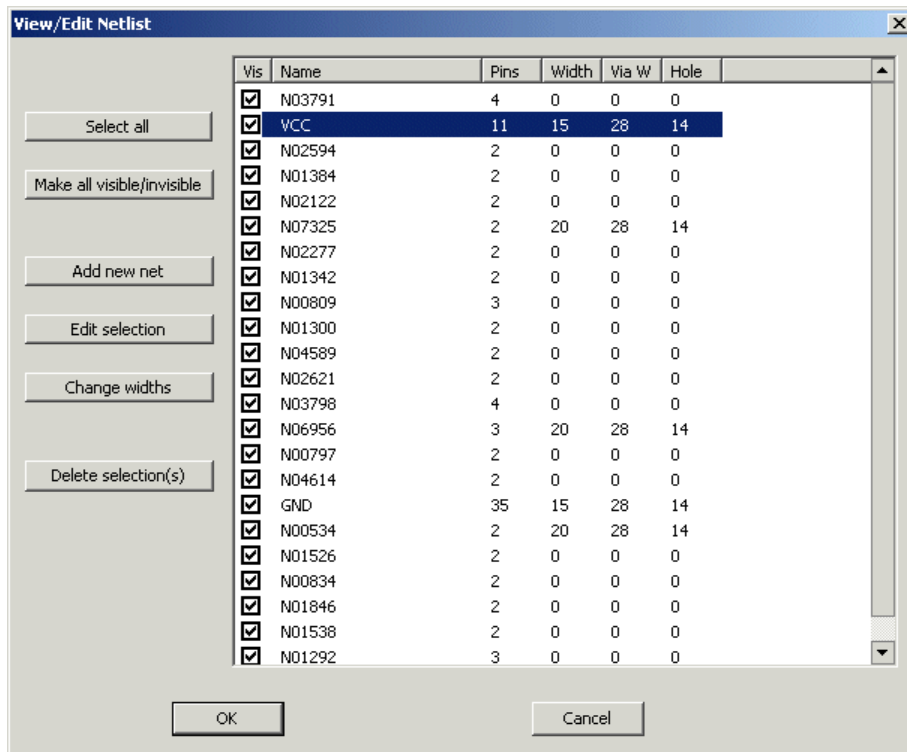


Мы подключим C6 к цепям VCC и GND, рисуя ratlines между выводами. Выберите верхнюю площадку C6, кликнув по ней. Затем нажмите F4 ("Connect Pin"), подключив ratline к площадке. Переместите курсор к площадке вывода 20 U1 (который присоединен к цепи VCC), и кликните по ней, чтобы подключить ratline к этому выводу. Точно так же, подключите нижнюю площадку C6 к выводу U1.19. Выберите C6, кликнув по нему, и нажмите F8 ("Recalc. Ratlines"), чтобы повторно вычислить ratlines для C6. Ваше размещение должна выглядеть следующим образом:



- И наконец, добавьте C7 тем же самым способом, которым мы добавили C6, используя [Add > Part](#). Поместите его сверху от U2, так же как мы поместили C5 сверху от Y1.

Теперь давайте организуем подключение к VCC и GND, используя пункт [Project > Nets...](#), вызывающий диалог [View/Edit Netlist](#). Выберем цепь VCC, нажимая на неё, как показано ниже.

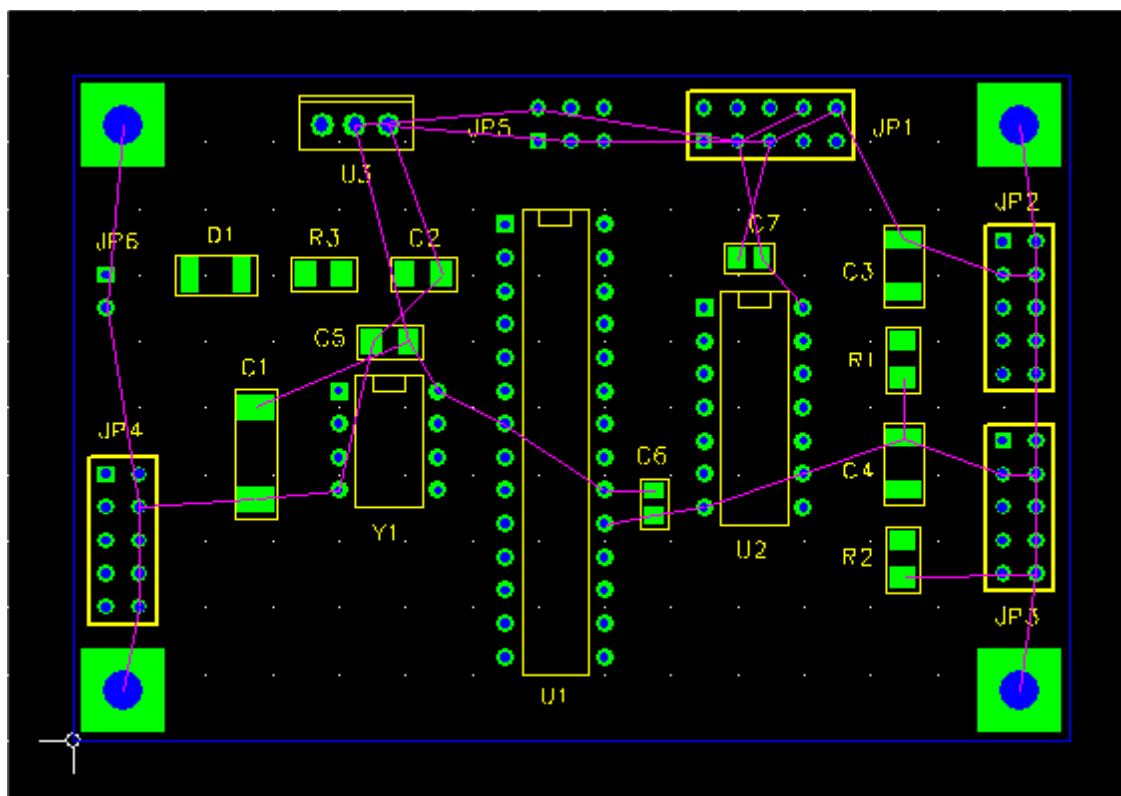


Теперь нажмите на [Edit selection](#). Появится диалог [Add/Edit Net](#).



- Введите C7.2 в текстовое поле рядом с кнопкой [Add Pin](#). Затем нажмите на [Add Pin](#). Вывод C7.2 должен быть добавлен к списку [Pin list](#). Нажмите OK для подтверждения. Это возвратит Вас к диалогу [View/Edit Netlist](#).
- Теперь выберите цепь GND, кликнув по ней, и редактируйте список вывода так же, как это было сделано для VCC, но на сей раз добавляя C7.1.
- Совет: Когда Вы добавляете вывод компонента к цепи, используя диалог [Add/Edit Net](#), убедитесь, что Вы кликнули на [Add Pin](#). Если просто кликнуть по OK, то это приведёт к завершению диалога без добавления вывода.

Нажмите F8 ("Recalc. Ratlines"), чтобы добавить ratlines к недавно добавленным выводам компонентов. Схема размещения должна теперь смотреться так, как показано ниже:

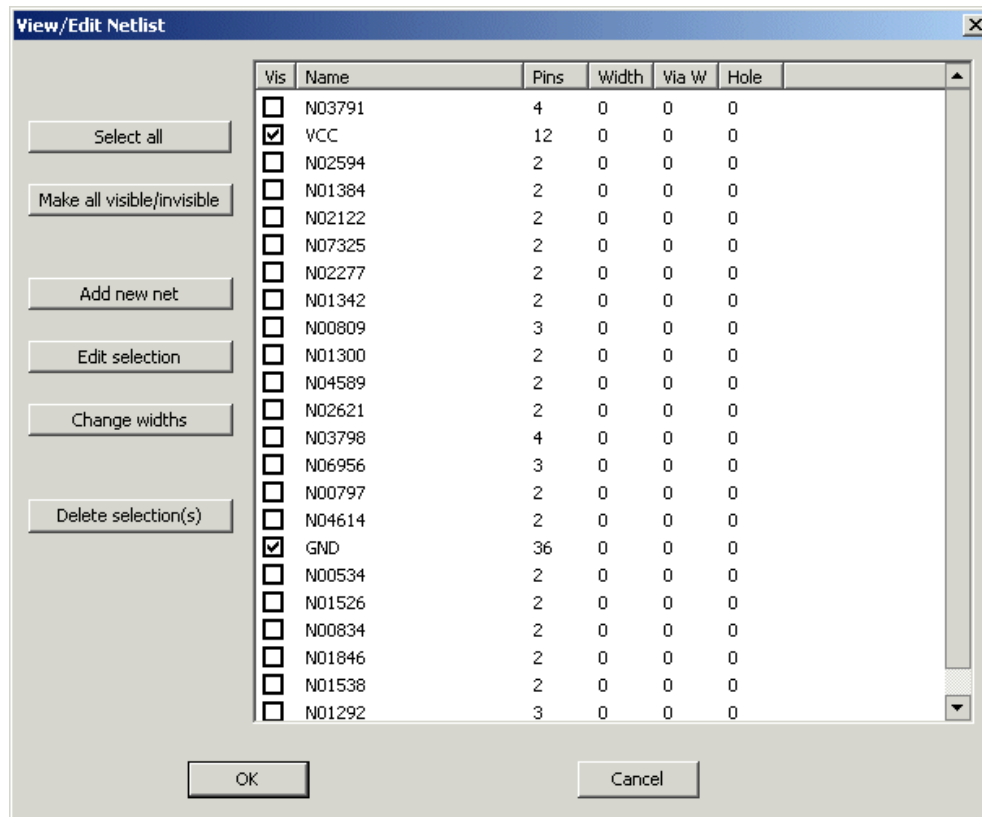


В следующем разделе мы будем использовать медные полигоны и обрубленные дорожки, чтобы создать цепи VCC и GND.

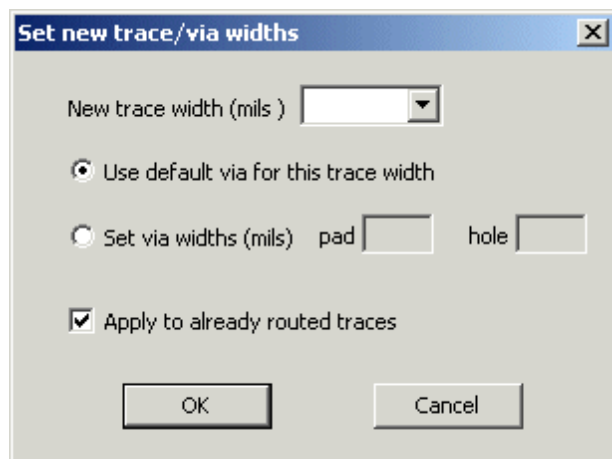
7.8 Добавление полигонов

В этом разделе, мы создадим проводящие области на внутренних слоях платы для плоскостей питания и земли.

- Выберите **Project > Nets...**. В результате должен появиться диалог **View/Edit Netlist**. Если Вы продолжаете действия описанные в предыдущем разделе, то будут видимы только цепи VCC и GND, как показано ниже.

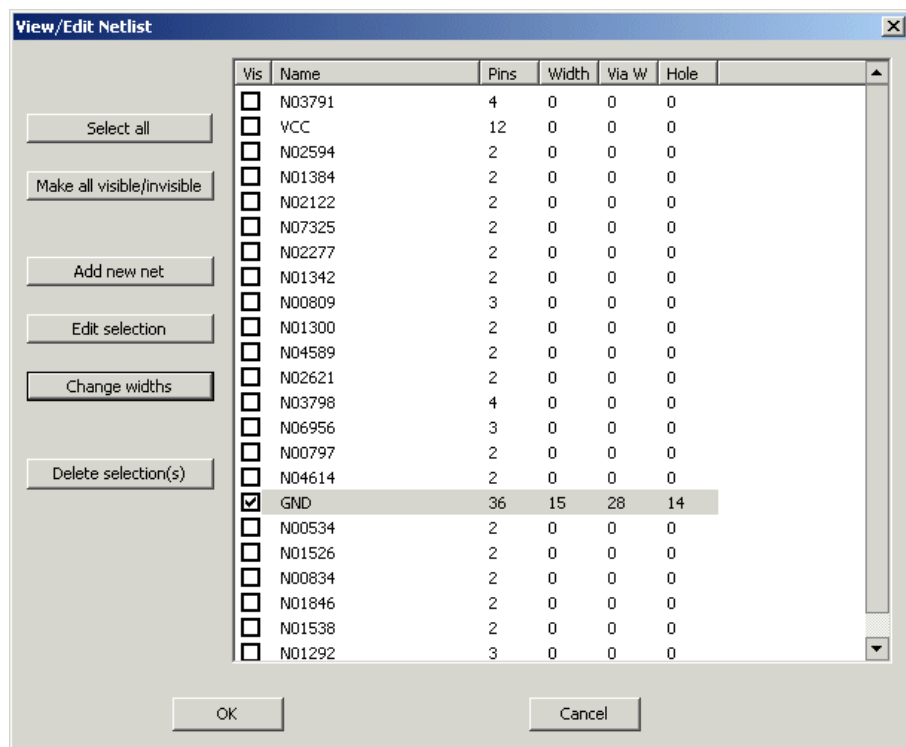


- Нажмите на **Make all visible/invisible** один или два раза, чтобы сделать все цепи невидимыми. Затем сделайте видимой только цепь GND.
- Обратите внимание, что ширина дорожки для каждого соединения "0". Это означает, что по умолчанию будет использовано проектное значение 10 mils. Давайте увеличим ширину дорожки цепи GND до 15 mils.

