

Protel DXP для начинающих

Эта статья начинает цикл публикаций, представляющих собой краткий учебник для начинающих пользователей системы Protel DXP. Эта система появилась в августе 2002 года и пришла на смену предыдущей версии Protel 99 SE, которая за последние три года приобрела в России широкую известность и изрядно потеснила позиции другого продукта компании Altium — системы P-CAD 2001.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Система Protel DXP представляет собой полностью 32-разрядное приложение, предназначенное для работы под управлением операционных систем Windows NT/XP и предоставляющее разработчикам печатных плат все необходимые инструменты. Основу системы составляет программная оболочка Design Explorer, которая интегрирует в себе различные модули, выполняющие определенные функции проектирования, например, редактор принципиальных схем, редактор печатных плат, автотрассировщик, программа моделирования, интерфейсы импорта и экспорта. Наличие полнофункциональной демоверсии дает возможность по достоинству оценить все возможности пакета. Демоверсию Protel DXP можно скачать по адресу www.protel.com. Русскоязычный ресурс, посвященный системе, находится по адресу www.eltn.ru. В данном учебнике представлены основные приемы

проектирования и моделирования схем, передачи информации в редактор печатных плат, размещения компонентов, трассировки проводников и генерации файлов для производства.

Среда Design Explorer

Среда проектирования Design Explorer представляет собой интерфейс между пользователем, проектом и различными инструментами проектирования. Для запуска системы Protel DXP необходимо открыть оболочку Design Explorer через меню Windows Пуск / Altium / Protel DXP.

Окно Design Explorer (рис. 1) имеет ряд основных элементов. Основной частью окна является рабочий стол системы, на котором открываются различные документы проектов. Здесь же располагаются иконки быстрого вызова основных функций. В верхней ча-

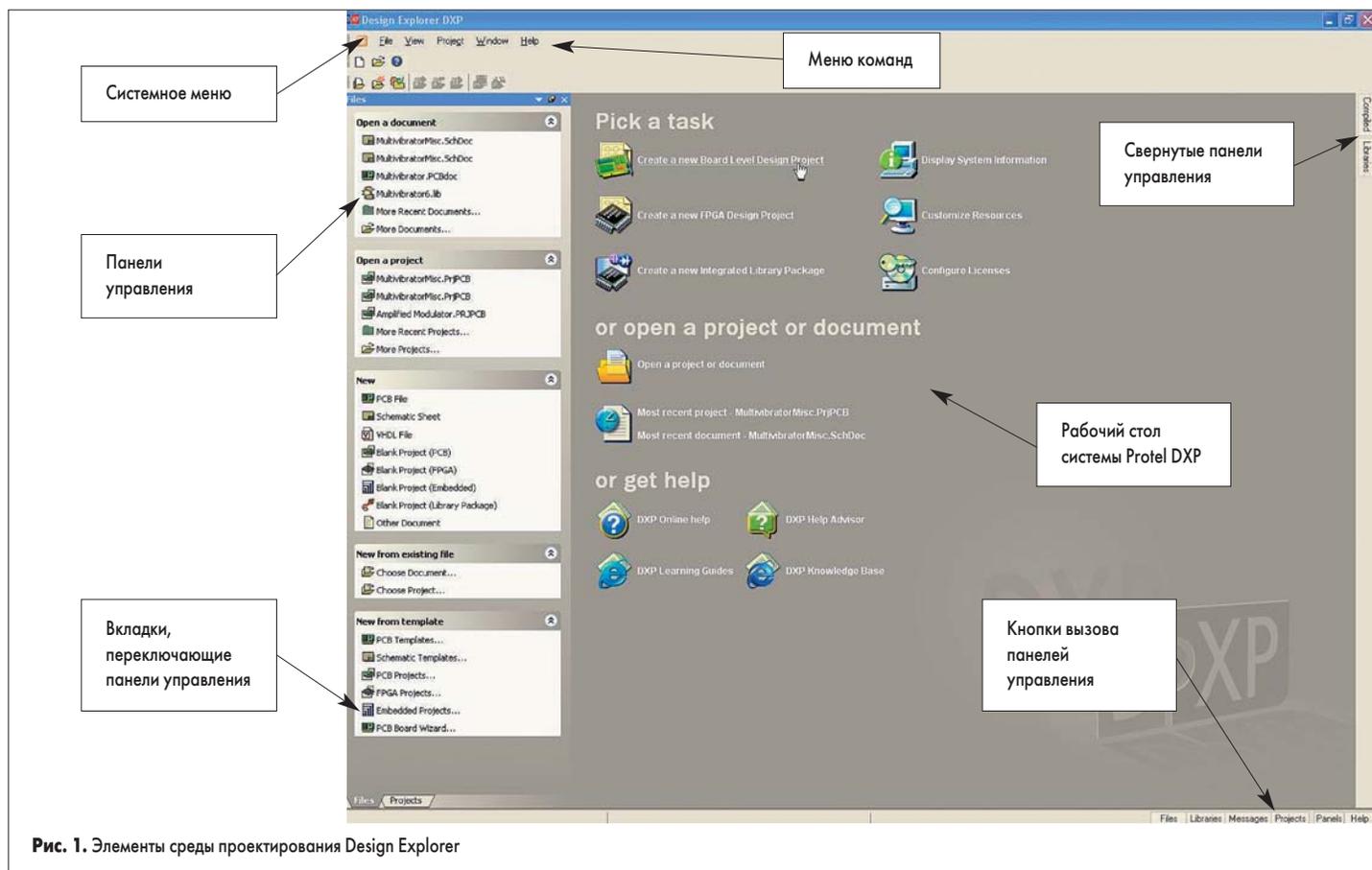


Рис. 1. Элементы среды проектирования Design Explorer

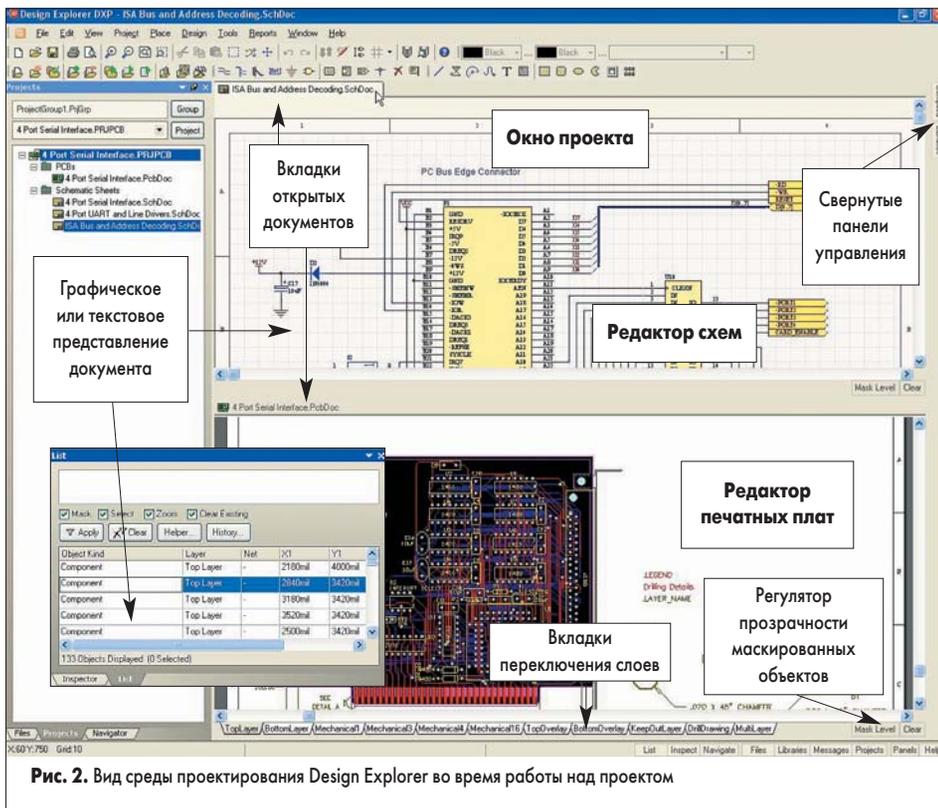


Рис. 2. Вид среды проектирования Design Explorer во время работы над проектом

сти окна расположено системное меню команд и панели инструментов. Слева и справа располагаются панели управления, которые при необходимости могут быть настроены так, чтобы автоматически убираться с экрана, если ими не пользуются. Переключение между панелями осуществляется с помощью закладок внизу. Вызов нужной панели осуществляется с помощью кнопок в нижней части окна.

Так как интерфейс пакета видоизменяется в зависимости от выполняемой в данный момент задачи (рис. 2), нет смысла подробно изучать все команды меню и панели инструментов. Гораздо полезнее будет рассмотреть реальный пример проектирования, который позволит понять логику работы программы и запомнить основные приемы работы в ней.

Что такое проект системы Protel?

Система Protel DXP хранит всю проектную информацию на жестком диске компьютера в виде отдельных файлов, поэтому для манипуляций с ними можно использовать Проводник системы Windows. Проект Protel DXP представляет собой специальный служебный файл, содержащий ссылки на отдельные документы и обеспечивающий доступ к ним в рамках среды проектирования Design Explorer. Заметим, что в предыдущей версии Protel 99 SE преобладающим способом хранения данных считалась специальная база данных проекта, представляющая собой всего один файл.