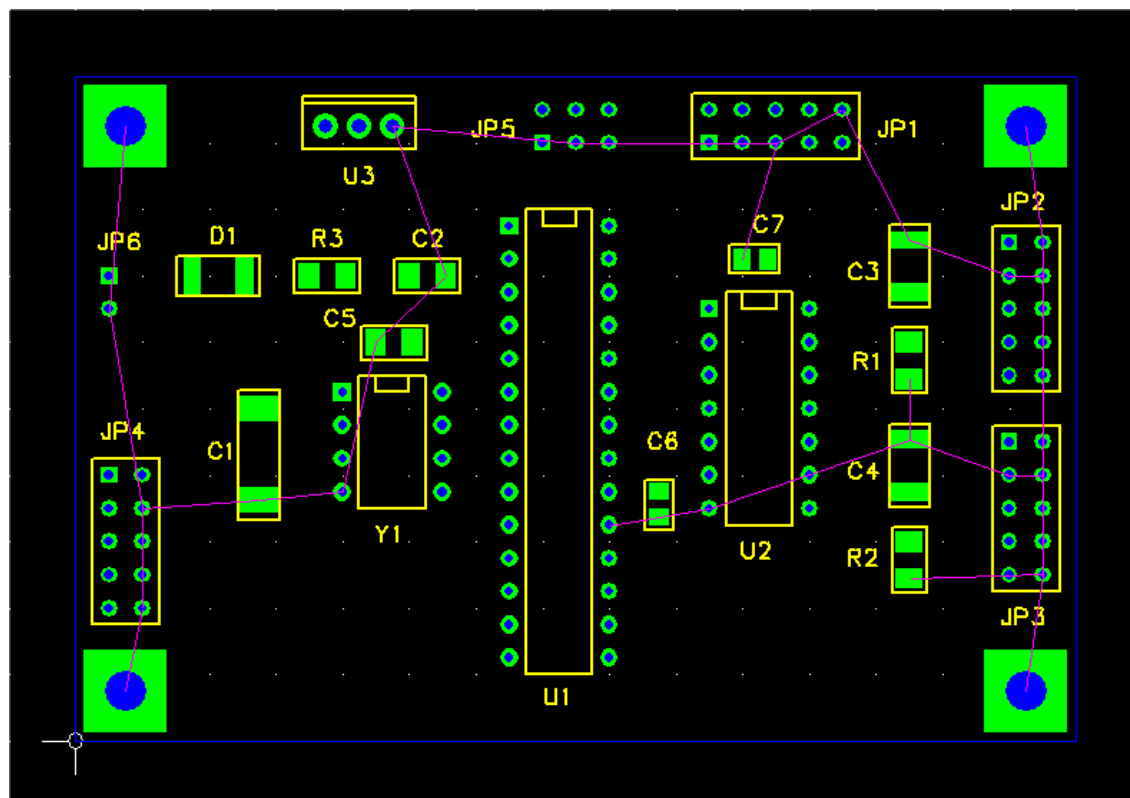


- Выберите цепь GND, нажимая на ее имя, которое после этого подсветится. Тогда нажмите на кнопку **Change widths**. В результате появится следующий диалог.
- Выберите "15" для новой ширины цепи GND, выбрав это значение из раскрывающегося меню, или введя "15" в текстовое поле. Оставьте кнопку **Use default via for this trace width** выбранной. Если мы хотим отменить значения, установленные по умолчанию для переходных отверстий, то выбираем **Set via widths** и явно устанавливаем ширину площадки и размер отверстия для переходного отверстия в текстовых полях. Нажмите OK, чтобы выйти из диалога.

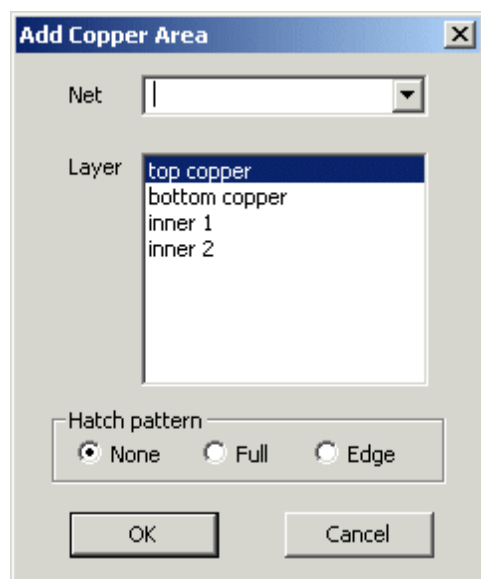
Диалог [View/Edit Netlist](#) теперь похож на изображенный ниже:



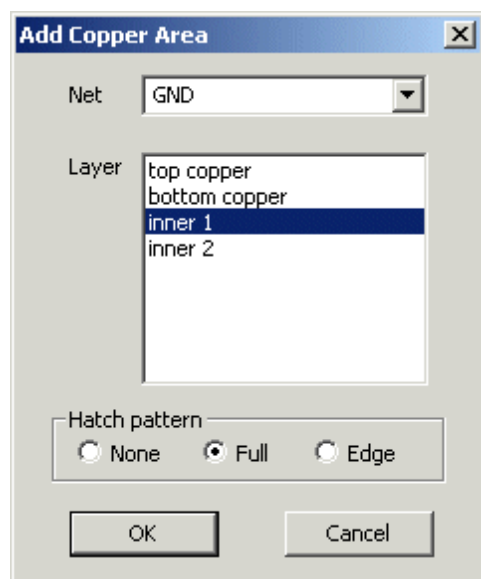
Нажмите OK, чтобы выйти из диалога. В окне схемы размещения теперь показаны только ratlines для соединения GND.



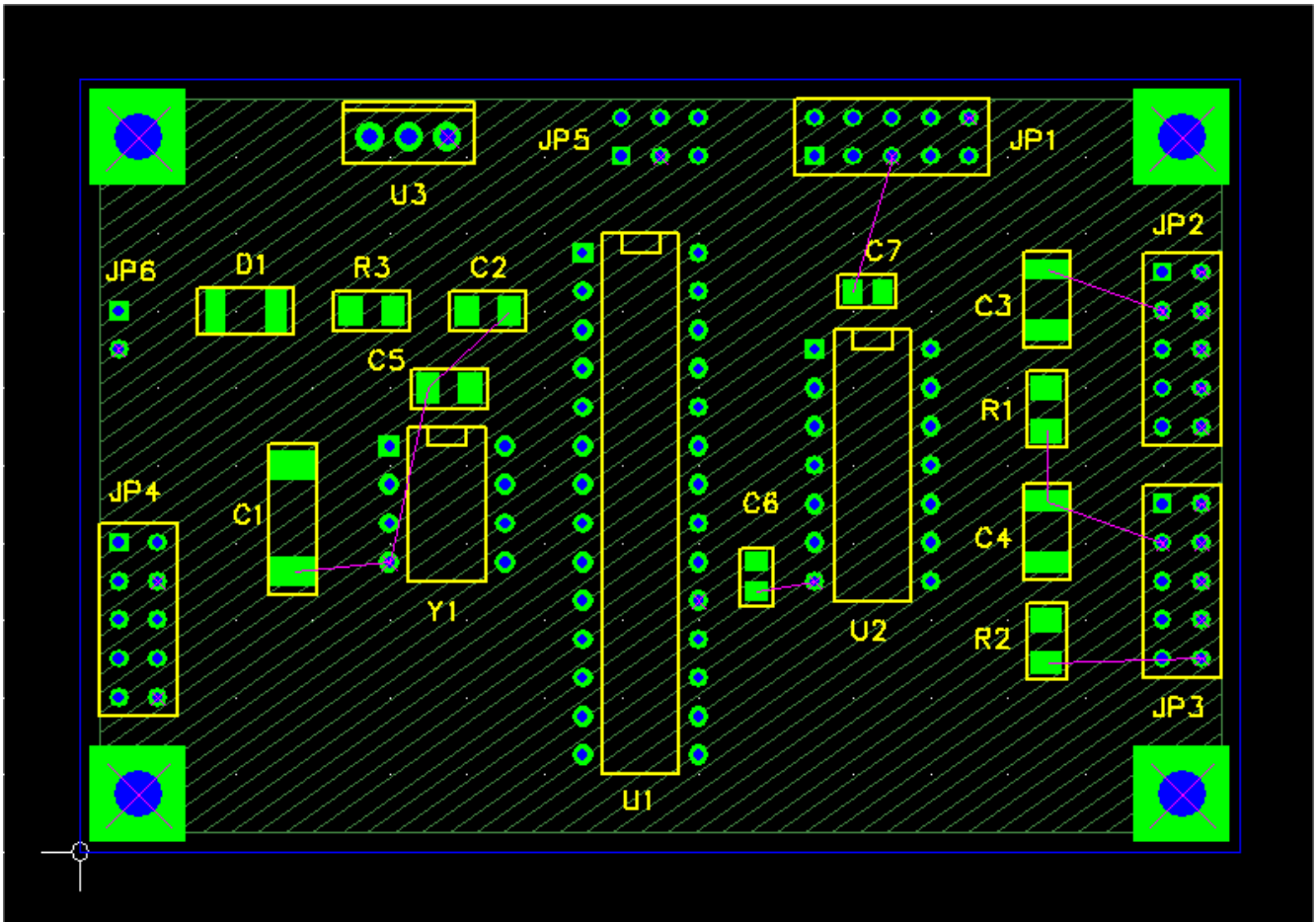
Теперь мы добавим полигон для цепи GND. Для этого установим сетку разводки 50 mils. Затем выберем [Add > Copper Area](#). В результате появится следующий диалог.



Мы будем использовать слой "inner 1" для полигона GND. Для этого выберем "GND" из раскрывающегося списка [Net](#), или тип "GND" в текстовое поле. Выберем "inner 1" из списка [Layer](#). Установим шаблон штриховки [Full](#).

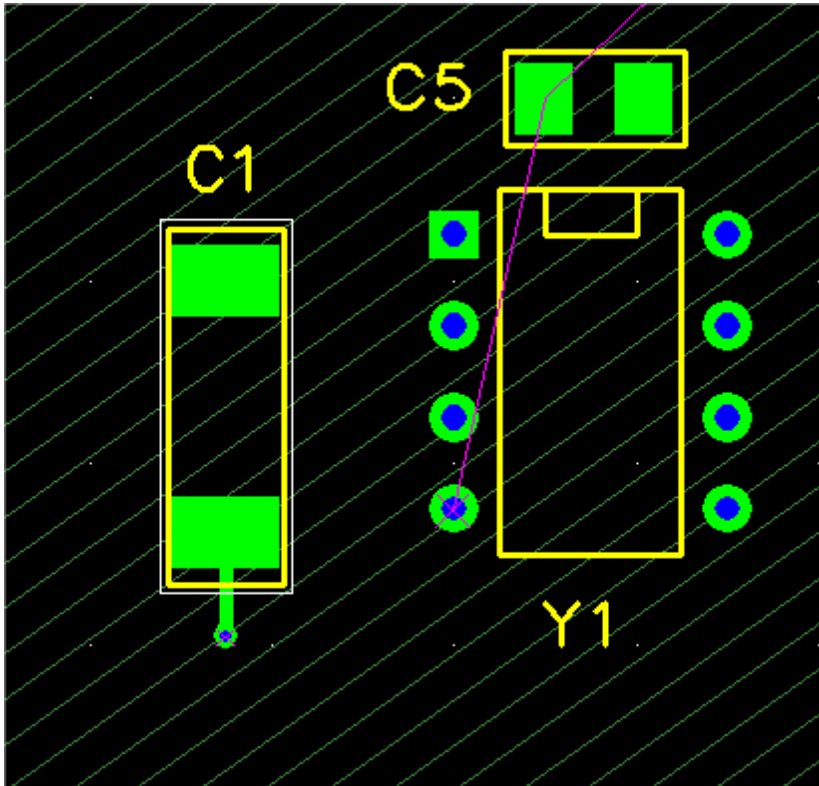


- Нажмите OK, чтобы выйти из диалога и начать рисовать ломаную линию внешнего контура полигона. Курсор должен измениться на перекрестие. Допустим, мы хотим разместить край полигона на расстоянии 50 mils от контура платы. Поместите курсор в левый нижний угол будущего полигона, который имеет координаты $X = 50$, $Y = 50$. Левым кликом мышки разместим первый угол. Затем переместите курсор в координату $X = 50$, $Y = 1950$ и левым щелчком мышки разместите второй угол. Разместите третий угол в координатах $X = 2950$, $Y = 1950$ и четвертый угол в координатах $X = 2950$, $Y = 50$. После размещения четвертого угла, щелкните правой кнопкой мыши, чтобы замкнуть ломаную линию. Теперь Ваша плата должна быть похожей на изображенную ниже:



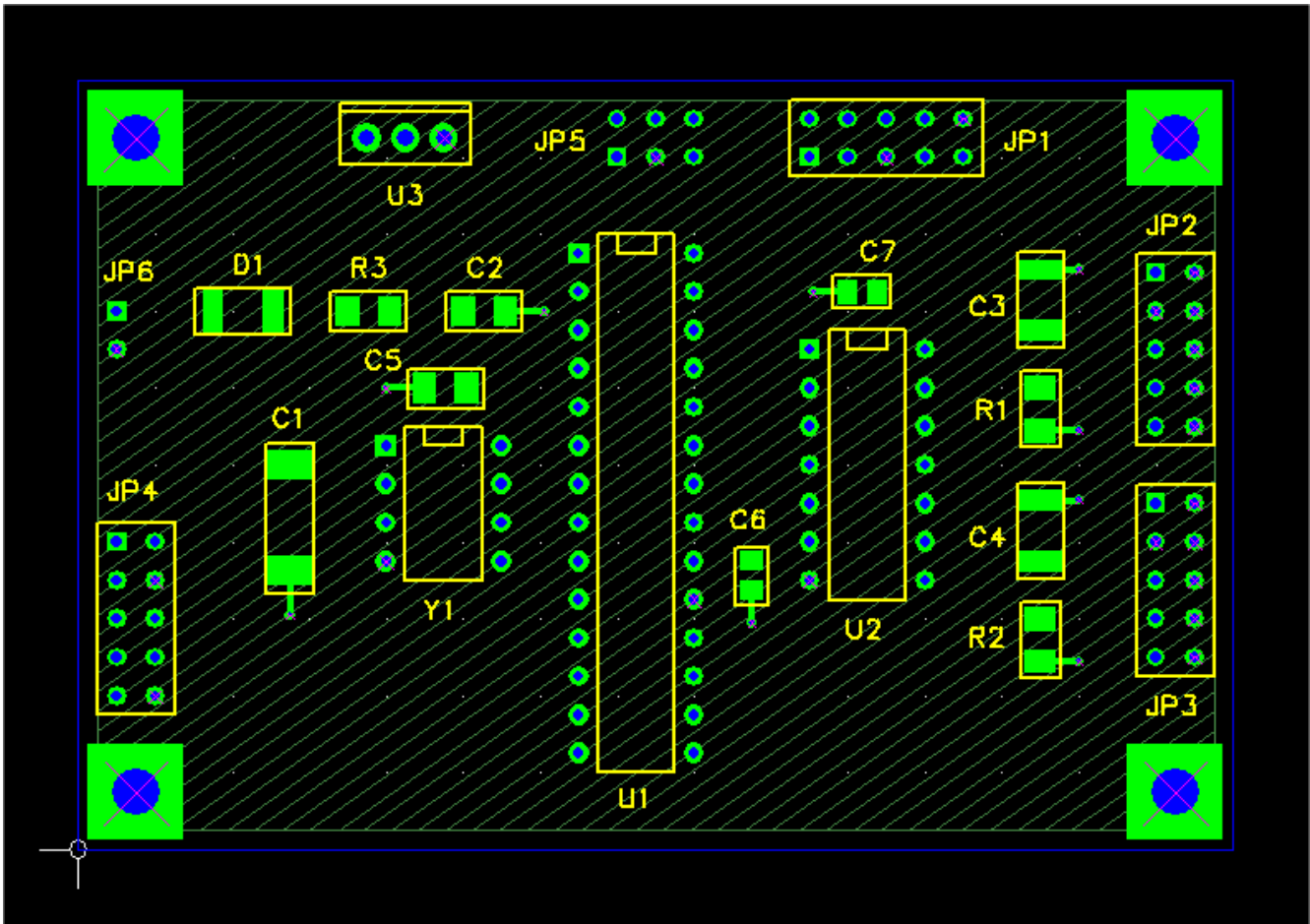
- Обратите внимание, что область полигона заполнена диагональным шаблоном штриховки, имеющим цвет слоя "inner 1". Кроме того, большинство ratlines для цепи GND исчезло, и поверх выводом штыревых компонентов этой цепи появились символы X-shaped в цвете ratline. Они указывают на внутреннее подключения этих штырьков к полигону цепи GND, с использованием металлизированных отверстий и тепловых барьеров.
- Теперь нам необходимо подключить выводы SMT компонентов к полигону GND. Для этого будем использовать обрубленные дорожки **stud traces**, которые начинаются на выводах компонентов и заканчиваются переходным отверстием в плоскость полигона GND.
- Начнём с нижнего вывода C1. Для этого выберем этот вывод, кликнув по нему. Белый блок "X" появится вокруг вывода, указывая, что он был выбран, и в строке состояния появится описание вывода.

- Теперь начните разводку обрубленной дорожки, нажав F3 ("Start Stub"). При этом курсор должен измениться на крест и сможете рисовать дорожку на верхнем медном слое. Прокручивая колёсико мышки или клавишей "Page Up" можно увеличить масштаб изображения. Переместите курсор на короткое расстояние ниже вывода и левым щелчком установите излом. Затем щелкните правой кнопкой мыши, чтобы закончить дорожку. В изломе появится переходное отверстие, как показано. Обратите внимание, что на переходе есть символ теплового барьера, указывая на внутреннее подключение с полигоном GND.



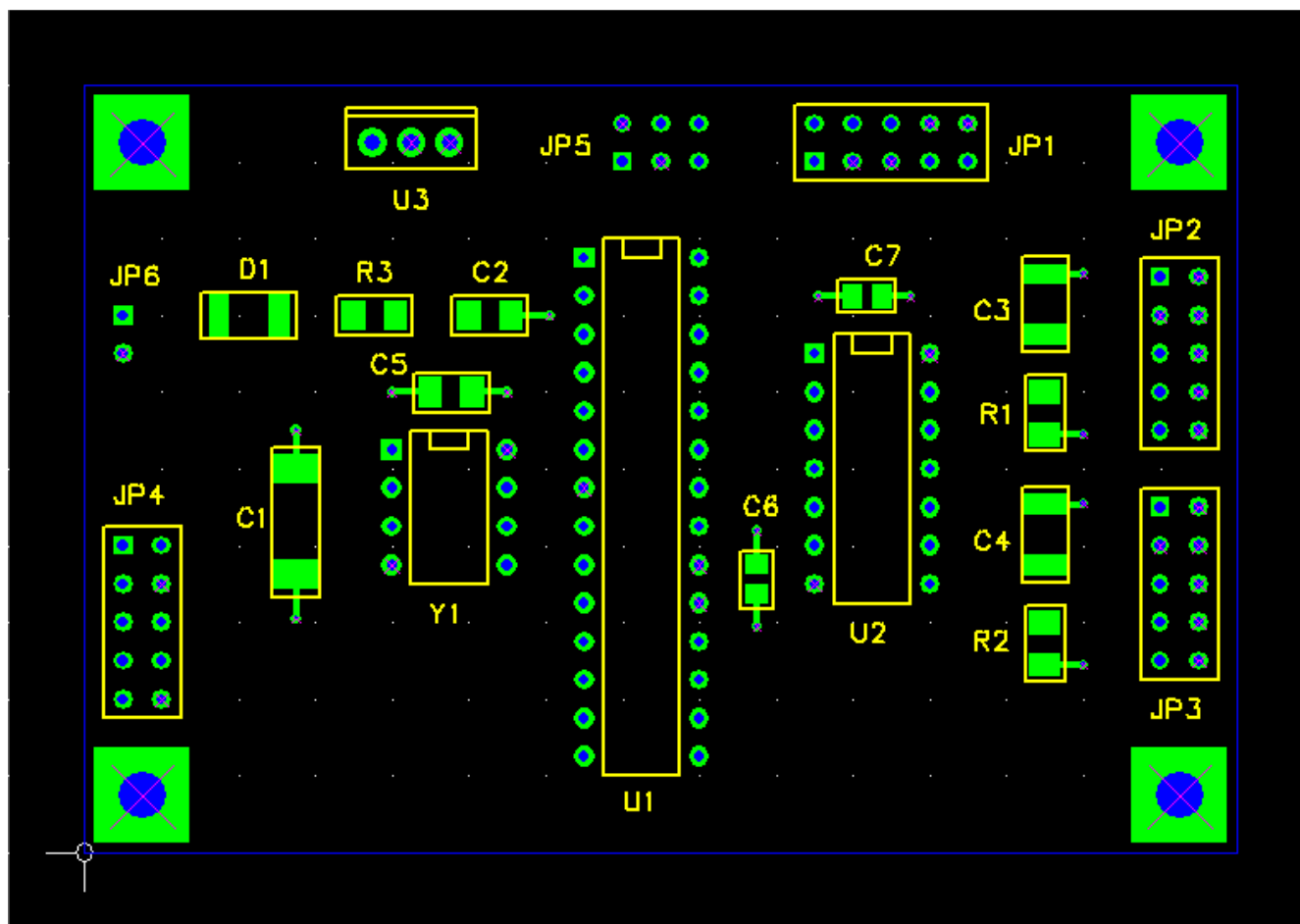
- Если Вы недовольны своей дорожкой, Вы можете удалить его, выбирая сегмент дорожки или конечное переходное отверстие и нажав F7 ("Delete Connection"). Вы можете переместить переходное отверстие, выбрав его и нажав F4 ("Move Vertex"). Вы можете добавить сегменты, выбрав переходное отверстие и нажав F2 ("Add Segment").
- Так как обычно обрубленные дорожки используются для подключения к медным областям на других слоях, конечное переходное отверстие добавляется автоматически после завершения обрубленной дорожки. При желании, Вы можете удалить переходное отверстие, выбрав его и нажав F3 ("Delete Via"). Это может быть полезно, если Вы подключаете вывод с медной областью на том же самом слое, или если используете обрубленную дорожку для другой цели, например для экранирования.

Теперь, когда Вы знаете, как это делается, добавьте обрубленные дорожки ко всем SMT выводам, у которых есть ratlines. Возможно Вам придётся переместить некоторые из позиционных обозначений, чтобы сохранить их свободными от переходных отверстий, так как это плохая практика, когда элемент шелкографии накладывается на площадки или переходы. Ваша плата должна смотреться примерно так:



- Поздравляю, Вы развели всю цепь GND, которая безусловно является наибольшей цепью в проекте. Полигон сильно упростил эту задачу.
- Так как мы не будем делать никакой разводки в слое "inner 1", а шаблон штриховки может раздражать при работе с другими слоями, давайте сделаем его невидимым. Для этого выберите [Layers](#) из меню [View](#), чтобы вызвать диалог [View/Edit Layers](#), и снимите переключатель [Visible](#) рядом с [Inner 1](#). Нажмите OK, и медная область должна исчезнуть. В качестве альтернативы, мы можем изменить шаблон штриховки, выбрав сторону полигона и щелкнув правой кнопкой мыши, а затем выбрав [Hatch style](#) в контекстном меню.
- Теперь, давайте добавим полигон для цепи VCC на медном слое "inner 2". Для этого необходимо повторить те же самые шаги, которые были выполнены для области GND:
 - Сделайте цепь VCC видимой.
 - Измените ширину дорожки VCC на 15 mils.
 - Нарисуйте полигон цепи VCC в слое "inner 2" (Вы можете использовать те же самые угловые позиции, как для полигона GND).
 - Добавьте обрубленные дорожки для всех площадок SMT цепи VCC. Их должно быть, для C1, C5, C6 и C7.
 - Сделайте слой "inner 2" невидимым.

- Выберите [Project > Nets...](#), чтобы начать диалог [View/Edit Netlist](#). Сделайте цепи VCC и GND видимыми. Теперь Ваша плата должна быть такой:

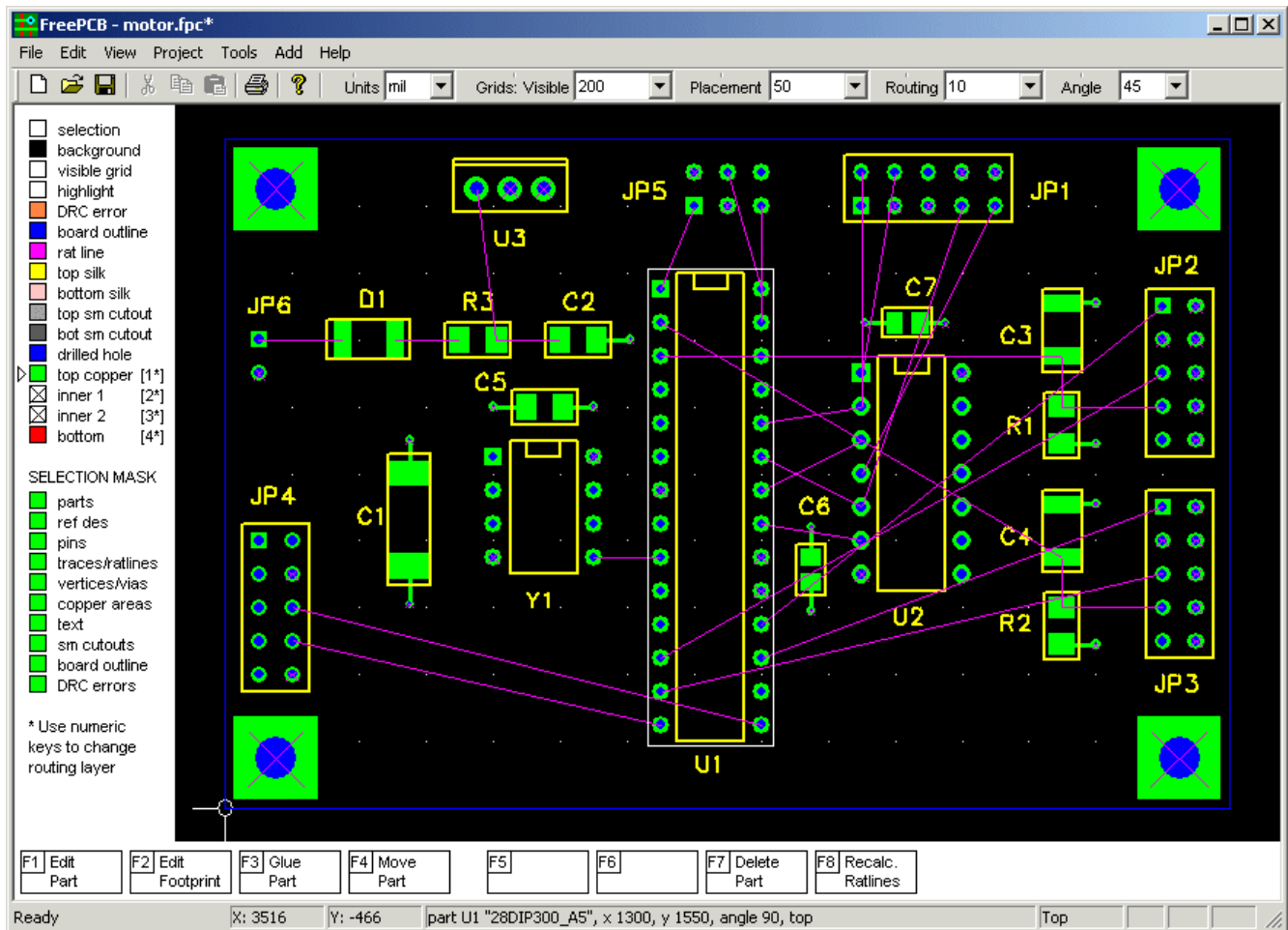


В следующем разделе мы разведём остальную часть соединений на верхних и нижних медных слоях.

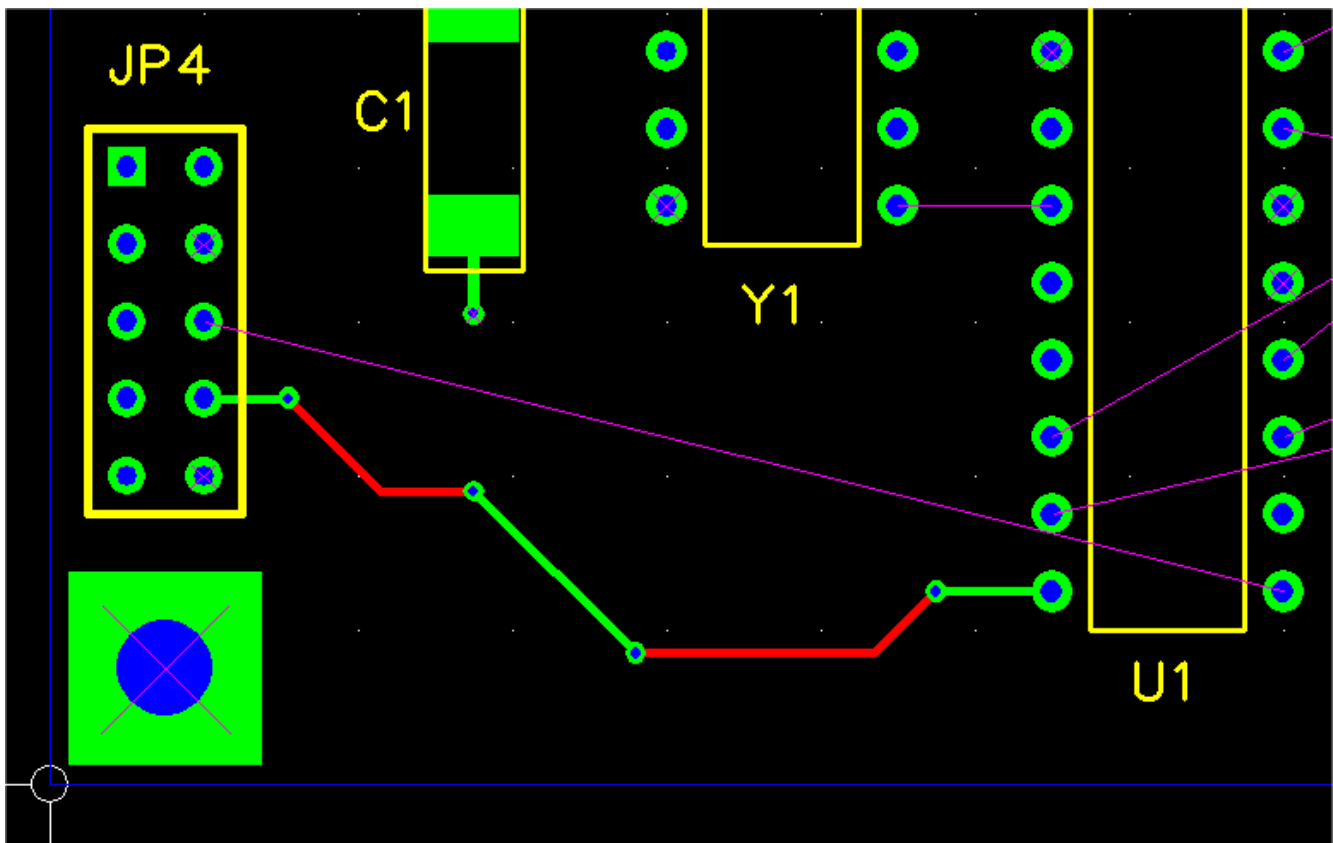
7.9 Разводка

Хорошо, давайте разведём нашу плату (PCB). Перед началом будет полезно сделать обзор [Раздела 5.13: Соединения, Ratlines и Разводка](#).