Создание нового проекта

Как уже сказано выше, проект системы Protel DXP представляет собой обычный текстовый файл с расширением, например, .PrjPCB, содержащий ссылки на все используемые в проекте документы, а также необходимые установки для работы с ними, например, настройки печат-

ти или вывода САМ-файлов. Документы, не ассоциированные ни с одним проектом, называются «свободными» (Free Documents). Добавление в проект ссылки на такой документ, например, на лист принципиальной схемы, означает добавление этого документа в проект. После компиляции проекта становится возможной его верификация и синхронизация.

Проекты бывают четырех типов: печатных плат (PCB), программируемой логики (FPGA), VHDL-описание (Embedded) или интегрированная библиотека компонентов (Integrated Library). Процесс создания нового проекта не зависит от типа проекта. Рассмотрим пример проекта печатной платы. Последовательность действий здесь будет следующая: сначала создадим файл проекта, затем создадим пустой лист принципиальной схемы и добавим его в проект. Несколько позднее в проект будет добавлен чертеж печатной платы.

Итак, выполним первое упражнение:

- Щелкнем левой кнопкой мыши на значке Create a new Board Level Design Project (создать новый проект печатной платы) в секции Pick a Task (выбор задачи) рабочего стола системы Protel DXP (рис. 3).

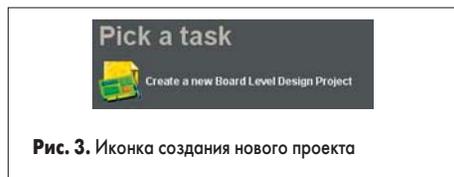


Рис. 3. Иконка создания нового проекта

Иначе эту операцию можно произвести, выполнив соответствующую команду из раздела меню File / New или щелкнув мышкой на опции Blank Project (PCB) в секции New панели управления Files. Если в настоящий момент эта панель не отображается, то ее можно включить нажатием кнопки Files в нижней части экрана. 2. Появится панель Projects, на которой будет изображен только что созданный пустой

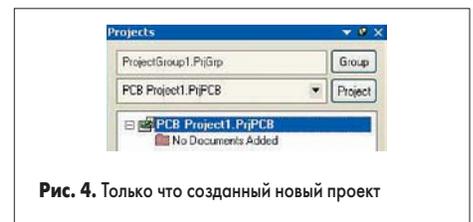


Рис. 4. Только что созданный новый проект

проект с именем по умолчанию PCB Project1.PrjPCB (рис. 4).

- Переименуем файл проекта с помощью команды меню File / Save Project As. Появится окно, в котором надо указать место на диске, где будет храниться проект, а также его имя. В нашем примере назовем проект Multivibrator.PrjPCB и нажмем кнопку Save. Далее нам предстоит создать файл схемы транзисторного мультивибратора и добавить его в пустой проект.

Создание нового листа принципиальной схемы

Для создания новой схемы необходимо выполнить следующие действия:

- Выполните команду меню File/New/Schematic Sheet или щелкните мышкой на опции Schematic Sheet в секции New панели управления Files (рис. 5). На рабочем столе системы Protel DXP появится пустой лист принципиальной схемы с именем по умолчанию Sheet1.SchDoc, который автоматически будет добавлен в наш проект. На вкладке Projects новый лист схемы будет отображаться в категории Schematic Sheets под именем проекта.

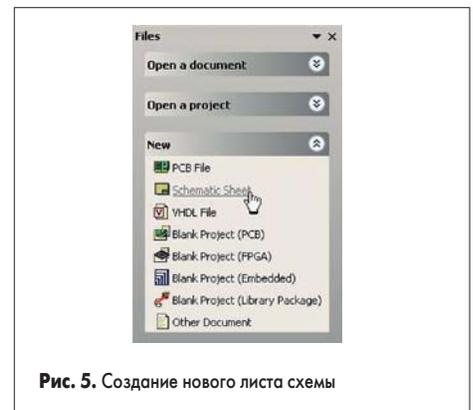


Рис. 5. Создание нового листа схемы

- Переименуем созданный файл схемы с расширением .SchDoc с помощью команды File/Save As. В появившемся окне надо указать место, где этот файл будет храниться, и имя, в нашем случае — Multivibrator.SchDoc.

Обратите внимание, что в тот момент, когда на рабочем столе открылся пустой лист схемы, среда проектирования изменила свой внешний вид: главная панель инструментов пополнилась новыми кнопками, появилась вторая панель инструментов, а меню команд расширилось.

Отметим, что большинство элементов среды проектирования настраивается. Например, захватив левый край панели инструментов и удерживая левую кнопку мыши, можно переместить ее в любое место экрана. При приближении к краю экрана панель «прилипнет» к нему. Аналогичные действия можно проделывать с панелями управления.

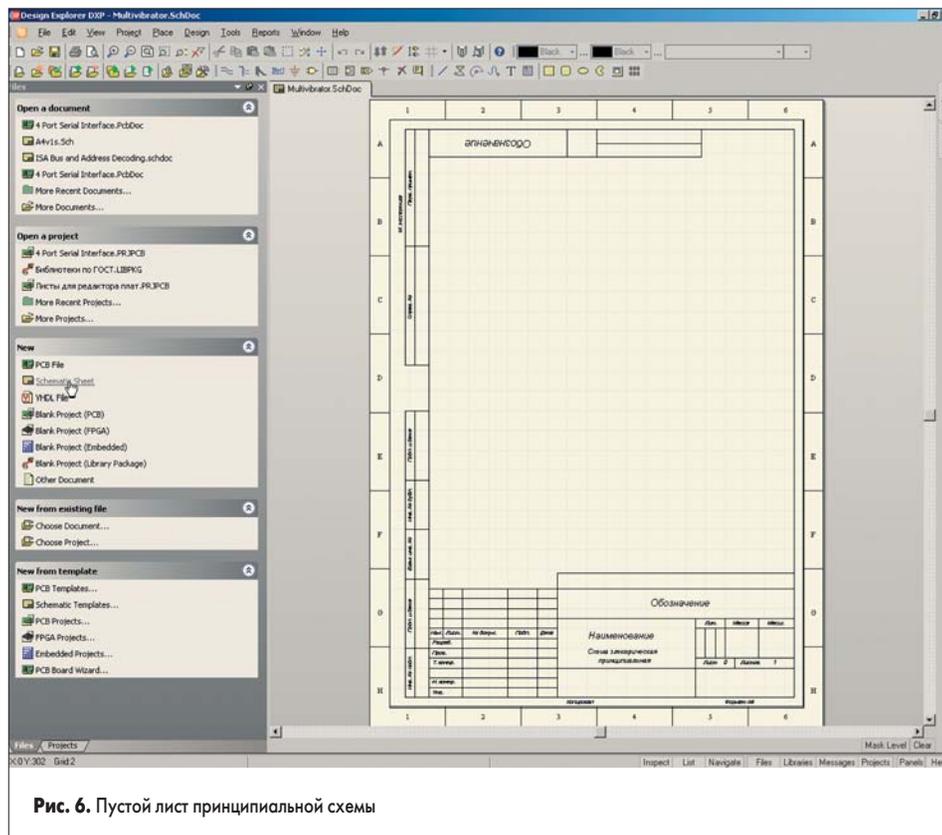


Рис. 6. Пустой лист принципиальной схемы

Добавление листа схемы в проект

Если вы хотите добавить в проект лист схемы, который ранее был открыт на панели Projects как свободный (Free Document), необходимо выполнить на нем щелчок правой кнопкой мыши, в появившемся меню выбрать команду Add to Project. Лист схемы окажется в категории Schematic Sheets указанного проекта.

Настройка параметров листа схемы

Прежде чем начать рисовать принципиальную схему, следует правильно задать параметры документа. Для этого выполним следующие шаги:

1. Выберем команду меню Design / Options, после чего откроется диалоговое окно Document Option, где настраиваются размер листа и шаг сетки.
2. Здесь следует обратить внимание, что редактор принципиальных схем Protel DXP поддерживает только одну систему измерений — в дюймах. Это поначалу, как правило, пугает пользователей, имеющих навыки работы в программе P-CAD 2001, где имеется возможность использования как дюймовой, так и метрической системы мер. Однако следует учитывать, что в отличие от редактора чертежей печатных плат, где все графические примитивы должны иметь истинные геометрические размеры, оформление схем может вестись в дискретах — неких условных единицах измерения. Это связано с тем, что при создании схем разработчики пользуются готовыми условными графическими обозначениями (УГО) из соответствующих библиотек. Главное, чтобы выведенная на печать схема имела правильные размеры в миллиметрах, чего легко добиться подбором масштаба печати.

3. Редактор принципиальных схем системы Protel имеет дискретность 0,01 дюйма, что составляет около 0,25 мм. Так как для оформления схем согласно требованиям ЕСКД достаточно точности 0,5 мм, рекомендуется рисовать схемы в уменьшенном масштабе, что дает возможность, во-первых, без проблем использовать УГО микросхем из фирменных библиотек, имеющих шаг между выводами 10 дискретов, а во-вторых, почти вдвое увеличить максимальный размер листа схемы. Таким образом, процесс создания схемы при правильном назначении размеров сеток не будет ничем отличаться от прорисовки схемы на миллиметровой чертежной бумаге.
4. Установим значение видимой сетки Visible Grid, облегчающей ориентирование по схеме, равным 10, что соответствует 5 мм.
5. Установим шаг сетки Snap Grid, определяющий дискретность перемещения курсора по схеме, равным 2, что соответствует 1 мм.
6. Зададим размеры листа. Например, требуется получить лист схемы формата А4, имеющего размеры 210/297 мм. Пользуясь нашим правилом 1 мм = 2 дискрета, мы должны установить пользовательские размеры листа, для чего включим переключатель Use Custom Style. Далее введем в поле Custom Width число 420, а в поле Custom Height — число 594.
7. Установим число координатных зон, необходимых для выполнения автоматической перенумерации позиционных обозначений, по горизонтали (X Region Count) равным 6, а по вертикали (Y Region Count) — 8. В этом случае зоны будут иметь размер около 40 мм, что вполне достаточно.
8. Нажмите кнопку ОК для сохранения всех установленных параметров.
9. Выполните команду меню View/Fit Document, чтобы автоматически подо-

гнуть масштаб отображения листа на экране под размеры окна.
 Отметим, что в системе Protel DXP помимо команд меню имеется весьма продуманная и гибкая система «горячих клавиш», упрощающих вызов команд с клавиатуры. Например, для быстрого вызова команды View/Fit Document используется последовательное нажатие клавиш V и D. Определить, какая горячая клавиша соответствует той или иной команде можно по подчеркнутой букве в названии команды.

Теперь необходимо настроить редактор принципиальных схем (ранее мы настраивали только активный лист):

1. Выполним команду меню Tools/Preferences (горячие клавиши T, P). Откроется диалоговое окно, установки в котором будут относиться ко всем листам схем.
2. Перейдем на вкладку Default Primitives и включим переключатель Permanent, после чего закроем окно нажатием кнопки ОК.
3. Прежде чем начать рисовать схему, сохраним настроенный лист схемы с помощью команды File / Save (горячие клавиши F, S). Для быстрого задания параметров листов схем можно использовать заранее созданные специальные шаблоны или имеющиеся листы схем. Шаблоном называется заготовка листа принципиальной схемы с установленными параметрами, сохраненная в файл с расширением .DOT. Шаблоны листов схем с рамкой и основной надписью по ГОСТ в масштабе 1 мм = 2 дискрета можно получить у автора данной статьи. Смена шаблона осуществляется с помощью команды Design/Template/Set Template File Name, после выполнения которой лист схемы примет вид, показанный на рис. 6.

Рисование схемы

После проделанных выше операций мы готовы начинать рисовать принципиальную схему. В качестве примера возьмем простую схему транзисторного мультивибратора и от руки набросаем ее на бумаге, чтобы было легче повторить в редакторе схем (рис. 7).

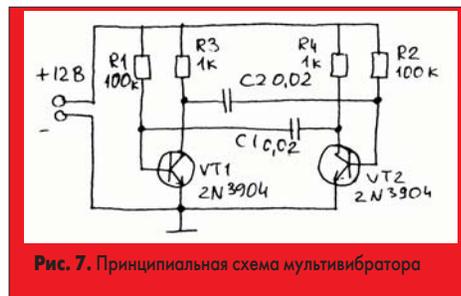


Рис. 7. Принципиальная схема мультивибратора

Поиск компонентов в библиотеках и подключение библиотек

Для облегчения работы с библиотеками, содержащими тысячи элементов, в редакторе схем Protel имеются мощные функции поиска. И хотя все необходимые нам элементы есть в подключенных к системе библиотеках по умолчанию, для понимания принципа работы с библиотеками полезно пройти весь путь поиска компонента по шагам.

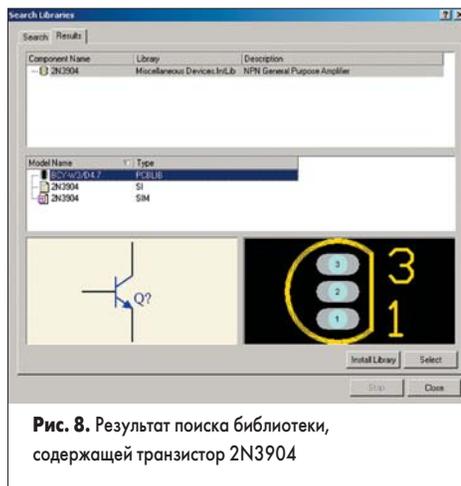


Рис. 8. Результат поиска библиотеки, содержащей транзистор 2N3904

Прежде всего, найдем символ транзистора 2N3904:

1. Вызовем панель управления библиотеками Libraries нажав на кнопку Libraries в нижней части окна Design Explorer. Если в системе не подключено ни одной библиотеки, то панель будет пустой.
2. Нажмем кнопку Search, расположенную в верхней части панели Library, или выполним команду меню Tools/Find Component. Откроется диалоговое окно Search Libraries.
3. На вкладке Search этого окна в поле Score включим опцию Libraries on Path, а в поле Path зададим папку, где следует искать нужную библиотеку. Если установка системы Protel DXP выполнялась в папку по умолчанию, то библиотеки будут находиться по адресу C:\Program Files\Altium\Library. Переключатель Include Subdirectories при этом должен быть выключен.

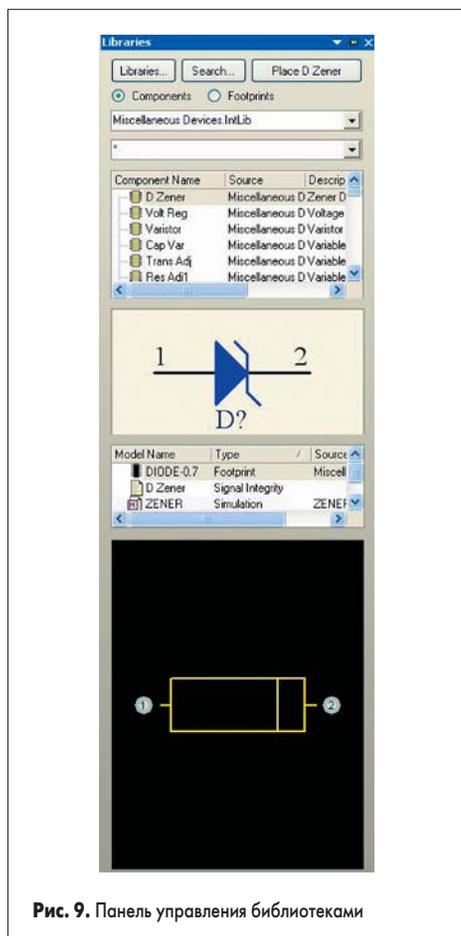


Рис. 9. Панель управления библиотеками

4. Так как мы хотим найти все компоненты, у которых в названии присутствует сочетание цифр 3904, в поле Search Criteria включим опцию Name и в текстовое поле справа впишем фильтр поиска *3904*. Знак * здесь обозначает, как и при работе с файлами в системе Windows, произвольное сочетание любых других символов.
5. Запустим процесс поиска нажав на кнопку Search. На вкладке Results окна Search Libraries будут отображены результаты поиска.
6. С помощью мыши выберем найденную библиотеку Miscellaneous Device.IntLib, которая содержит транзистор 2N3904. Библиотечное описание транзистора состоит из символа для редактора принципиальных схем, топологического посадочного места для редактора плат, Spice-модель для моделирования и модель для анализа целостности сигналов (рис. 8).
7. Подключим эту библиотеку к системе Protel нажав на кнопку Install Library. Если библиотека уже подключена, то эта кнопка будет заблокированной.
8. Закроем окно поиска нажав на кнопку Close. Подключенная библиотека отобразится в выпадающем списке в верхней части панели управления библиотеками (рис. 9).

Размещение элементов на схеме

Сначала разместим на схеме транзисторы VT1 и VT2 аналогично тому, как они нарисованы на рис. 7.

1. С помощью команды View/Fit Document (горячие клавиши V, D) подгоним масштаб отображения так, чтобы в окне редактора схем помещался весь лист.
2. Включим панель управления библиотеками (если она скрыта) кнопкой Library в нижней части экрана или выбором соответствующей вкладки.

3. В выпадающем списке на этой панели выберем библиотеку Miscellaneous Device.IntLib, в которой находится нужный нам транзистор p-n-p 2N3904.
4. Библиотека может быть большой, поэтому для быстрого поиска компонента в нем будем использовать фильтр в текстовом поле, расположенном под именем библиотеки. По умолчанию в этом поле стоит значок *, означающий, что должны отображаться абсолютно все компоненты. Введем фильтр *3904*, после чего в списке компонентов останется только нужный нам транзистор.
5. Выберем его с помощью мыши и нажмем кнопку Place в верхней части панели или выполним на имени компонента двойной щелчок левой кнопкой мыши. Указатель мыши изменит вид крестика, к которому «прилип» контур символа транзистора, что означает, что редактор переключился в режим размещения.
6. Прежде чем щелкнуть левой кнопкой мыши в поле схемы и поставить транзистор в нужное место, отредактируем его параметры, для чего нажмем клавишу Tab. Откроется диалоговое окно, изображенное на рис. 10.
7. Присвоим транзистору позиционное обозначение VT1, которое задается в поле Designator.
8. Убедимся, что в списке Model list транзистору сопоставлено топологическое посадочное место (Footprint). В нашем примере мы используем готовую интегрированную библиотеку, в которую уже включены модели для анализа схемы и посадочное место DCY-W3/D4.7.