- **Дополнительно:** Если Вы хотите попробовать некоторые из особенностей редактирования ratline, которые были описаны в [Разделе 5.13: Соединения, Ratlines и Разводка](#):
 - Сначала сохраним проект. Таким образом Вы сможете перезагрузить его, если что-то испортите.
 - Из меню, выберите [Project > Nets...](#), чтобы вызвать диалог [View/Edit Netlist](#). Сделайте все соединения невидимыми кроме GND.
 - Выберите ratline и удалите её, нажимая F7 ("Delete Connect"). Затем нажмите F8 ("Recalc. Ratlines"), и ratline должна вновь появиться.
 - Вы можете добавить новую ratline между выводами того же самого соединения, выбирая один из выводов и используя F4 ("Connect Pin"), который позволяет Вам протянуть ratline к другому выводу. Нажмите F3 ("Lock Connect"), чтобы блокировать её. Теперь, если Вы нажимаете F8 ("Recalc. Ratlines"), некоторые другие ratline цепи должен исчезнуть.
 - Вы можете разблокировать заблокированное подключение при помощи F3. Теперь, если Вы нажмете F8, подключения должны вернуться назад к их оригинальному состоянию.
- OK, назад к делу. Используйте диалог [View/Edit Netlist](#), чтобы сделать все цепи видимыми.
- В случае необходимости, используйте диалог [View/Edit Layers](#), чтобы сделать медные слои inner1 и inner2 невидимыми
- Теперь Ваша плата должна смотреться примерно так:

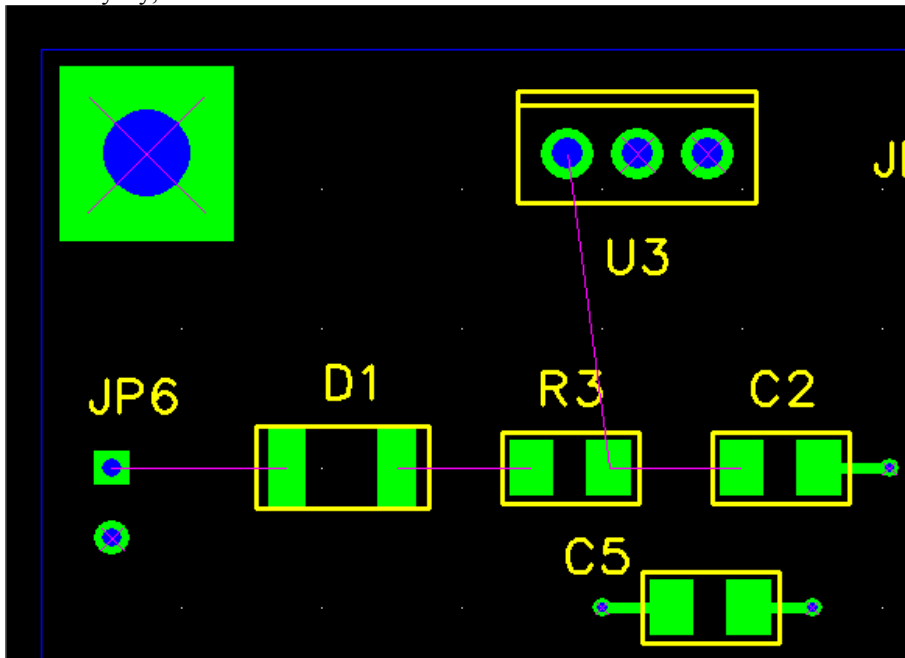


- Выберите разумно маленькое значение для сетки разводки, такое как 10 mils.
- Мы будем разводить дорожки на верхнем и нижнем медных слоях, так как inner1 и inner2 использованы для полигонов VCC и GND. В настоящее время активный слой показан в строке состояния ("Top" на скриншоте выше). Нажмите клавишу "4", чтобы переключиться на нижний слой (так как имеется 4 слоя). Нажмите клавишу "1", чтобы переключиться назад на верхний слой. Клавиши "2" и "3" выбирают внутренние (inner) слои.
- Теперь выберите одну из длиннейших ratlines, такую как одна внизу слева от JP4.8 к U1.14. Нажмите F4 ("Route Segment"), чтобы начать разводку. Курсор должен измениться на перекрестие, и Вы сможете тянуть сегмент дорожки от того вывода, который был ближайшим к курсору во время нажатия F4. Так как активный слой - "Top", сегмент дорожки будет окрашен в зелёный. Обратите внимание, что сегменты дорожки фиксируются под углом кратным 45 градусам.
- Разместите первый излом дорожки левым кликом мышки. Теперь Вы будете тянуть новый сегмент от этого излома. Нажмите "4", чтобы переключиться на нижний слой. Сегмент станет красным, а в изломе появится переходное отверстие.
- Продолжите добавлять сегменты, пока не завершите дорожку на последнем изломе в конечном выводе. Нажмите F4 ("Complete Segment"), чтобы добавить последний сегмент, или кликните левой кнопкой мыши на конечном выводе. Ваша дорожка должна смотреться примерно так как показано на скриншоте ниже. Обратите внимание, что я использовал больше сегментов и переходов чем необходимо.



- Теперь давайте попытаемся редактировать дорожку, которую только что протянули. Выберите один из изломов, нажимая на него. Маленький белый блок вокруг излома указывает, что он был выбран, и информация о изломе должна появиться в строке состояния. Опции редактирования для излома:
 - F1 ("Set Position") - появляется диалог, позволяющий явно установить координаты X и Y излома.
 - F4 ("Move Vertex") - запускает перемещение излома при помощи мыши. Угол излома не будет действовать, но сетка разводки будет.
 - F5 ("Delete Vertex") - удаляет излом, и отменяет разводку для двух смежных сегментах, которые будут заменены единственным сегментом ratline.
 - F6 ("Unroute trace") — отменяет разводку всей дорожки, которая возвращается к ratline.
 - F7 ("Delete Connect") - удаляет дорожку, не заменяя её ratline.
 - F8 ("Recalc. Ratlines") - восстанавливает ratlines для соединения.
- Теперь выберите один из сегментов дорожки, который должен побледнеть, указывая на то, что был выбран. Опции редактирования для сегмента дорожки:
 - F1 ("Set Width") - появляется диалог, разрешающий Вам установить ширину цепи, дорожки или сегмента дорожки.
 - F5 ("Unroute Segment") - заменяют сегмент на ratline.
 - F6 ("Unroute trace") — отменяет разводку всей дорожки, которая возвращается к ratline.
 - F7 ("Delete Connect") - удалть дорожку, не заменяя её на ratline.
 - F8 ("Recalc. Ratlines") - восстанавливает ratlines для цепи.
- Большинство этих опций редактирования довольно очевидны, таким образом Вы можете испытать их самостоятельно. Попробуйте удалить излом или сегмент дорожки, а затем изменить маршрут прокладки ratline. Ratline между изломами направлены точно так же как ratlines между выводами.

- Теперь давайте изменим размеры некоторых дорожек. Увеличьте окно на компонентах в верхнем левом углу, как показано ниже:

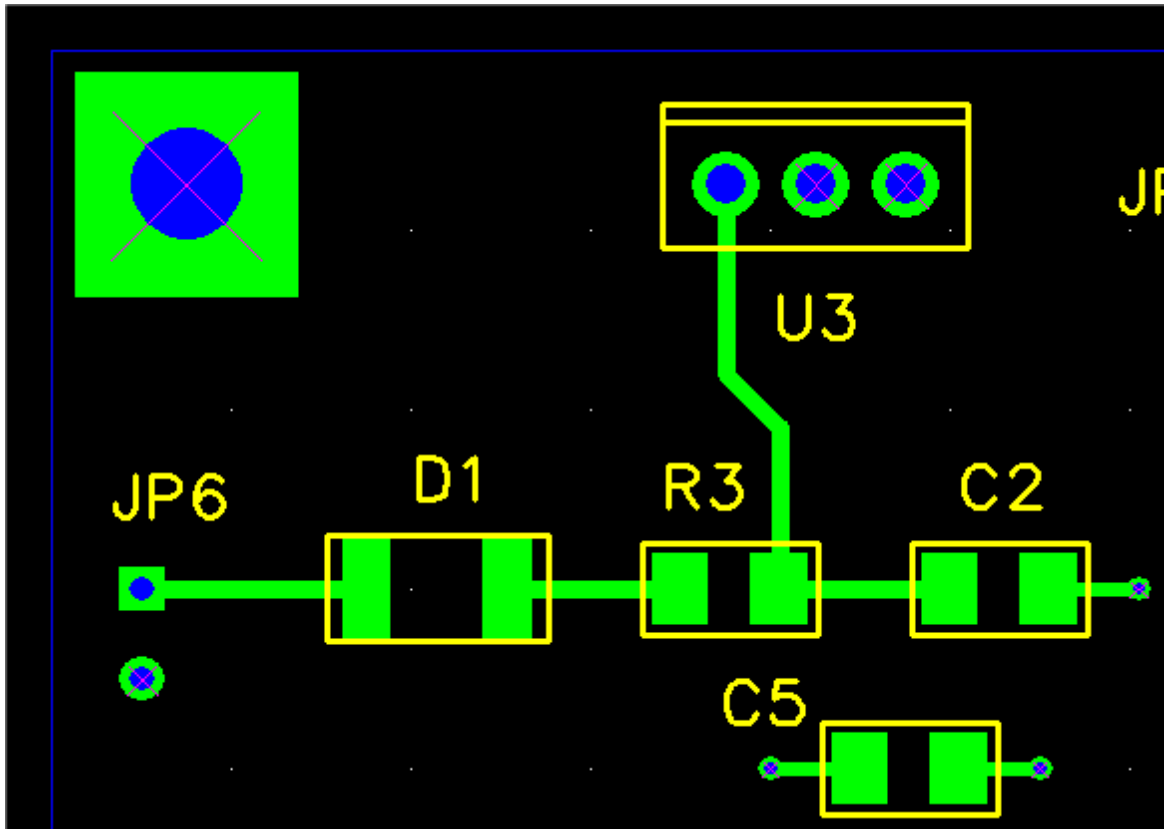


- Дорожки между JP6, D1, R3, C2 и U3 должны быть мощными и поэтому давайте сделаем их шире чем предусмотрено значением по умолчанию - 10 mils. Выберите ratline между JP6.1 и D1.1. Строка состояния должна показать, что это - соединение "N00534". Нажмите F1 ("Set Width"). В результате должен появиться следующий диалог:

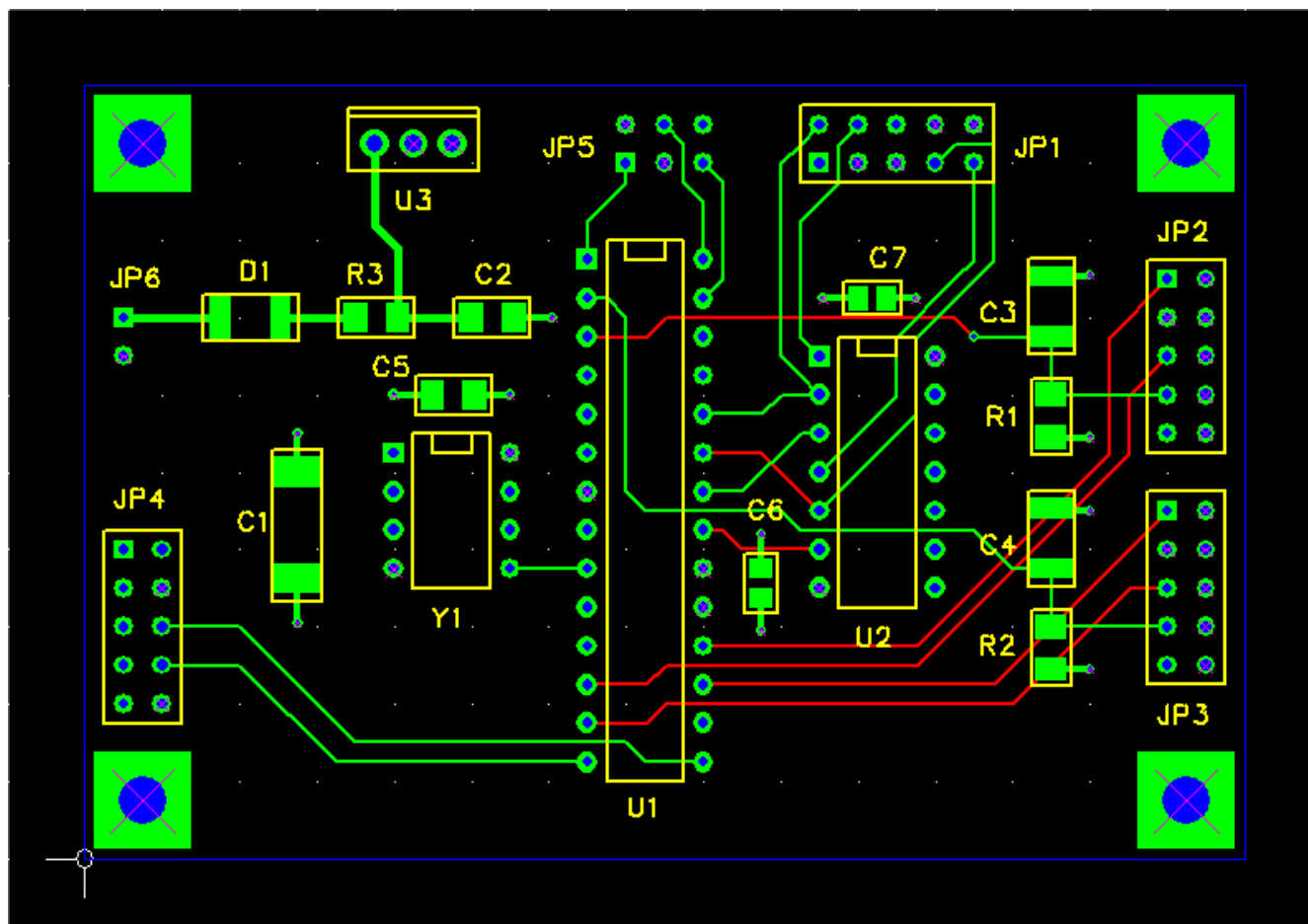
В выпадающем меню для Trace width (mils) есть две опции, 10 и 15 mils. Давайте используем 20 mils вместо этого, печатая "20" непосредственно в текстовое поле. Нажмите ОК, чтобы выйти из диалога.

- Теперь разведите дорожку. Так как D1 - корпус SMT, сегмент дорожки, который соединяется с D1.1, должен быть на верхнем слое. Если Вы начнёте разводку от этого вывода, то активный слой будет автоматически установлен в "Top". Если Вы начинаете разводку от JP6.1, который является штыревым, Вы можете начать дорожку или в слое "Top" или в слое "Bottom", но Вы должны быть в слое "Top", чтобы завершить дорожку на D1.1.

Точно так же, установите ширину других мощных дорожек в 20 mils и разведите их. Ваша плата должна стать похожей:



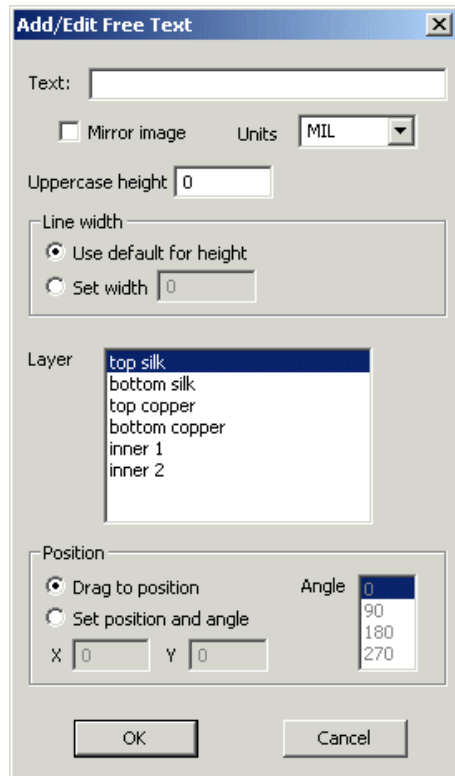
Теперь разведите остальные дорожки на плате. Не стесняйтесь творчества с размерами дорожки и разводкой, если Вам это нравится. Если бы мы фактически собирались произвести плату, то это могло бы выглядеть примерно так.



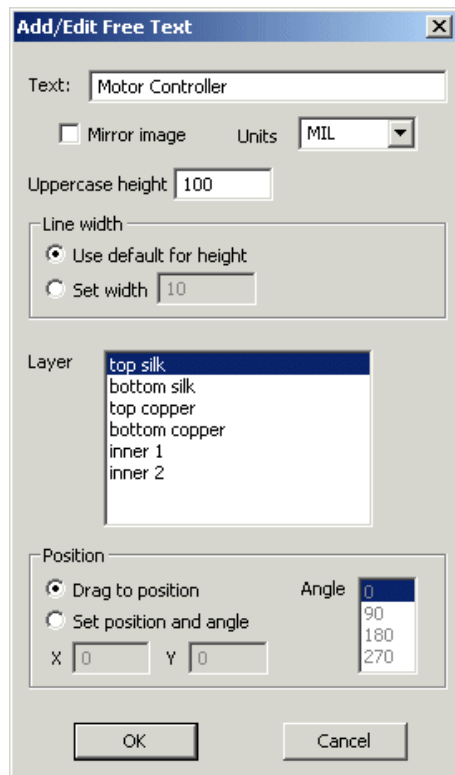
7.10 Добавление Текста

Чтобы завершить наш шедевр, давайте добавим некоторый текст в верхнем слое шелкографии, чтобы идентифицировать плату.

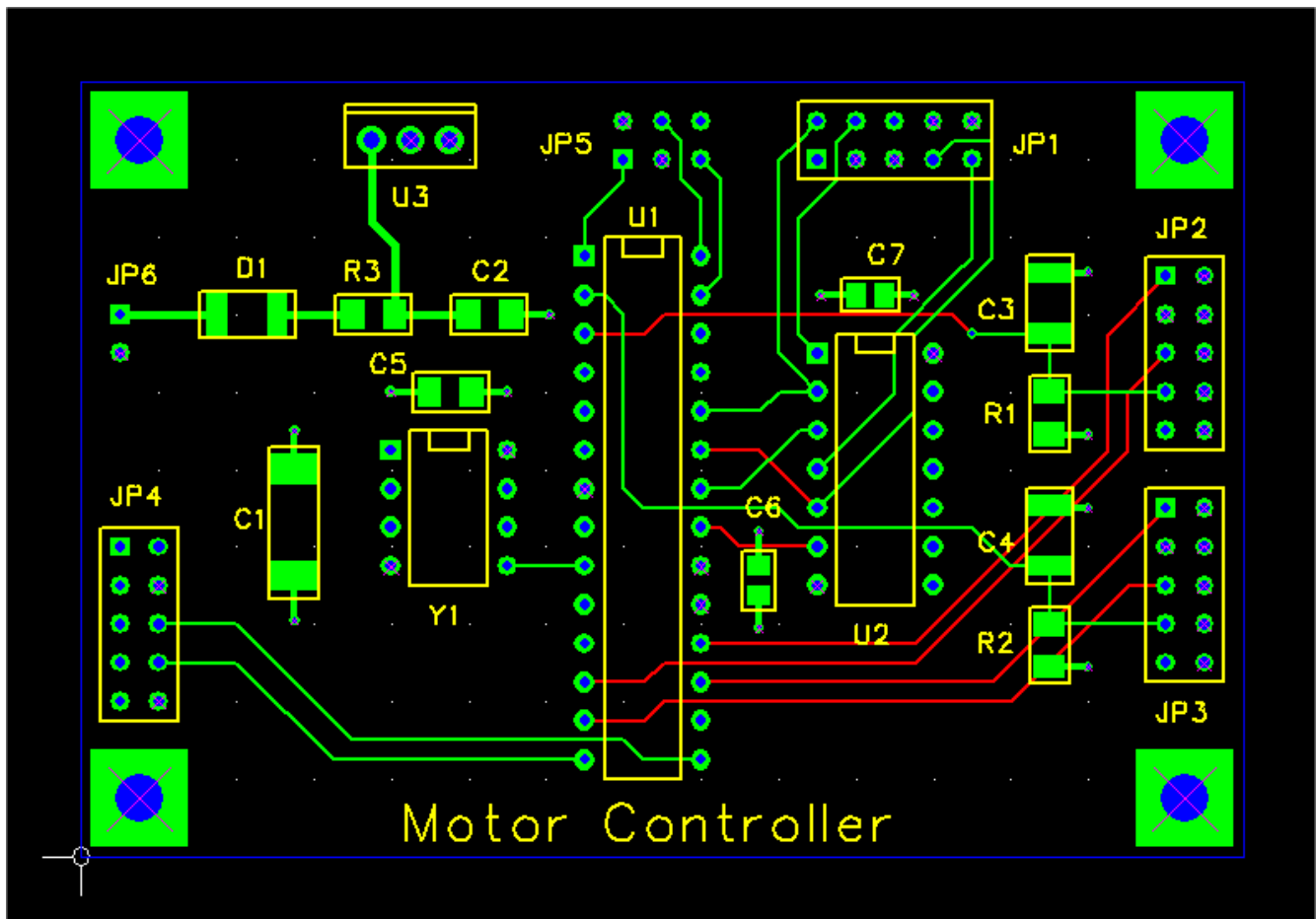
- Выберите Text из меню Add, чтобы появился диалог Add/Edit Free Text.



- Введите "Motor Controller" в поле Text. Удостоверьтесь что Units установлены в "MIL". Введите "100" в поле Uppercase Height, как показано ниже.



- Нажмите OK. Теперь Вы сможете перемещать прямоугольник, который представляет рамку редактирования для текста. Поместите эту рамку недалеко от нижнего края PCB, и кликните левой кнопкой мыши.



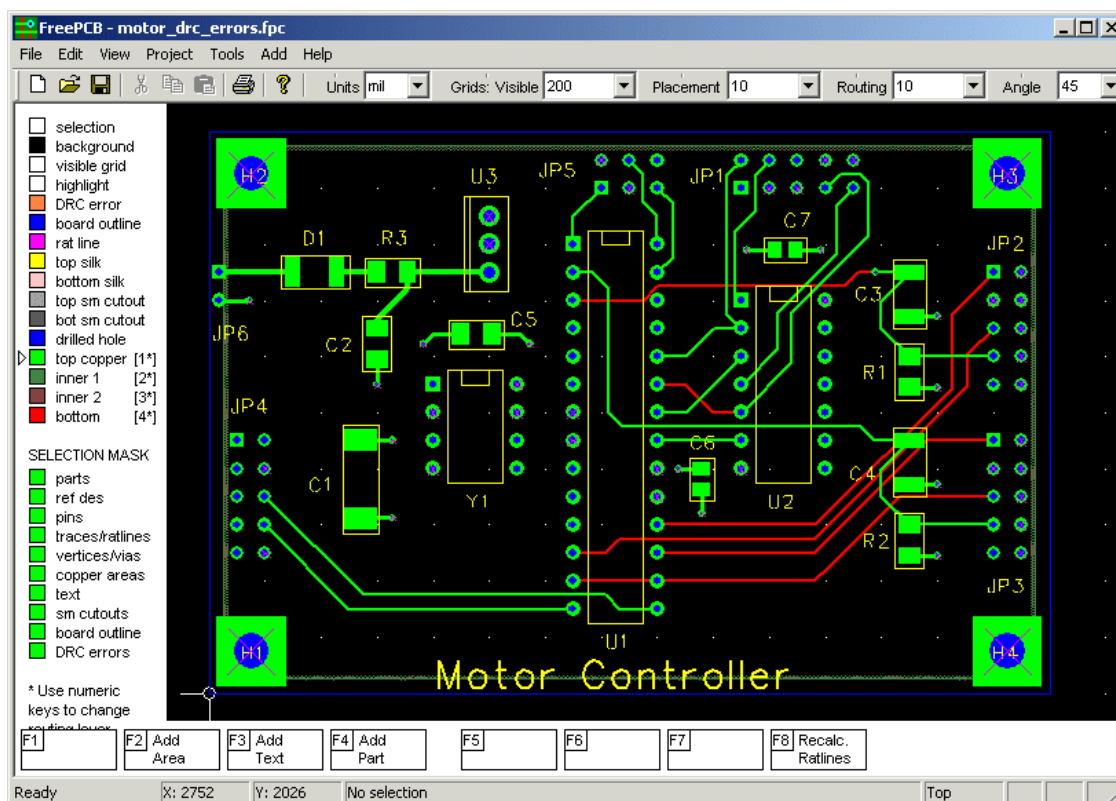
Это завершает нашу схему размещения PCB. В следующем разделе мы будем создавать файлы Gerber и сверловки, которые Вы послали бы изготовителю, чтобы изготовить Вашу плату.

7.11 Проверка правил проектирования

Design Rules (Правила проектирования) - ряд правил, которые устанавливают минимальные пределы для размерностей, таких как ширина дорожки и зазоры. Они необходимы потому, что производственный процесс PCB подвергается определенным ограничениям и допускам, и проект должен учесть это. Например, Вы не можете использовать ширину дорожки 1 mil в Вашей плате потому, что физически невозможно такие дорожки протравить. Если у Вас есть своя PCB которую необходимо сделать, производитель платы должен обеспечить правила проектирования, основанные на его техпроцессе. Например, Advanced Circuits рекомендует следующие правила для их дешевого процесса:

Minimum trace width Минимальная ширина дорожки	0.008 inch (0.2032 мм)
Minimum clearance between copper features Минимальный зазор между медными областями	0.008 inch (0.2032 мм)
Minimum distance from copper to edge of PCB Минимальное расстояние от меди до края платы	0.014 inch (0.3556 мм)
Minimum annular ring width (pins) Минимальная ширина дужки для штыревых выводов	0.007 inch (0.1778 мм)
Minimum annular ring width (vias) Минимальная ширина дужки для переходных отверстий	0.005 inch (0.127 мм)
Minimum silkscreen line width Минимальная ширина линии шелкографии	0.008 inch (0.2032 мм)

Программа контроля правил проектирования (**Design Rule Checker** или **DRC**) является инструментом, который Вы можете использовать, чтобы удостовериться, что созданный проект не содержит нарушений этих правил. Они упоминаются как Ошибки (Errors) DRC. Так как Ваш учебный проект, может не содержать ошибок DRC, я предлагаю закрыть его и вместо него открыть проект C:\freepcb\tutorial\motor_drc_errors.fpc, как показано ниже. Этот проект содержит несколько типичных ошибок. Посмотрим, сможете ли Вы найти их.



Теперь давайте выполним Программу контроля правил проектирования. Вы можете начать её, выбрав пункт меню [Tools > Design Rule Check](#). Это вызовет следующий диалог:

The 'Design Rule Check' dialog box has a title bar with a close button. It contains a checkbox 'Show unrouted connections as errors' which is unchecked. Below it is a section 'Minimum distance allowed' with a 'Units' dropdown set to 'MIL'. There are ten input fields for different design rules, all containing numerical values. At the bottom are 'Check' and 'Close' buttons.