Итак, начнем размещать компоненты на схеме:

1. Переместим указатель мыши с прилипшим символом в нужное место схемы.
2. Выполним щелчок левой кнопкой мыши или нажмем клавишу Enter.
3. Сдвинув мышью в сторону, мы обнаружим, что на схеме появилась копия символа

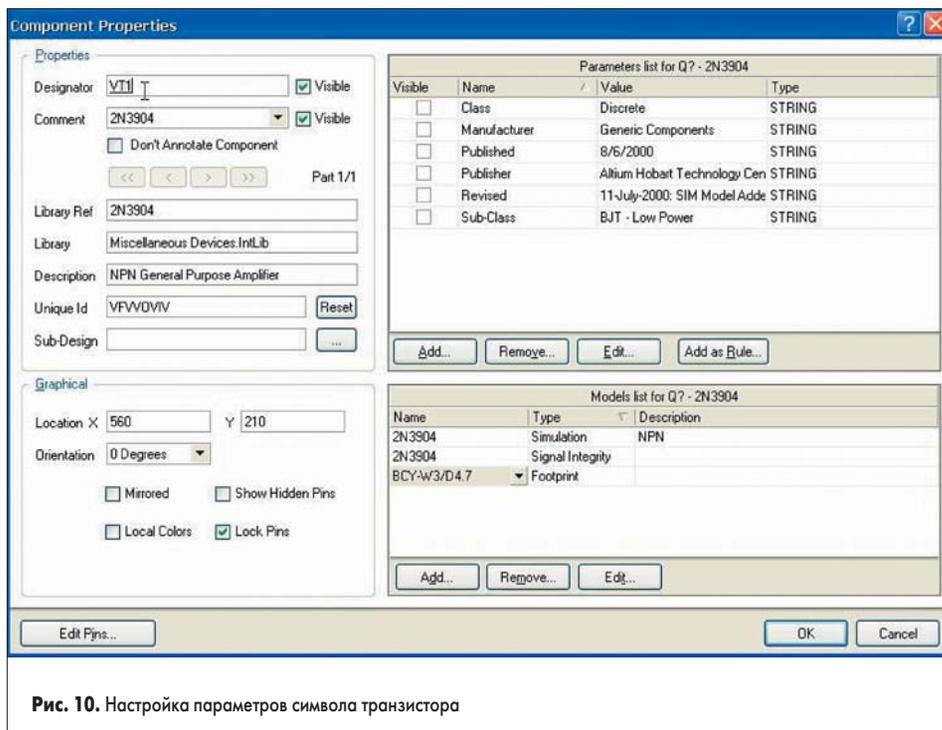


Рис. 10. Настройка параметров символа транзистора

транзистора, но редактор все еще находится в режиме размещения. Эта функция системы Protel DXP дает возможность быстро размещать на схеме компоненты одного типа. Обратите внимание, что нет необходимости вручную вводить позиционное обозначение второго транзистора, значение VT2 будет присвоено автоматически.

- Если создавать схему согласно рис. 7, то транзистор VT2 должен быть зеркальным относительно VT1. В режиме размещения нажмем клавишу «X» и транзистор отобразится зеркально относительно вертикальной оси. Для отображения относительно горизонтальной оси необходимо использовать клавишу Y. Нажатие клавиши Spacebar поворачивает символ на 90 градусов.

- Сдвинем указатель мыши вправо от первого транзистора. Чтобы более точно указать положение второго транзистора, изменим масштаб просмотра схемы, для чего дважды нажмем клавишу PageUp.

Обратите внимание, что при приближении указателя мыши к краю окна редактора схем будет происходить автоматическое панорамирование листа. Иногда пользователь может по ошибке сдвинуться слишком далеко от оптимальной точки размещения компонента. В этом случае быстро изменить масштаб так, чтобы были показаны все размещенные объекты, и найти нужное место позволит комбинация горячих клавиш V, F, вызывающая команду View/Fit All Object.

- Выполним щелчок левой кнопкой мыши в нужном месте схемы. Второй транзистор появится на схеме, а пользователю будет предложено разместить третий транзистор.
- Нажмем клавишу Esc и выйдем из режима размещения транзистора. Указатель мыши снова примет вид стрелки.

Далее добавим на схему резисторы:

- Убедимся, что на панели управления библиотеками выбрана библиотека Miscellaneous Device.IntLib.
- В поле фильтра введем текст res1.
- Из списка выберем компонент с именем RES1 и нажмем кнопку Place. Теперь к указателю мыши окажется «прилипшим» символ резистора.
- Нажмем клавишу Tab для редактирования параметров резистора и в поле Designator введем позиционное обозначение R1.
- Убедимся, что в списке моделей резистору сопоставлено топологическое посадочное место AXIAL-0.3.

Далее следует задать значение сопротивления резистора, которое будет отображаться на схеме и использоваться при моделировании. Обычно для этого используется параметр =Value, которому присваивается общая информация о компоненте, но для дискретных элементов используемый в программе моделирования. Чтобы значение параметра =Value было передано в редактор печатных плат, необходимо воспользоваться текстовым полем Comment. Для выбранного нами резистора параметр Value уже определен, но в общем случае к новому компоненту его необходимо добавлять.

- Нажмем кнопку Add, расположенную под списком параметров Parameters list в ди-

алоговом окне Component Properties. Появится окно Parameters Properties, в котором зададим имя нового параметра Value в поле Name и присвоим ему значение 100 k в поле Value. Убедимся, что у нового параметра тип (Type) задан как STRING, и включена опция Visible. Нажмем кнопку OK.

- В поле Comment, расположенном в разделе Properties в выпадающем списке выберите значение параметра =Value, и выключите переключатель Visible рядом с этим полем. Чтобы вернуться в режим размещения, нажмем кнопку OK.

- Нажмем клавишу Spacebar для получения правильной ориентации резистора.

- Расположите резистор над базой транзистора VT1 и щелкните левой кнопкой мыши. Не беспокойтесь о том, чтобы сразу присоединить резистор к базе транзистора. Прорисовка проводников будет выполнена позднее.
- Расположите второй резистор с номиналом 100 k над базой транзистора VT2.

- При размещении третьего резистора нажмем клавишу Tab и присвойте параметру Value новое значение номинала — 1 k, для чего нажмем кнопку Edit под списком Parameters list.

- Расположите резисторы R3 и R4 согласно рис. 7.

Теперь разместим конденсаторы:

- Убедимся, что на панели управления библиотеками выбрана библиотека Miscellaneous Device.IntLib.
- В поле фильтра введем текст «cap».
- Из списка выберем компонент с именем CAP и нажмем кнопку Place. Теперь к указателю мыши окажется «прилипшим» символ конденсатора.
- Нажмем клавишу Tab и в окне параметров компонента зададим позиционное обозначение C1. Проверим, чтобы в списке моделей был указан тип топологического посадочного места RAD-0.3.

- В список Parameters list добавьте параметр Value и присвойте ему значение 20 n. Убедитесь, что тип нового параметра задан как STRING, а в столбце Visible включена галочка.

- В поле Comment слева укажите имя параметра =Value и нажмем кнопку OK для возвращения в режим размещения.

- Разместите конденсаторы C1 и C2 в нужных местах схемы.

- Выйдите из режима размещения нажатием правой кнопки мыши или клавиши Esc. Последний компонент на схеме — это двухконтактная розетка, хранящаяся в библиотеке Miscellaneous Connectors.IntLib.

- Для подключения новой библиотеки нажмем кнопку Libraries. Появится окно со списком уже подключенных библиотек.
- Нажмем кнопку Add Library и выберем нужную библиотеку.
- После того, как библиотека подключена, выберем ее в списке в верхней части панели.
- В поле фильтра введем *2*.

- Выберем из списка компонент HEADER2 и нажмем кнопку Place. Нажмем клавишу Tab и в окне параметров компонента зададим позиционное обозначение XS1. Провер-

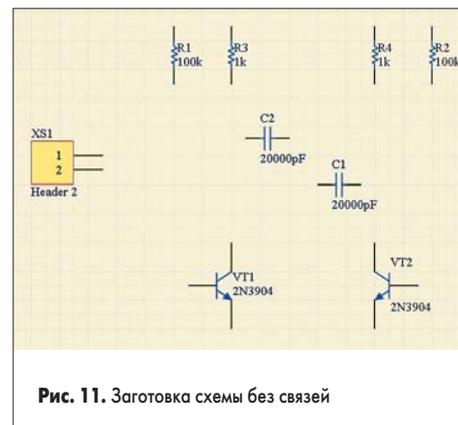


Рис. 11. Заготовка схемы без связей

им, чтобы в списке моделей был указан тип топологического посадочного места HDR1X2. Добавление параметра Value здесь не требуется, так как при моделировании розетка будет заменена на источник постоянного напряжения.

- Перед размещением компонента нажмем клавишу X, чтобы добиться его правильной ориентации.
- Выйдите из режима размещения нажатием правой кнопки мыши или клавиши Esc.
- Сохраните схему с помощью команды меню File/Save (горячие клавиши F, S).

В результате проделанных операций мы получили схему без связей, изображенную на рис. 11. То, что между элементами оставлено много свободного места, сделано умышленно, чтобы понять основные принципы прорисовки связей. Заметим, что все компоненты нарисованы по международным стандартам, что не соответствует принятой в России системе условных графических изображений, регламентированной ГОСТ 2.701-84. В следующем занятии мы приведем УГО элементов в надлежащий вид и закончим рисование схемы.

Protel DXP для начинающих

Урок 2

В предыдущей статье мы начали прорисовку принципиальной схемы мультивибратора с использованием символов компонентов из стандартных библиотек. Так как символы, приведенные в поставляемых совместно с программой библиотеках, отличаются от принятых в России условных графических изображений (УГО), первое, что мы сделаем — это отредактируем их.