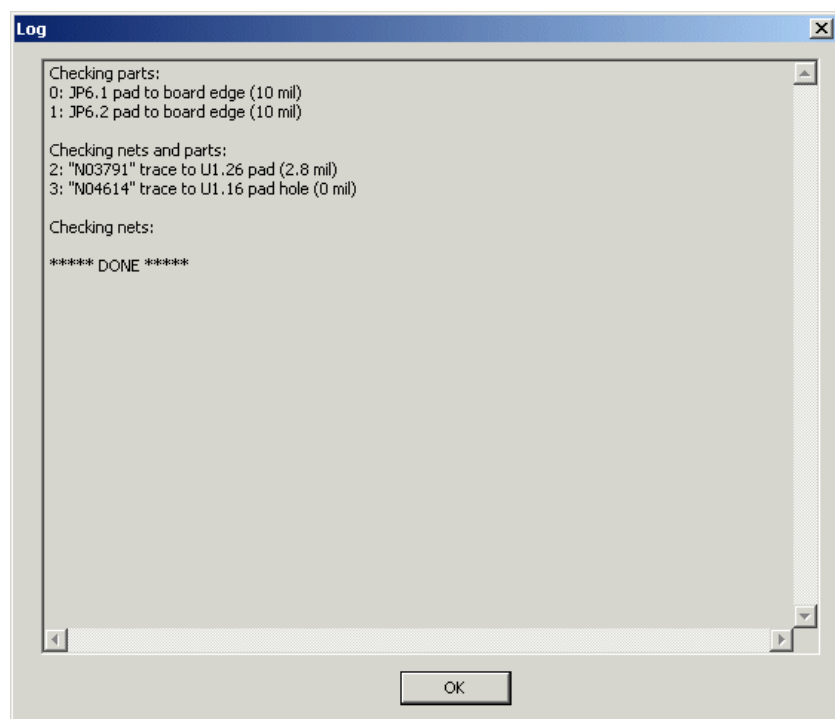
Rule	Value
trace width	10
pad to pad	10
pad to trace	10
trace to trace	10
hole to pad or trace	15
hole to hole	25
annular ring (pins)	7
annular ring (vias)	5
board edge to any copper	25
board edge to hole	25
copper area to copper area	10

Мы изменим поля в диалоге, чтобы соответствовать Advanced Circuits значениям. [Trace width](#) (Ширина дорожки) должна быть установлена в 8 mils. Значения [pad to pad](#), [pad to trace](#), [trace to trace](#) и [copper area to copper area](#) должны быть установлены в 8 mils. [annular ring \(pins\)](#) значение должно быть установлено в 7 mils, и [annular ring \(vias\)](#) значение, должно быть установлено в 5 mils. [board edge to any copper](#) поле должен быть установлено в 14 mils. [hole to pad or trace](#), [board edge to hole](#) и [hole to hole](#) значения не даны, что позволяет нам использовать 25 mils, которые кажутся разумными. Ваш диалог должен быть похожим на следующий:

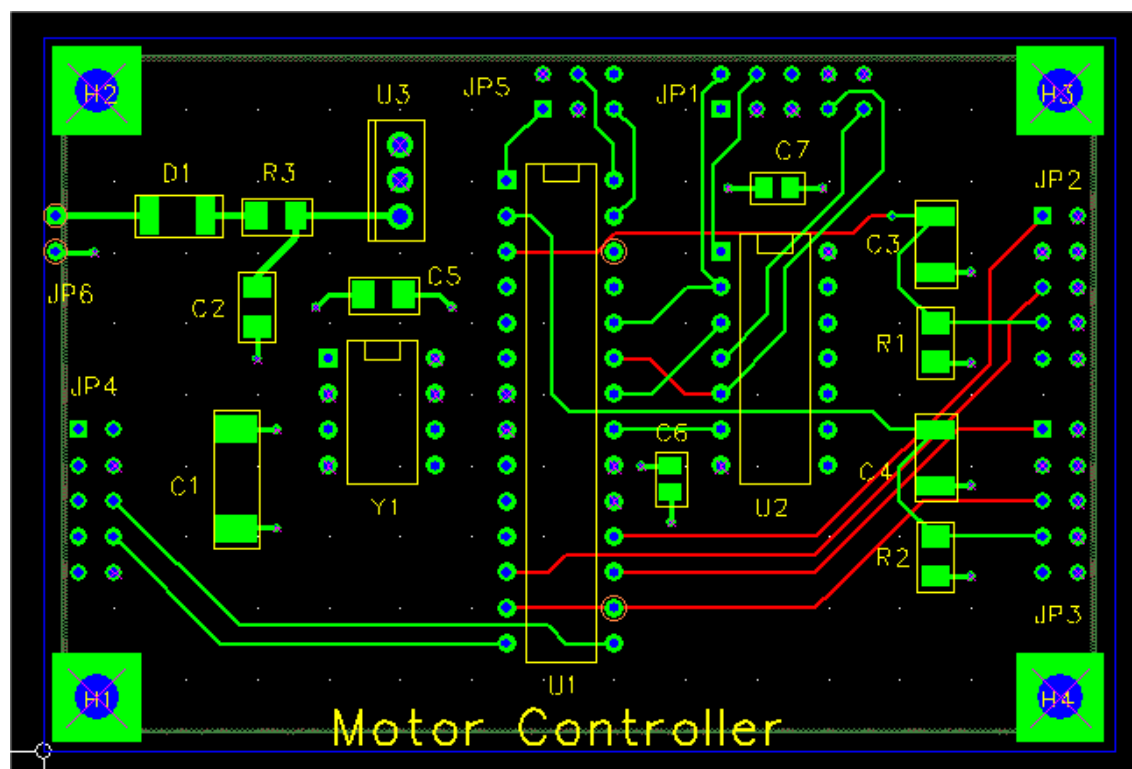
The 'Design Rule Check' dialog box is identical to the first one, but with the following values entered in the input fields: trace width (8), pad to pad (8), pad to trace (8), trace to trace (8), hole to pad or trace (25), hole to hole (25), annular ring (pins) (7), annular ring (vias) (5), board edge to any copper (14), board edge to hole (25), and copper area to copper area (8).

Rule	Value
trace width	8
pad to pad	8
pad to trace	8
trace to trace	8
hole to pad or trace	25
hole to hole	25
annular ring (pins)	7
annular ring (vias)	5
board edge to any copper	14
board edge to hole	25
copper area to copper area	8

Теперь нажмите ОК, чтобы выполнить проверку. Новый диалог списка ошибок должен появиться, как показано ниже.

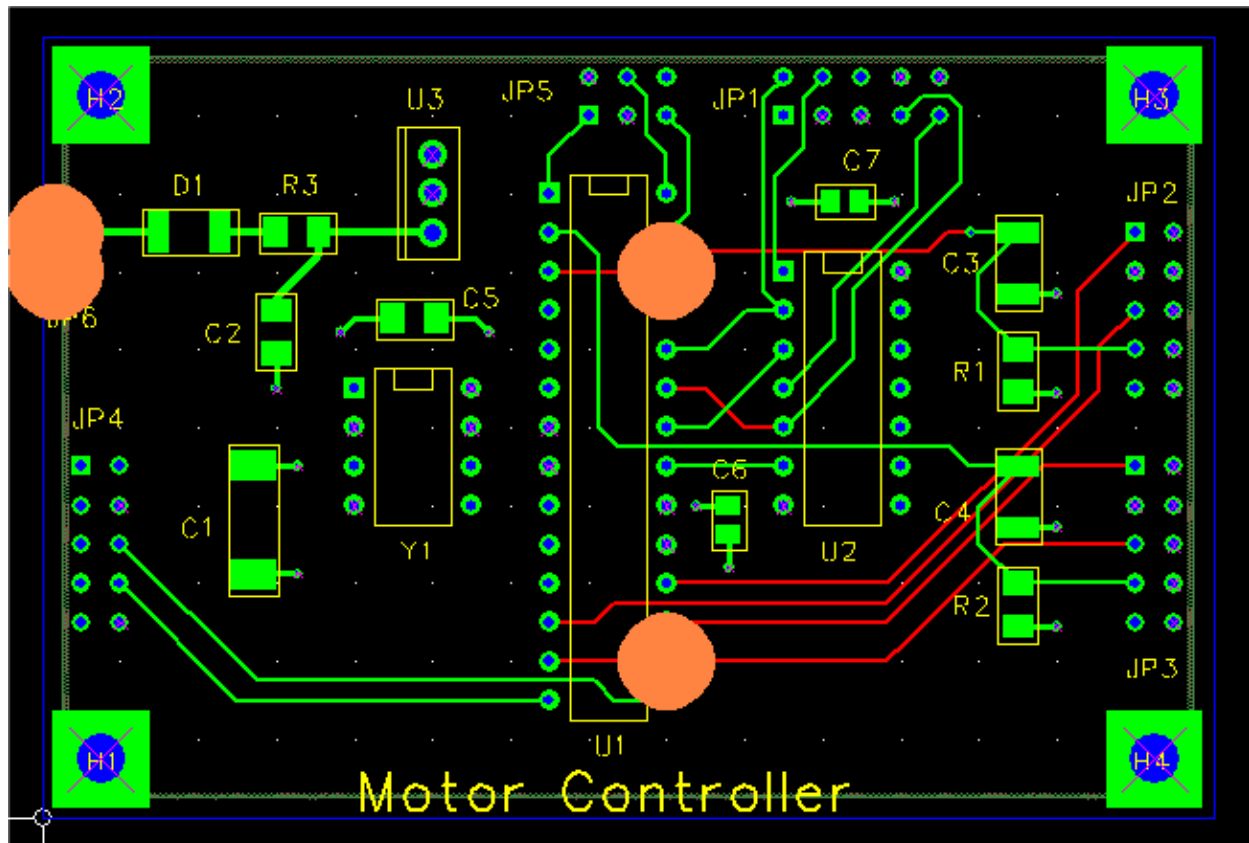


Ошибки 0 и 1 являются нарушениями минимального зазора между площадками и краем платы. Ошибки 2 и 3 являются нарушениями зазора дорожки и площадки. Если Вы пристально рассмотрите окно схемы размещения, то увидите, что символы, состоящие из маленьких оранжевых колец, на месте каждой ошибки, как показано ниже.

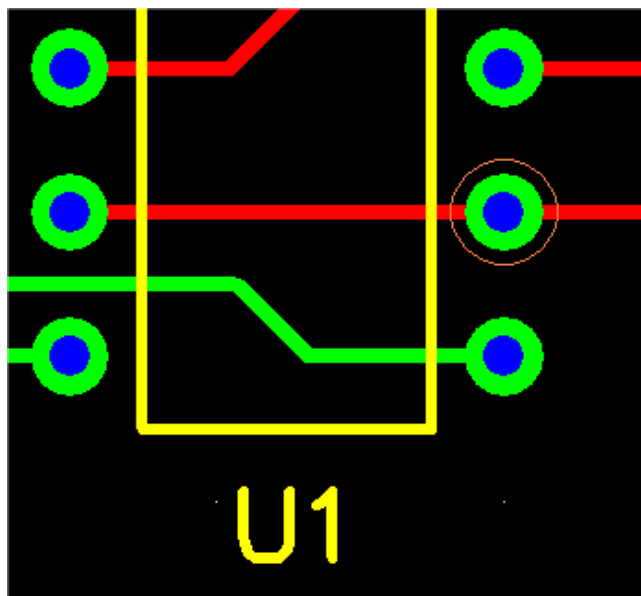


Эти маленькие круги могут быть трудно различимыми, но если Вы нажмете клавишу "d" на клавиатуре, они

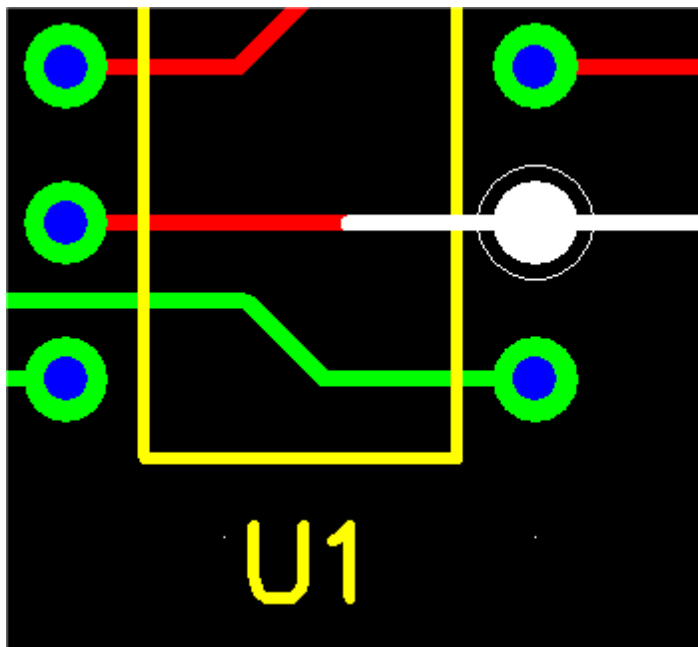
становятся намного большими сплошными кругами, как показано ниже.



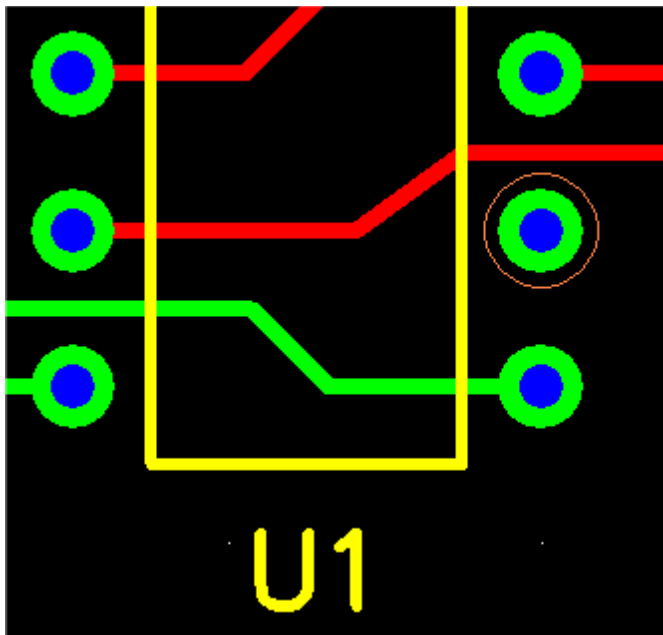
Теперь увеличьте окно на одной из ошибок, например на U1.16.



Нажмите на кольцо ошибки DRC, чтобы подсветить его. Элементы PCB, которые вызвали нарушение, будут также подсвечены, как показано. Кроме того, описание ошибки появится в строке состояния.

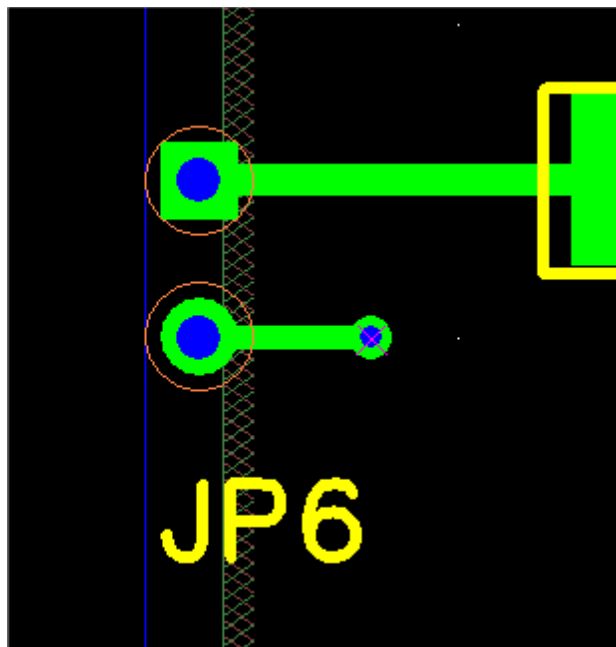


В этом случае, ошибкой является нарушение зазора между площадкой U1.16 и сегментом дорожки, проходящим через неё, но не принадлежащем той же самой связи. Ой!

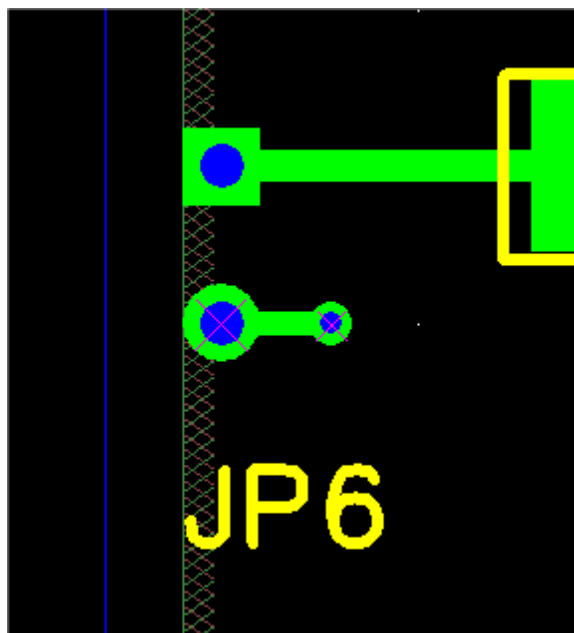


Вы можете исправить ошибку, изменив маршрут дорожки, чтобы обогнуть площадку, как показано. Отметьте, что символ ошибки DRC автоматически не исчезает, но Вы можете его удалить, выбрав и нажав клавишу "Delete", или сделав повторный запуск программы контроля правил проектирования.

Теперь давайте увеличим окно на ошибках DRC с левой стороны платы, и выберем одну из них.



В этом случае обнаружена ошибка - нарушение зазора между площадкой и краем платы. В принципе, JP6 расположен слишком близко к краю платы. Мы можем решить проблему, перемещая его далее вправо, как показано ниже.

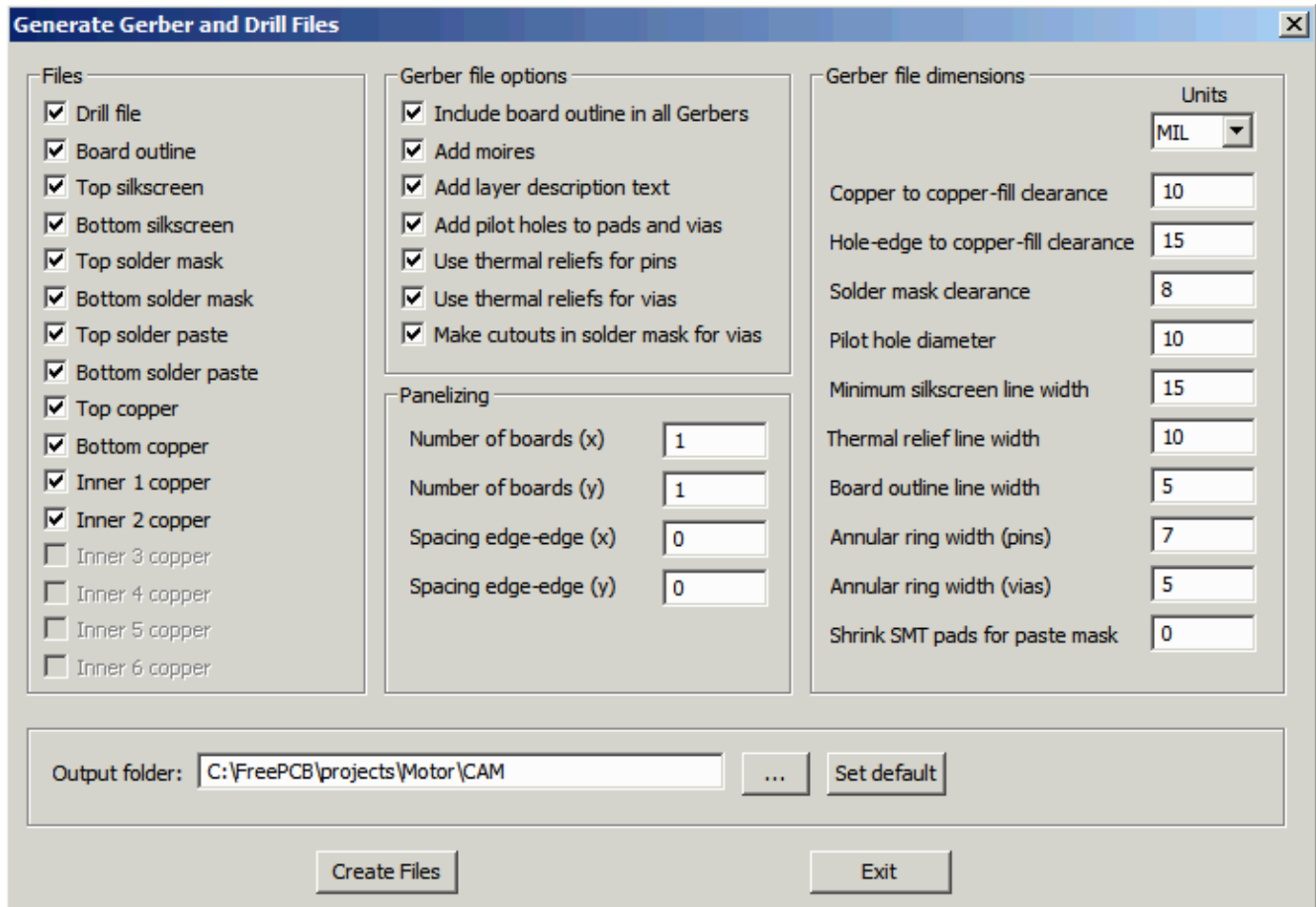


Я предоставляю Вам самим найти и устранить последнюю ошибку. Тогда Вы можете выполнить программу контроля правил проектирования снова и она не должна найти ошибки. Вы должны перезагрузить свой проект **motor.fpc** прежде, чем начнёте следующий раздел. Когда Вы будете закрывать проект **motor_drc_errors.fpc**, я предложил бы НЕ сохранять свои изменения. Таким образом Вы или кто-то еще сможет использовать его снова.

7.12 Созданий файлов сверловки и Gerber

Конечным шагом в этом учебнике является создание файлов Gerber и сверловки, который Вы можете послать изготовителю PCB. Перед продолжением будет полезно сделать обзор [Раздела 5.19: Экспорт файлов сверловки и Gerber](#).

Выберите [Generate CAM files...](#) из меню [File](#). "CAM" - акроним для "Computer-Aided Manufacturing (Автоматизация производства)". В результате должен появиться следующий диалог.



В секции [Files](#), выберите файлы, которые Вы желаете создать, проверяя или не проверяя поля рядом с ними.

В секции [Gerber file options](#) Вы можете выбрать:

- [Include board outline](#) — добавлять контур платы к каждому файлу Gerber
- [Add moires](#) - добавляет муаровые шаблоны (также названный "targets (цели)") к каждому файлу Gerber
- [Add layer description text](#) - добавляет текстовую строку, описывающую слой, к каждому файлу Gerber
- [Add pilot holes](#) - добавляют пилотный отверстия к площадкам и переходам на верхнем и нижнем слоях
- [Use thermal reliefs for pins](#) - использовать тепловой барьер для подключения штыревых выводов к медной области
- [Use thermal reliefs for vias](#) - использует тепловой барьер для подключения переходного отверстия к медной области
- [Make cutouts in solder mask for vias](#) - делать открытия для площадок переходных отверстий в слоях маски припоя

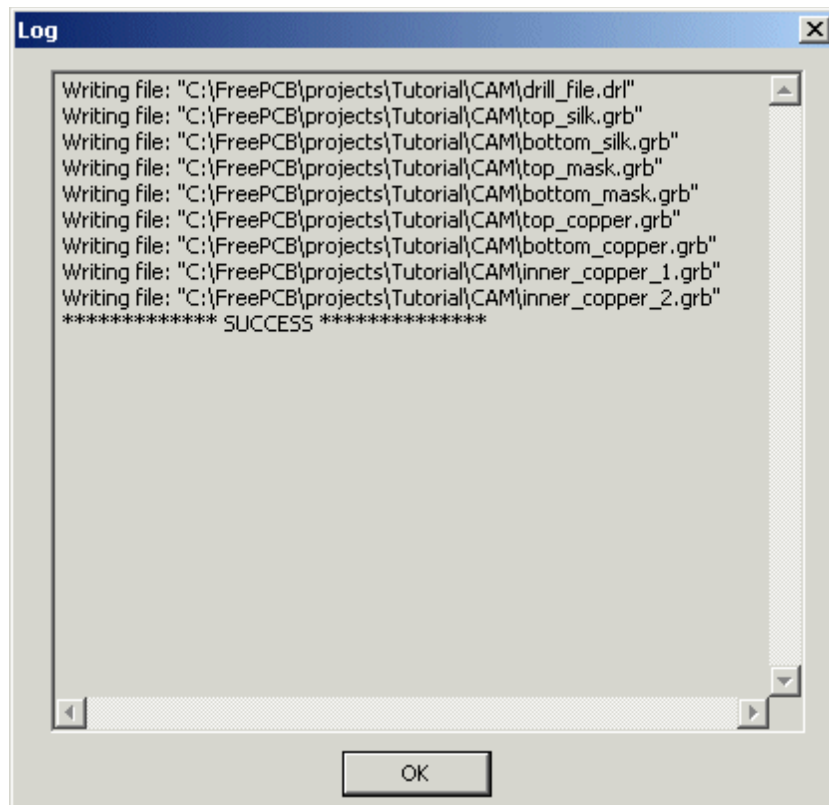
В секции [Panelizing](#) Вы можете выбрать количество копий, которые будут произведены в каждом направлении и интервал между копиями.

Секция [Gerber file dimensions](#) позволяет Вам устанавливать числовые параметры для файлов Gerber. Когда Вы делаете реальную плату, то получите их от изготовителя РСВ. Значения, показанные выше, довольно типичны для дешевого, многослойного процесса.

- [Copper to copper-fill clearance](#) - зазор который будет создан вокруг дорожек и переходных отверстий, проходящих через медные области.
- [Hole-edge to copper-fill clearance](#) - зазор который будет создан вокруг отверстий, проходящих через медные области.
- [Solder mask clearance](#) - зазор, который будет создан вокруг площадок и переходов в маске припоя.
- [Pilot hole diameter](#) - диаметр пилотных отверстий в площадках, если Вы захотели включить их.
- [Minimum silkscreen stroke width](#) - минимальная ширина дорожки, которая будет использоваться для элементов на слое шелкографии.
- [Thermal relief line width](#) - ширина дорожек в тепловом барьере, которые соединяют площадки с медной областью.
- [Board outline line width](#) - ширина дорожек используемых для рисования контура платы.
- [Annular ring width \(pins\)](#) - ширина кольца помещённого во внутреннем слое вокруг штыревого вывода для теплового барьера.
- [Annular ring width \(vias\)](#) - ширина кольца помещённого во внутреннем слое вокруг переходного отверстия для теплового барьера.
- [Shrink SMT pads for paste mask](#) - сокращения размера площадки для маски пасты.

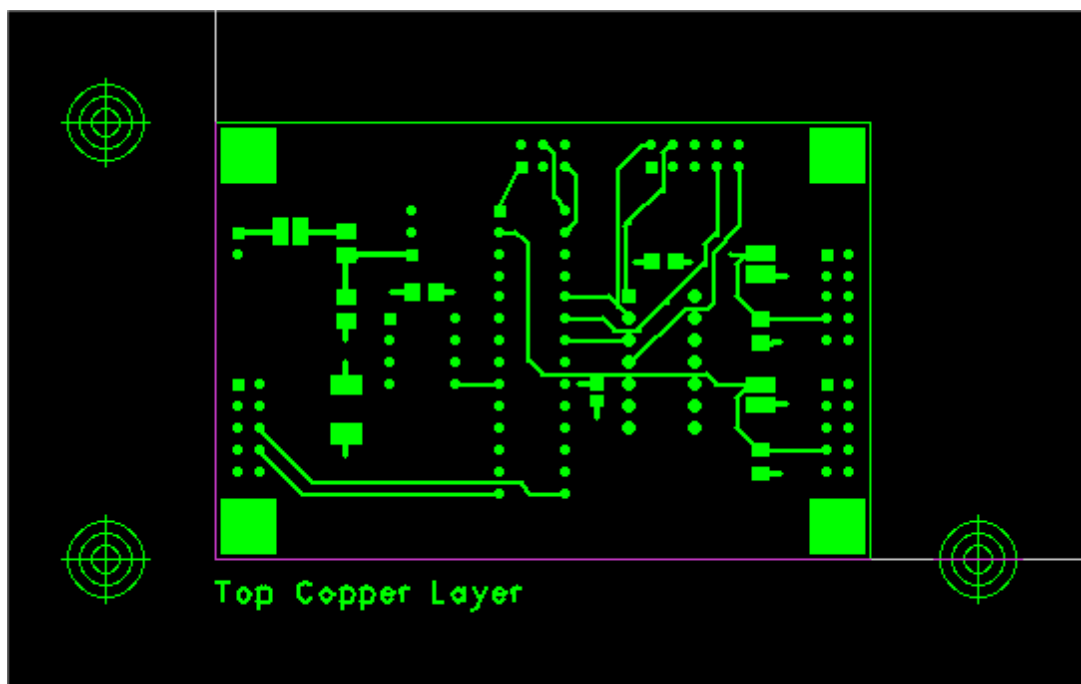
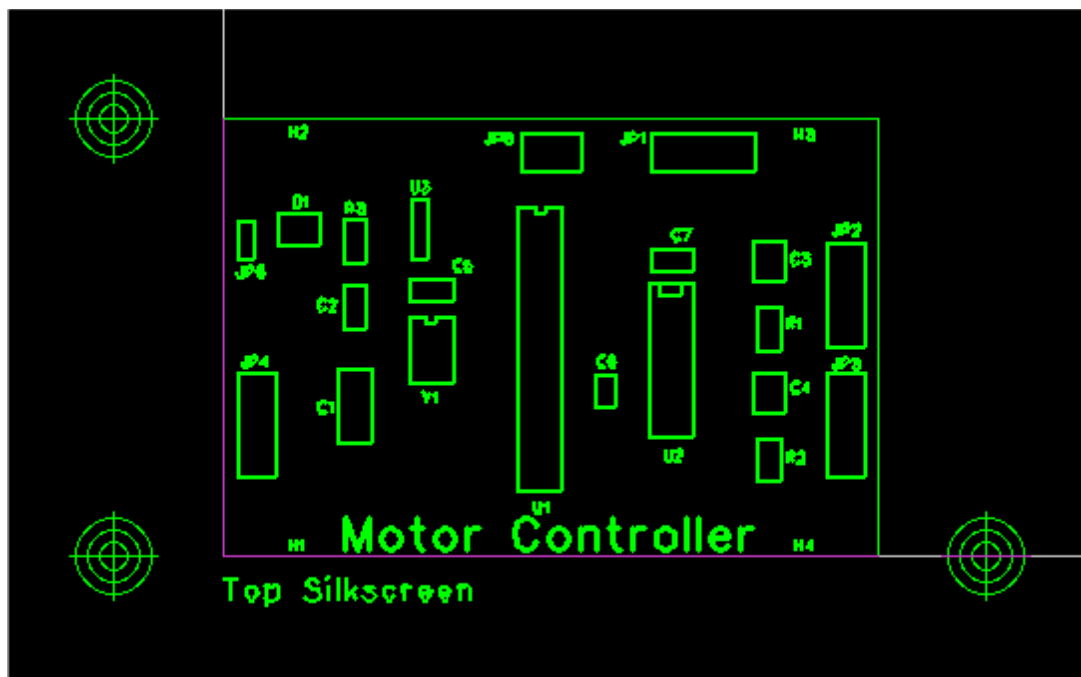
[Output folder](#) - папка получатель для файлов, которые будут созданы. По умолчанию, это - подпапка проектной папки, названной "CAM". При желании, Вы можете изменить её. Папка будет создана, если она не будет уже существовать (хотя его родительская папка должна существовать).