Юрий Потопов

potapoff@eltn.ru

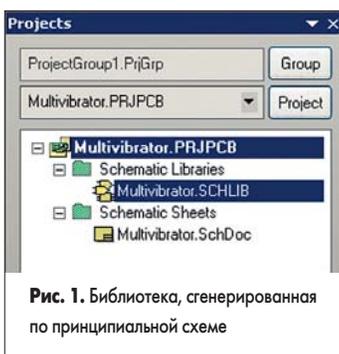


Рис. 1. Библиотека, сгенерированная по принципиальной схеме

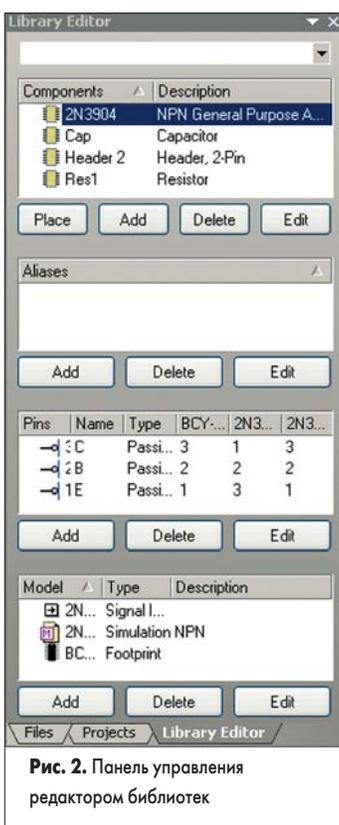


Рис. 2. Панель управления редактором библиотек

Редактирование компонентов

Система Protel DXP имеет очень удобную функцию, позволяющую извлекать информацию о компонентах из проекта и формировать библиотеки. Она особенно полезна, когда вы работаете с проектом, полученным от другого разработчика, использующего собственные библиотеки компонентов, а вам потребовалось отредактировать тот или иной символ. В этом случае вовсе не обязательно требовать исходные библиотеки, а достаточно выполнить всего лишь одну команду Design/Make Project Library.

На вкладке Projects под названием проекта добавится новая категория документов Schematic Libraries, в которой будет присутствовать документ Multivibrator.SCHLIB (рис. 1). Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на имени нового файла, после чего откроется редактор библиотек элементов принципиальных схем, а в нижней части панели управления появится новая закладка Library Editor. Перейдем на панель управления редактором библиотек, щелкнув на ней левой кнопкой мыши.

Здесь присутствуют всего четыре компонента, что соответствует количеству типов используемых элементов (рис. 2). Несмотря на то, что на схеме используются две пары резисторов одного типа, отличающихся друг от друга лишь номиналом, для них в библиотеке сформирован всего один элемент Res1. Ниже в поле Aliases приводится список возможных наименований компонентов данного типа. Ранее в версии Protel 99 SE это называлось группами компонентов, что несколько путало пользователей. Например, отечественными аналогами транзистора 2N3904 являются транзисторы КТ375А и КТ375Б. Именно эти названия необходимо добавить в список Aliases, после чего при поиске компонента с именем КТ375А будет найдена именно наша библиотека с транзистором 2N3904.

Еще ниже располагаются списки выводов редактируемого компонента и назначенные ему топологическое посадочное место и модели.

Изменим символы компонентов так, чтобы они соответствовали требованиям ГОСТ. Начнем с резистора:

1. Выберем на панели управления редактора компонент Res1, символ которого сразу же отобразится на рабочем столе.

2. Настроим видимую сетку на размер клетки 5 мм, что в выбранном нами масштабе 1 мм = 2 дискрета соответствует 10 дискретам. Выполним команду меню Tool/Document Option и в появившемся окне Library Editor Workspace в поле Visible Grid введем число 10.

3. Здесь же настроим минимальный шаг сетки Snap Grid равным 1 дискрету, что соответствует 0,5 мм, и закроем данное окно.

В дальнейшем для изменения шага сетки (введения нового значения) можно пользоваться командой меню View/Grids/Set Snap Grid. Все введенные значения запоминаются, а быстрое циклическое переключение между ними осуществляется с помощью горячей клавиши G. Текущее значение шага сетки отображается в левом нижнем углу экрана.

4. Максимально приблизим существующий рисунок нажатием горячих клавиш CTRL+PageDown.

5. Перейдем в режим рисования полилиний командой меню Place/Line. Курсор примет вид крестика.

6. Нажмем клавишу Tab и в открывшемся окне настроим тип линий (рис. 3). Здесь настраивается стиль линии, толщина и цвет. Зададим толщину линии Small, что в выбранном нами масштабе соответствует 0,5 мм, и стиль Solid (сплошная). Нажмем кнопку ОК.



Рис. 3. Настройка параметров линии

7. Рисовать новый символ начнем рядом со старым. Щелчком левой кнопки мыши зададим первую точку новой линии. Рисовать компоненты надо так, чтобы концы выводов вписывались в узлы видимой сетки с шагом 5 мм, что значительно упростит рисование схемы.

- Сдвинем мышь влево и вторым щелчком левой кнопки мыши зададим первый отрезок. Для завершения рисования отрезка нажмем клавишу Esc или правую кнопку мыши.
- Обратите внимание, что переключение режима рисования (ортогональные линии, 45 градусов, произвольный угол) осуществляется последовательным нажатием клавиши Spacebar в режиме рисования.
- Редактор все еще находится в режиме рисования, поэтому логичным образом нарисуем прямоугольник и линию второго вывода (рис. 4).



Рис. 4. Новый и старый символы резистора

- Выйдем из режима рисования нажатием клавиши Esc или правой кнопки мыши. Далее нам необходимо правильно описать выводы компонента. Так как мы не создаем новый компонент, а правим существующий, во избежание ошибок рекомендуется не удалять имеющиеся выводы, а просто переместить их в нужное место.
- Щелкнем левой кнопкой мыши на одном из выводов старого символа резистора (отрезок черного цвета) и, удерживая ее, переместим на соответствующее место нового символа.
- Аналогичным образом переместим второй вывод.
- Выделим в окне охвата остатки старого символа и нажмем клавишу Delete.
- Сохраним новый символ с помощью команды File/Save.

- Затем отредактируем символ конденсатора:
- Щелкнем левой кнопкой мыши на компоненте Cap в списке на панели управления редактора библиотек.
 - Как описано выше настроим сетки.
 - Войдем в режим рисования, настроим параметры линии и рядом со старым символом нарисуем новый (рис. 5).

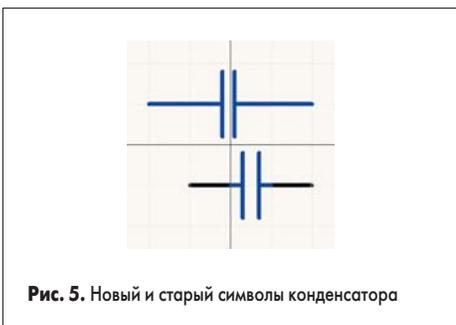


Рис. 5. Новый и старый символы конденсатора

- Переместим выводы старого символа на соответствующие позиции на новом.
- Выделим в окне охвата остатки старого символа и нажмем клавишу Delete.
- Сохраним новый символ с помощью команды File/Save.

- После этого исправим символ транзистора:
- Щелкнем левой кнопкой мыши на компоненте 2N3904 в списке на панели управления редактора библиотек.
 - Как описано выше настроим сетки.
 - Войдем в режим рисования линий, настроим параметры и рядом со старым символом нарисуем новый. Все выводы должны вписываться в сетку с шагом 5 мм.
 - С помощью команды Place/Ellipse войдем в режим рисование окружностей.
 - Нажмем клавишу Tab и в открывшемся окне настроим параметры окружности (рис. 6). Выключим опцию Draw Solid (заливка). Зададим толщину границы Small, что в выбранном нами масштабе соответствует 0,5 мм, горизонтальный и вертикальный радиусы, равные 12 дискретам (6 мм). Нажмем кнопку OK.

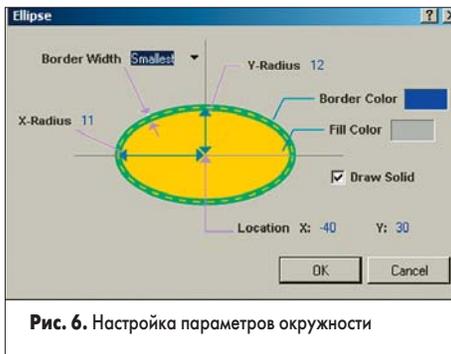


Рис. 6. Настройка параметров окружности



Рис. 7. Новый и старый символы транзистора

- Если окружность не попала в нужное место на рисунке нового символа, переместим ее, удерживая левую кнопку мыши.
- Выделим в окне охвата все элементы старого символа за исключением выводов и нажмем клавишу Delete.

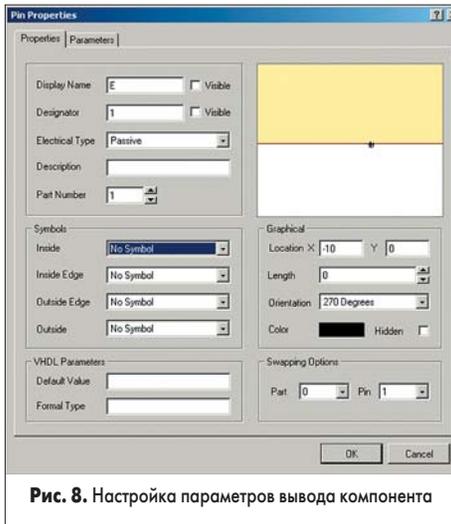


Рис. 8. Настройка параметров вывода компонента

- Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на одном из выводов старого символа. В появившемся окне Pin Properties в поле Length изменим длину вывода на 0 (рис. 8). Вывод при этом вырождается в точку, но это позволит уменьшить размеры символа транзистора и в дальнейшем рисовать более плотные схемы.
- Аналогичным образом изменим все выводы.
- Переместим выводы старого символа на соответствующие позиции на новом.
- Сохраним новый символ с помощью команды File/Save.
- Последним изменим символ разъема, представляющего собой розетку с двумя контактами:
- Щелкнем левой кнопкой мыши на компоненте Header2 в списке на панели управления редактора библиотек.
- Как описано выше, настроим сетки.
- Войдем в режим рисования линий, настроим параметры и рядом со старым символом нарисуем новый (рис. 9). Все выводы должны вписываться в сетку с шагом 5 мм.