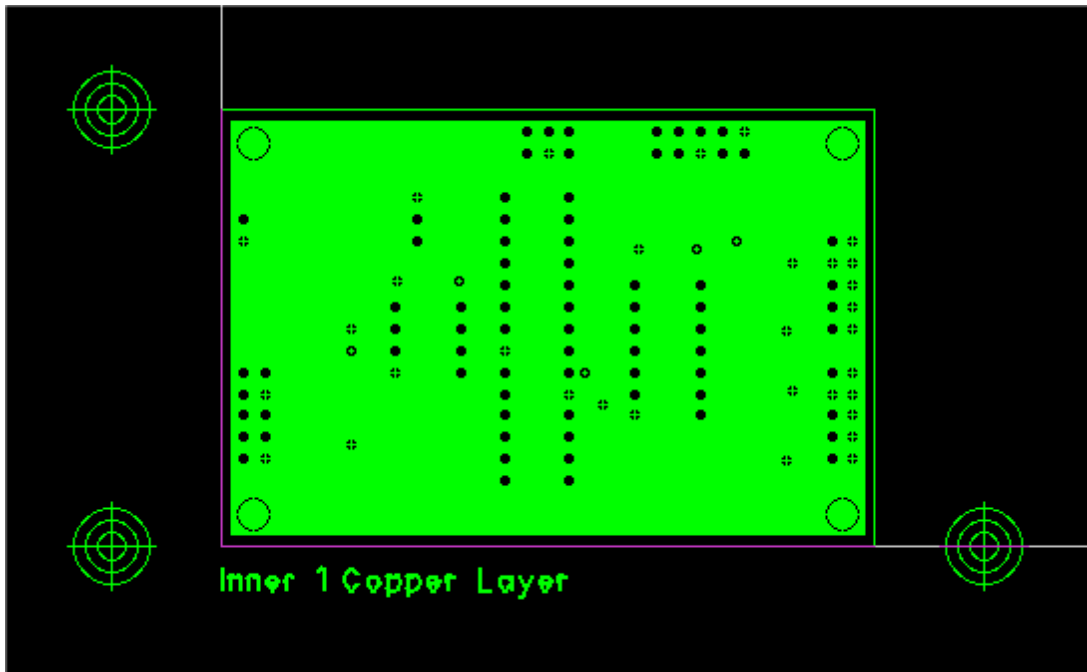
Теперь нажмите [Create files](#), чтобы создать файлы. Должен появиться следующий диалог.



Если были какие-нибудь ошибки, то в диалоге появятся сообщения об них. Обычно, ошибка приведет к прерыванию создания текущего файла и перехода к следующему. Нажмите ОК, чтобы закрыть диалог. Теперь Вы можете рассмотреть свои файлы Gerber и файлы сверловки, используя Gerber Viewer, такие как **ViewMate** от **PentaLogix** (которые бесплатны и доступны [здесь](#)). При помощи ViewMate можно также напечатать проверочную копию на Вашем принтере. Вы должны **ВСЕГДА** проверять свои файлы прежде, чем использовать их для изготовления РСВ. Кроме того, читайте [Раздел 5.20.3: Размеры сверла](#) для важной информации о файле сверловки.

Скриншоты файлов Gerber для верхнего слоя шелкографии, верхнего и внутреннего 1 медных слоёв нашего учебного проекта показаны ниже. Они выглядят довольно сырыми в скриншотах. Чтобы оценить, насколько точны они на самом деле, Вы должны открыть свои собственные файлы в ViewMate и увеличить некоторые небольшие особенности.





Хорошо, это - конец обучения. Я попытался охватить большинство главных особенностей FreePCB. Теперь Вы готовы создать свою собственную плату.

8. Форматы файла

8.1 Проектных Файлов

Проектный файл (*.fpc) — это текстовый файл ASCII, содержащий всю информацию для единственного проекта. Он состоит из нескольких разделов, при этом каждый раздел начинается с имени, заключенного в квадратные скобки, например, "[options]". В каждом разделе есть несколько элементов, где каждый элемент начинается ключевым словом с двоеточием, таким как "units:". После каждого ключевого слова обычно следует один или несколько параметров. Могут быть элементы, вложенные один ниже другого. Эта связь показывает обозначение строк для вложенных элементов.

Строки параметров, следующие за ключевым словом разделяются пробелами. В порядке разрешения пробелов внутри параметра, такого как пробел в имени файла, первый параметр, следующий за ключевым словом может быть окружен двойными кавычками (например, "test file"), и пробелы между кавычками не будут считаться разделителем. Последующие параметры не должны содержать внутри пробелов.

Многие из параметров представляют размерности, такие как длину или ширину линии. По умолчанию, размерности выражены в нанометрах. Суффикс может быть добавлен к размерности, чтобы указать другие единицы измерения, такие как "100MM" или "23.5MIL". Для футпринтов есть элемент, названный "units:" который изменяет заданные по умолчанию единицы измерения для всех параметров футпринта, так, чтобы суффиксы не требовались.

Вот список всех секций и элементов, которые могут появиться в проектном файле. Для каждого элемента, показано ключевое слово, за которым следует список параметров, где описание каждого параметра окружено символами "<>", а опциональные элементы окружены "{}". Этот список является текущим на программную версию 1.327.

```
[options]
version: <the version number of the freepcb.exe application that created the file, such as "1.328">
file_version: <the version number of the oldest freepcb.exe application that can read the file, such as "1.312">
project_name: <the name of the project, usually the same as the project file name without the ".fpc" extension>
full_library_folder: <the absolute path to the default library folder for the project>
CAM_folder: <the absolute path to the folder for CAM files, or "" if not yet defined>
ses_file_path: <the absolute path to the last .ses file imported, or "" if not yet defined>
dsn_bounds_poly: <the board outline index used for the bounds for the .dsn file>
dsn_signals_poly: <the board outline index used for the bounds for signals the .dsn file>
autosave_interval: <the interval between autosaves in msec, or "0" if autosave disabled>
netlist_import_flags: <the flags set in the last "import netlist" dialog>
units: <the currently-selected units for the project, either "MM" or "MIL">
visible_grid_spacing: <the currently-selected visible grid spacing, in nanometers>
    visible_grid_item: <the first item in the menu of visible grids>
    visible_grid_item: <the next item in the menu of visible grids>
    ...
    visible_grid_item: <the last item in the menu of visible grids>
placement_grid_spacing: <the currently-selected placement grid spacing, in nanometers>
    placement_grid_item: <the first item in the menu of placement grids>
    placement_grid_item: <the next item in the menu of placement grids>
    ...
    placement_grid_item: <the last item in the menu of placement grids>
routing_grid_spacing: <the currently-selected routing grid spacing, in nanometers>
    routing_grid_item: <the first item in the menu of routing grids>
    routing_grid_item: <the next item in the menu of routing grids>
    ...
    routing_grid_item: <the last item in the menu of routing grids>
```

snap_angle: <the currently-selected snap angle in degrees>
 fp_visible_grid_spacing: <the currently-selected visible grid spacing for the Footprint Editor, in nanometers>
 fp_visible_grid_item: <the first item in the menu of visible grids for the Footprint Editor>
 fp_visible_grid_item: <the next item in the menu of visible grids for the Footprint Editor>
 ...
 fp_visible_grid_item: <the last item in the menu of visible grids for the Footprint Editor>
 fp_placement_grid_spacing: <the currently-selected placement grid spacing for the Footprint Editor, in nanometers>
 fp_placement_grid_item: <the first item in the menu of placement grids for the Footprint Editor>
 fp_placement_grid_item: <the next item in the menu of placement grids for the Footprint Editor>
 ...
 fp_placement_grid_item: <the last item in the menu of placement grids for the Footprint Editor>
 fp_snap_angle: <the currently-selected snap angle for the Footprint Editor, in degrees>
 fill_clearance: <for Gerber files, the copper-copper clearance for copper areas>
 mask_clearance: <for Gerber files, the solder-mask clearance>
 thermal_width: <for Gerber files, the width of the cross-hairs for thermal reliefs>
 min_silkscreen_width: <for Gerber files, the minimum width of silk-screen lines>
 board_outline_width: <for Gerber files, the width of board-outline lines>
 hole_clearance: <for Gerber files, clearance from holes to copper areas>
 pilot_diameter: <for Gerber files, the pilot hole diameter>
 annular_ring_for_pins: <for Gerber files, the width of annular rings for through-hole pins>
 annular_ring_for_vias: <for Gerber files, the width of annular rings for vias>
 shrink_paste_mask: <for paste mask Gerber files, pad size reduction>
 cam_flags: <bitwise ORed flags for CAM options>
 cam_layers: <bitwise ORed flags for CAM files to generate>
 cam_drill_file: <flag to make a drill file>
 cam_units: <units to use for CAM parameters in dialog>
 cam_n_x: <for panelizing, number of boards horizontally>
 cam_n_y: <for panelizing, number of boards vertically>
 cam_space_x: <for panelizing, horizontal spacing of boards>
 cam_space_y: <for panelizing, vertical spacing of boards>
 drc_check_unrouted: <flag to treat unrouted connections as DRC errors>
 drc_trace_width: <minimum trace width for DRC>
 drc_pad_pad: <minimum pad-pad clearance for DRC>
 drc_pad_trace: <minimum pad-trace clearance for DRC>
 drc_trace_trace: <minimum trace-trace clearance for DRC>
 drc_hole_copper: <minimum hole-copper clearance for DRC>
 drc_annular_ring_pins: <minimum annular ring width for pins for DRC>
 drc_annular_ring_vias: <minimum annular ring width for vias for DRC>
 drc_board_edge_copper: <minimum copper-board edge clearance for DRC>
 drc_board_edge_hole: <minimum hole-board edge clearance for DRC>
 drc_hole_hole: <minimum hole-hole clearance for DRC>
 drc_copper_copper: <minimum copper_area-copper_area clearance for DRC>
 default_trace_width: <default trace width for project>
 default_via_pad_width: <default via pad width for project>

```

default_via_hole_width: <default via hole diameter for project>
n_width_menu: <number of trace width menu items>
width_menu_item: <index of first item> <trace width> <via pad width> <via hole diameter>
width_menu_item: <index of this item> <trace width> <via pad width> <via hole diameter>
...
width_menu_item: <index of last item> <trace width> <via pad width> <via hole diameter>
n_copper_layers: <number of copper layers in project>
layer_info: <name of first layer> <index into layer array> <color: red> <color: green> <color: blue>
<flag if visible>
layer_info: <name of next layer> <index into layer array> <color: red> <color: green> <color: blue>
<flag if visible>
...
layer_info: <name of last layer> <index into layer array> <color: red> <color: green> <color: blue>
<flag if visible>
[footprints]
name: <name of footprint>
{author: <name of author>}
{source: <description of source>}
{description: <description of footprint>}
units: <units: "NM", "MM" or "MIL">
sel_rect: <for selection rectangle: left> <bottom> <right> <top>
ref_text: <for reference text: height> <left> <bottom> <angle> <line width>
{text: <text string> <height> <x> <y> <angle> <line width> <flag if mirrored> <layer>}
...
{outline_polyline: <line width> <starting x> <starting y>
next_corner: <next x> <next y> <side style>
next_corner: <next x> <next y> <side style>
...
close_polyline: <if closed polyline, last side style>}
...
n_pins: <number of pins>
pin: <pin name> <hole_diameter> <x> <y> <angle>
top_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
inner_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
bottom_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
pin: <pin name> <hole_diameter> <x> <y> <angle>
top_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
inner_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
bottom_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
....
pin: <pin name> <hole_diameter> <x> <y> <angle>
top_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
inner_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
bottom_pad: <shape> <width> <length/2> <length/2> <corner radius>
[board]
outline: <number of corners in board outline> <outline index>
corner: <index> <x> <y> <style of next side>
corner: <index> <x> <y> <style of next side>
...
corner: <index> <x> <y> <style of next side>
...
[solder_mask_cutouts]
sm_cutout: <number of corners in solder mask cutout> <fill style> <layer>
corner: <index> <x> <y> <style of next side>
corner: <index> <x> <y> <style of next side>
...
corner: <index> <x> <y> <style of next side>
...

```



```

[parts]
part: <reference designator>
ref_text: <height> <line width> <angle> <x> <y>
package: <package identifier from netlist file, or ">
shape: <footprint name>
pos: <position: x> <y> <side> <angle> <flag if glued>
[nets]
net: <name of net> <# pins> <# connections> <# areas> <default trace width> <default via pad width>
<default via hole dia> <visibility>
pin: <index of first pin in net> <name, such "U1.5">
pin: <index of next pin in net> <name, such "U1.5">
...
pin: <index of last pin in net> <name, such "U1.5">
connect: <index of this connection> <index of start pin> <index of end pin> <# segments> <flag if
locked>
vtx: <first trace vertex: index> <x> <y> <first/last vertex, pad layer> <force via flag> <via pad
width> <via hole dia> <tee id>
seg: <first trace segment: index> <layer> <width> <via width> <via hole diameter>
vtx: <next trace vertex: index> <x> <y> <first/last vertex, pad layer> <force via flag> <via pad width>
<via hole dia> <tee id>
seg: <next trace segment: index> <layer> <width> <via width> <via hole diameter>
...
seg: <last trace segment: index> <layer> <width> <via width> <via hole diameter>
vtx: <last trace vertex: index> <x> <y> <first/last vertex, pad layer> <force via flag> <via pad width>
<via hole dia> <tee id>
area: <index of this copper area> <# corners> <layer> <hatch style>
corner: <index of first corner> <x> <y> <style of next side> <flag if last corner of this contour>
corner: <index of next corner> <x> <y> <style of next side> <flag if last corner of this contour>
...
corner: <index of last corner> <x> <y> <style of next side> <flag if last corner of this contour>
[texts]
text: <text string> <x> <y> <layer> <angle> <mirror flag> <height> <line width>

```

8.2 Библиотечные файлы

Библиотечный файл (*.fpl) являются текстовым файлом ASCII, содержащим один или более футпринтов. Формат для этого файла точно такой же, как секция [footprints] проектного файла, описанного выше.

8.3 Файл конфигурации

Файл конфигурации (default.cfg) является текстовым файлом ASCII, содержащим заданные по умолчанию параметры, которые используются для новых проектов. Этот файл расположен в той же самой папке, где расположен исполняемый файл программы "freercb.exe". Файл использует такой же формат, как секция [options] проектного файла, описанного выше, с двумя дополнительными элементами:

```

parent_folder: <the absolute or relative path to the default parent folder for new projects>
library_folder: <the absolute or relative path to the default library folder for new projects>

```