Рис. 9. Новый и старый символы разъема

- Щелкнем левой кнопкой мыши на желтом прямоугольнике старого символа разъема и нажмем клавишу Delete.
- Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на одном из выводов старого символа. В появившемся окне Pin Properties в поле Length изменим длину вывода на 10, что будет соответствовать 5 мм.
- Аналогичным образом изменим второй вывод.
- Переместим выводы старого символа на соответствующие позиции на новом.
- Сохраним новый символ с помощью команды File/Save.

Итак, мы изменили все символы компонентов таким образом, чтобы они соответствовали требованиям ГОСТ. Обновим исходную схему, для чего в режиме редактирования библиотек выполним команду меню Tools/Update Schematics. Система выдаст сообщение, что было обновлено 4 элемента на одном листе схемы.

Последнее, что следует исправить — это номиналы конденсаторов. В предыдущей статье мы показали, как правильно присваивать значения номиналов дискретных элементов, чтобы они правильно воспринимались системой моделирования и передавались в редактор печатных плат. Здесь, как и в большинстве подобных программ, допускаются буквенные множители, перечень которых приведен в таблице. Однако в России номинал униполярного конденсатора 20000 пФ или 20 нФ принято обозначать как 0,02. Если мы просто присвоим это значение параметру Value, то это приведет

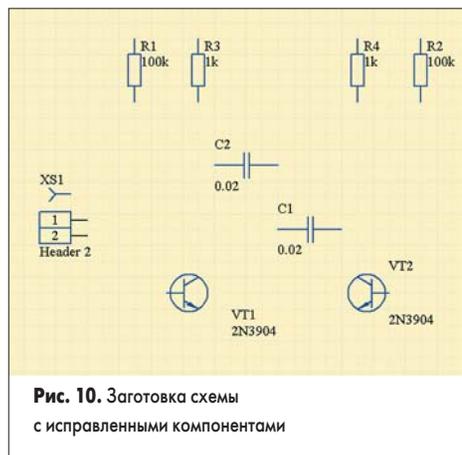


Рис. 10. Заготовка схемы с исправленными компонентами

к ошибкам при моделировании, так как номинал будет воспринят как 0,02 Ф. Для того, чтобы этого не произошло, выполним следующие действия:

1. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на символе конденсатора.
2. В открывшемся окне Component Properties в поле Comment вместо =Value введем значение 0,02.
3. Включим опцию Visible рядом с полем Comment.
4. В списке Parameters list справа выключим опцию Visible у параметра Value.
5. Для сохранения сделанных изменений нажмем кнопку ОК. Теперь у нас два разных параметра, один из которых (Value) передает корректное значение емкости конденсатора в систему моделирования, а другой (Comment) служит для отображения номинала на схеме согласно ГОСТ.
6. Выполним аналогичные действия для второго конденсатора.

Нам повезло, что на схеме используются резисторы с сопротивлением менее 1 МОм. По российским стандартам резисторы, например, 1 МОм обозначаются как 1,0 М, что программой моделирования было бы ошибочно воспринято как 1 мОм. В этом случае нам пришлось бы аналогичным образом перепривести значения атрибута Comment и для резисторов.

Прорисовка связей

После всех выполненных операций мы получим заготовку схемы, показанную на рис. 10. Теперь мы готовы к прорисовке связей:

1. Убедимся, что вся схема отображается в окне редактора схем, для чего выполним

Таблица. Буквенные множители системы Protel

Буквенное обозначение	Множитель
T	10 ¹²
G	10 ⁹
Meg	10 ⁶
K	10 ³
mil	25.4 ⁻⁶
m	10 ⁻³
u (или μ)	10 ⁻⁶
n	10 ⁻⁹
p	10 ⁻¹²
f	10 ⁻¹⁵

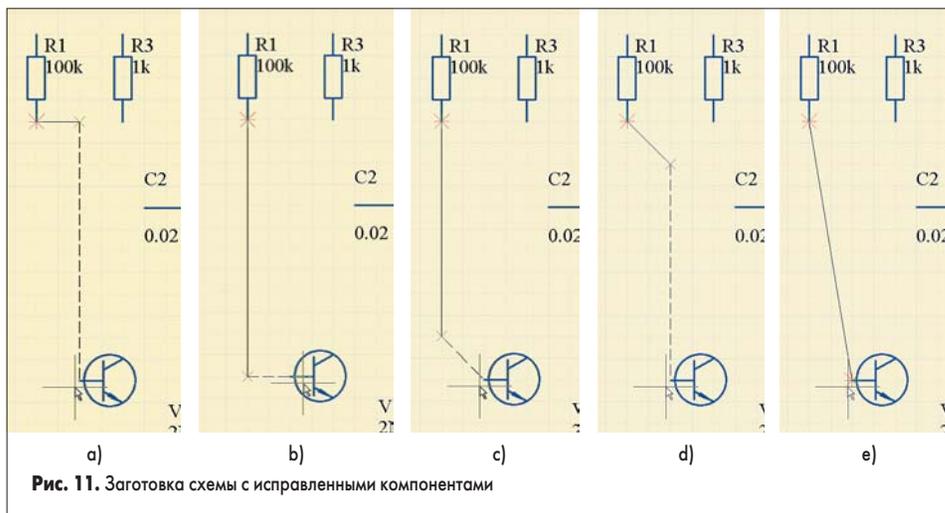


Рис. 11. Заготовка схемы с исправленными компонентами

команду меню View/Fit All Object (горячие клавиши V, F).

2. Сначала соединим нижний вывод резистора R1 с базой транзистора VT1. Выполним команду меню Place/Wire (горячие клавиши P, W). Указатель мыши примет вид крестика.

Обратите внимание, как ведет себя указатель мыши, если перемещать его по листу схемы. Большой крест показывает истинное положение курсора. Маленький наклонный серый крестик следует за указателем мыши, но попадает всегда в узлы сетки Snap Grid, которая у нас установлена в значение 10, что соответствует 5 мм. Если подвести указатель мыши к выводу элемента, то серый крестик превратится в красную звездочку, что означает наличие под указателем мыши электрического объекта: вывода, порта или связи. Функция автоматической привязки к электрическим объектам управляется значением электрической сетки Electrical Grid и значительно облегчает прорисовку больших схем, так как позволяет подвести линию связи точно к нужному выводу. Аналогичная функция имеется и в редакторе печатных плат, где она полностью устраняет любые проблемы одновременного использования компонентов с дюймовым и метрическим шагом выводов.

3. Подведем указатель мыши к нижнему выводу резистора R1. Появится красная звездочка, сигнализирующая о наличии электрического объекта.
4. Выполним щелчок левой кнопкой мыши или нажмем клавишу Enter, чем зададим начало линии.
5. Сдвинем указатель мыши вниз и расположим его рядом с базой транзистора VT1. Это не совсем то, что хотелось бы получить, так как от резистора вправо пошла сплошная горизонтальная линия, показывающая прокладываемый проводник. Пунктирная линия подсказывает нам, как будет проходить следующий сегмент проводника (рис. 11a).
6. Нажмем клавишу Spacebar, после чего режим рисования изменится на изображенный на рис. 11b.

Следует отметить, что редактор схем системы Protel DXP имеет несколько режимов и под режимов прорисовки связей. Переключение ре-

жимов производится одновременным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar, подрежимов — нажатием клавиши Spacebar. Информацию о доступных в режиме прорисовки горячих клавишах можно получить, нажав клавишу F1. На рис. 11 приведены примеры различных режимов рисования: ортогонального (рис. 11a и 11b), под углом 45 градусов (рис. 11c и 11d) и под произвольным углом (рис. 11e).

7. Щелчком левой кнопкой мыши и закрепим конец первой линии.
8. Направим указатель мыши на базу транзистора. Появление красной звездочки сигнализирует нам, что мы нацелены на электрический объект. Еще раз щелчком левой кнопкой мыши и зафиксируем второй сегмент связи.
9. Нажмем клавишу Esc или выполним щелчок правой кнопкой мыши для завершения рисования первой связи. Заметим, что редактор все еще находится в режиме рисования, о чем свидетельствует указатель мыши в виде крестика. Далее следует соединить с только что нарисованной цепью конденсатор C1.
10. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на левом выводе конденсатора C1 и начнем рисовать новую связь.
11. Сдвинем указатель мыши влево и наведем его на ранее созданную цепь. Серый наклонный крестик станет красным, что означает возможность соединения.
12. Щелчком левой кнопкой мыши, чтобы закрепить новый сегмент.
13. Щелчком правой кнопкой мыши или нажмем Esc. В место касания двух связей будет автоматически добавлена точка соединения.
14. Аналогичным образом прорисуем все остальные связи схемы.
15. По окончании рисования нажмем Esc, чтобы выйти из режима рисования.

Цепи и метки цепей

Все нарисованные на схеме линии связи между электрическими объектами в процессе компиляции проекта будут распознаны как цепи, после чего им будет присвоены уникальные имена.

Чтобы в дальнейшем было легче идентифицировать наиболее важные цепи, им можно принудительно присвоить имя с помощью

специальных электрических объектов — меток цепей.

В нашей схеме мультивибратора наиболее важными являются цепь питания +12 В и земля, поэтому мы присвоим им соответствующие названия:

1. Выполним команду меню Place/Net Label. К указателю мыши окажется «прилипшим» небольшой прямоугольник.
2. Нажмем клавишу Tab, после чего откроется окно редактирования параметров метки цепи (рис. 12).

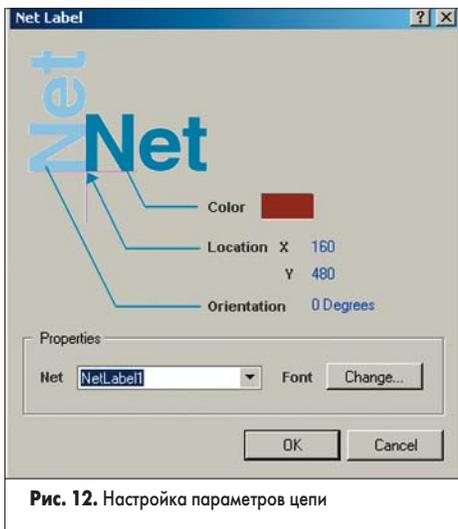


Рис. 12. Настройка параметров цепи

3. Введем в поле Net имя цепи 12V. Больше никаких настроек менять не надо, поэтому просто закроем это окно, нажав кнопку ОК. Обратите внимание, что точка привязки метки цепи обозначена серым наклонным крестиком, который меняет цвет на красный, если метка располагается над другим электрическим объектом, например, линией связи.
4. Расположим метку над самой верхней цепью и щелкнем левой кнопкой мыши. Рядом с цепью появится надпись 12V, а редактор останется в режиме размещения.
5. Нажмем клавишу Tab и присвоим второй метке имя GND. Нажмем кнопку ОК.
6. Разместим вторую метку цепи над самой нижней цепью.
7. Сохраним результат с помощью команды File/Save (горячие клавиши F, S).

Итак, мы получили принципиальную схему, показанную на рис. 13 и соответствующую основным требованиям ГОСТ. На этом



Рис. 13. Законченная принципиальная схема мультивибратора

процесс прорисовки схемы можно считать законченным, но мы рекомендуем выполнить еще одно упражнение, которое поможет научиться перемещать объекты на схемах.

Принципы перемещения объектов в редакторе схем системы Protel DXP сильно отличаются от применяемых в других популярных программах, например, P-CAD 4.5 или P-CAD 2001, что поначалу вызывает недовольство пользователей. Однако спустя некоторое время они начинают работать весьма эффективно. Попробуем переместить один из элементов:

1. Наведем указатель мыши на транзистор VT1 и нажмем левую кнопку мыши.
2. Удерживая кнопку, сдвинем мышшь чуть вправо. Пунктирное изображение транзистора будет перемещаться за мышью (рис. 14a). Если отпустить левую кнопку мыши, то транзистор переместится в новое место, а присоединенные к нему ранее связи останутся на прежних местах. Такой способ редактирования в системе Protel DXP называется перемещением (Move). Если во время перемещения нажать клавишу Spacebar, транзистор окажется повернут на 90 градусов. Нажатие клавиш X и Y вызовет зеркальное отображение объекта.
3. Отменим перемещение транзистора командой меню Edit/Undo (горячие клавиши CTRL+Z).
4. Нажмем клавишу CTRL и, удерживая ее, попробуем переместить транзистор как описано выше. Поведение редактора схем изменилось (рис. 14b). Такой режим редактирования в системе Protel DXP называется перетаскиванием (Drag).

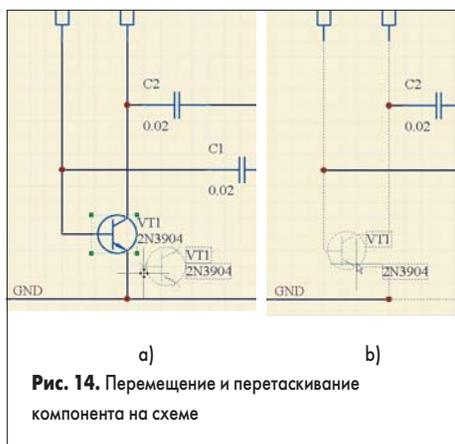


Рис. 14. Перемещение и перетаскивание компонента на схеме

Здесь также работают поворот и зеркальное отображение, но пользоваться этими функциями надо очень аккуратно, так как связи остаются присоединенными к соответствующим выводам, что при повороте может вызвать их наложение.

5. Попробуем выполнить аналогичные операции с сегментом линии связи. При работе со связями редактор схем ведет себя точно также (рис. 15a и 15b).
6. Если щелкнуть левой кнопкой мыши в некоторой точке связи и, удерживая ее, нажать клавишу Insert, то к линии будет добавлена точка излома (рис. 15c).
7. Редактировать связи можно перемещением специальных маркеров-манипуляторов (небольшие зеленые квадратики), появляющихся на концах и в точках излома связей при их выделении мышью.

Казалось бы, мы уже можем начинать создавать печатную плату, однако прежде предстоит выполнить еще один важный этап — компиляцию проекта. Именно после выполнения этой операции простой рисунок схемы превратится в логически заверченный проект электронного устройства, полностью готовый в дальнейшей обработке.

Основной частью компиляции проекта является его верификация, представляющая собой выявление наиболее грубых ошибок, например, неприсоединенные выводы, замыкания, потерянные цепи, символы или даже листы. Для схем, подобных нашей, состоящих из одного листа с малым количеством элементов, этот этап может показаться ненужным. Но для сложных многолистовых проектов с множеством цифровых элементов, где вероятность ошибок растет в геометрической прогрессии, автоматическая проверка просто незаменима.

Процесс выявления и исправления ошибок может занять несколько итераций, после чего список соединений передается в редактор печатных плат. В системе Protel DXP целостность проекта контролируется посредством механизма отслеживания внесенных изменений (ECO), ключевым элементом которого является специальный модуль программы — компаратор. Заметим, что это очень важное отличие новой версии пакета Protel DXP от предыдущей, где вся информация хранилась в единой базе данных, а внесенные изменения контролировались двунаправленным синхронизатором проекта.

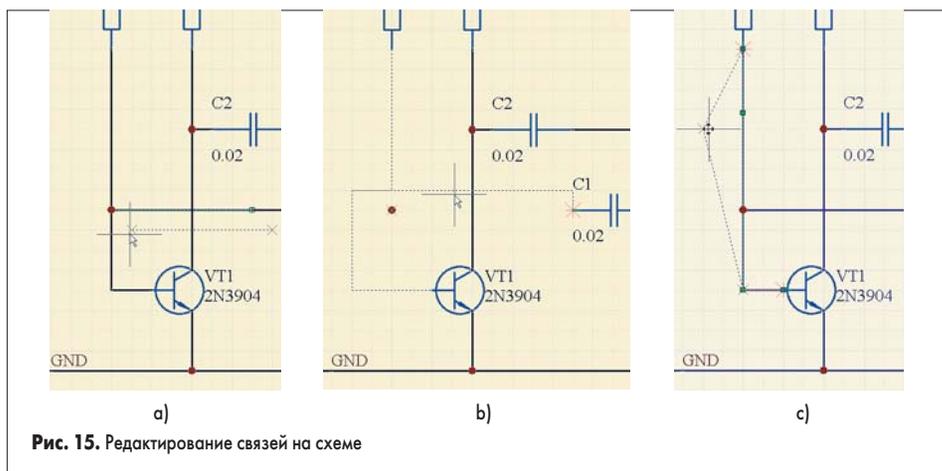


Рис. 15. Редактирование связей на схеме

Настройка параметров проекта

На данном этапе задаются параметры проверки правил электрических соединений, настраиваются компаратор проекта и генератор отчетов о внесенных изменениях (ECO), а также любые другие параметры, относящиеся к проекту в целом. Все перечисленные настройки выполняются в диалоговом окне Option for Project, вызываемом командой меню Project/Project Options. Форматы выходных документов проекта, например, распечаток, списков соединений, управляющих файлов для сверления, изготовления фотошаблонов, тестирования и сборки задаются в диалоговом окне Outputs for Project, работу с которым мы рассмотрим позднее.

Итак, выполним команду меню Project/Project Options, после чего на экране появится окно, изображенное на рис. 16.

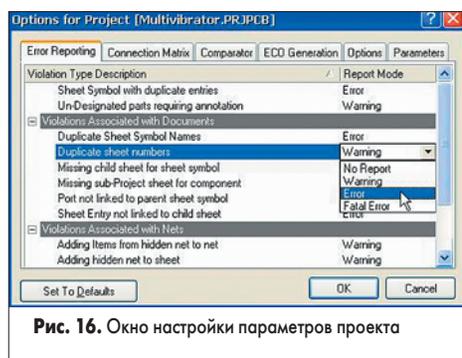


Рис. 16. Окно настройки параметров проекта

Параметры проверки правил электрических соединений задаются на двух первых вкладках этого диалогового окна Error Reporting и Connection Matrix.

На вкладке Error Reporting перечислено большинство возможных ошибок, связанных с построением проекта и прорисовкой схем. Все нарушения разбиты на категории, ассоциированные с определенными элементами проекта: документами, компонентами, цепями, шинами, параметрами и даже шагом сетки.

Каждому нарушению может быть присвоен один из трех уровней: фатальная ошибка, ошибка, предупреждение. Уровень No Report позволяет исключить данное нарушение из отчета. Уровень критичности ошибок подчеркивается цветом. Для нашего проекта мы будем использовать настройки по умолчанию, которые можно восстановить, нажав кнопку Set To Default.

На вкладке Connection Matrix задаются правила проверки электрических соединений (ERC). Все правила представлены в виде матрицы, по вертикальным и горизонтальным осям которой приведены различные типы электрических объектов (выводов, портов, входных листов). Разноцветные квадраты, расположенные на пересечении определенной строки и столбца определяют уровень критичности соединения соответствующих объектов (рис. 17). Зеленый цвет (No Report) сигнализирует о том, что соединение допускается и ошибки нет. Желтый соответствует предупреждению, например, когда в схеме присутствует ненагруженный входной вывод (столбец Unconnected и строка Input Pin). Оранжевый и красный описывают простую и фатальную ошибки, на-

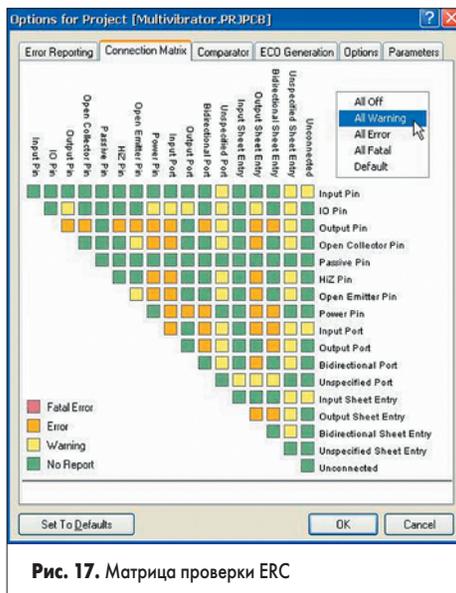


Рис. 17. Матрица проверки ERC

пример, соединение выходного вывода компонента (строка Output Pin) с выводом с открытым коллектором (столбец Open Collector Pin).

Изменение уровня критичности ошибки производится последовательным перебором четырех возможных значений щелчком левой кнопки мыши на нужном квадратике.

Наша схема содержит резисторы, конденсаторы и разъем, имеющие только пассивные выводы (Passive Pin), а также транзисторы с выводами типа Input Pin. Настроим матрицу таким образом, чтобы она выявляла ненагруженные пассивные выводы. Для этого найдем пересечение строки Passive Pin и столбца Unconnected. Зеленый квадрат сигнализирует о том, что такое состояние по умолчанию нарушением не является. Выполним один щелчок левой кнопкой мыши на данном квадратике, после чего его цвет изменится на желтый, что соответствует предупреждению.

Настройка компаратора

Компаратор представляет собой модуль, который отслеживает внесенные в проект изменения и сигнализирует о них. Настройка компаратора выполняется на вкладке Comparator диалогового окна Option for Project. В нашем достаточно простом проекте отсутствует иерархия, поэтому в качестве управления можно выключить некоторые опции, относящиеся к проверке иерархического построения проекта.

1. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на вкладке Comparator и найдем в списке

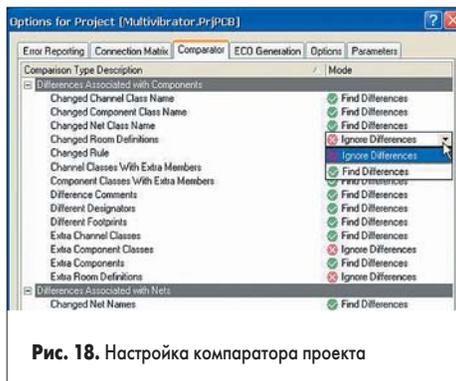


Рис. 18. Настройка компаратора проекта

строки Changed Room Definition (изменения в описаниях областей размещения), Extra Room Definition (новые области размещения), Extra Component Classes (новые классы компонентов).

2. Напротив каждой из этих строк в столбце Mode в выпадающем списке выберем режим Ignore Differences (игнорировать различия), как показано на рис. 18.
3. Нажмем кнопку ОК, чтобы сохранить сделанные изменения.

Мы выполнили все подготовительные операции и полностью готовы к компиляции проекта.

Компиляция проекта

В процессе компиляции будет выполнена проверка всех настроек, сделанных нами ранее в диалоговом окне Option for Project. Запустим компиляцию проекта с помощью команды меню Project / Compile PCB Project.

Скомпилированный проект будет показан на панели Compiled (рис. 19), а возможные ошибки — на панели Messages, которая включается одноименной кнопкой в нижней части экрана. Если схема нарисована корректно, то эта панель останется пустой. Если ошибки все же найдены, то начинается итерационный цикл отладки проекта.

Для понимания того, как выполняется отладка проекта в системе Protel DXP, мы спе-

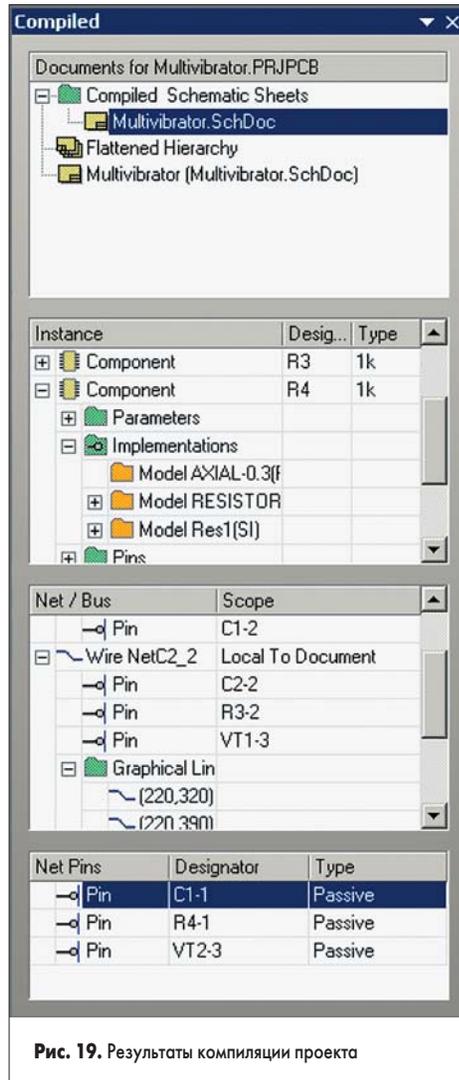


Рис. 19. Результаты компиляции проекта

циально введем ошибку, которая впоследствии будет выявлена и исправлена.

- Щелчком левой кнопки мыши на документе Multivibrator.SchDoc откроем его для редактирования.
- Наведем указатель мыши на связь, соединяющую левый вывод конденсатора C1 с резистором R1 и транзистором VT1, и щелкнем один раз левой кнопкой мыши. Линия окажется выделенной, о чем свидетельствуют небольшие цветные маркеры на ее концах.
- Нажмем клавишу Delete и удалим эту линию, в результате чего один из выводов конденсатора окажется неподключенным.
- Повторно выполним компиляцию проекта (команда Project/Compile PCB Project), чтобы выявить эту ошибку. На панели Messages появятся три сообщения об одной и той же ошибке, которая была выявлена на разных этапах компиляции.
- Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на строке с описанием ошибки

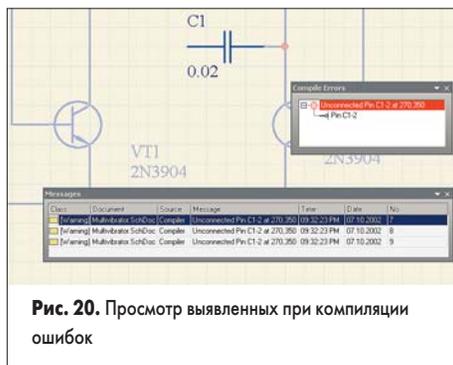


Рис. 20. Просмотр выявленных при компиляции ошибок

- на панели Messages. Появится панель Compile Errors (ошибки компиляции), содержащая подробное описание данной ошибки (рис. 20).
- Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на значке неприсоединенного вывода на панели Compile Errors. Система автоматически изменит масштаб таким образом, чтобы наглядно отобразить проблемный элемент. Обратите вни-

мание, что все остальные элементы схемы будут маскированы, то есть они будут отображаться тусклыми цветами. Уровень маскирования неактивных объектов регулируется движком Mask Level, вызываемым нажатием одноименной кнопки в правом нижнем углу экрана.

- Исправим найденную ошибку. В нашем случае это проще всего сделать с помощью команды меню Edit/Undo (горячие клавиши E, U). Перед этим надо перейти в редактор схем, щелкнув мышью в любой точке схемы.
- Еще раз выполним компиляцию проекта и убедимся, что ошибок нет.
- Изменим масштаб, чтобы было видно всю схему, с помощью команды View/Fit All Object (горячие клавиши V, F) и сохраним схему.

Итак, мы полностью завершили проектирование схемы и подготовились к проектированию печатной платы, к которому мы приступим на следующем занятии. ■

Protel DXP для начинающих

Урок 3

Два предыдущих урока были целиком посвящены разработке принципиальной схемы транзисторного мультивибратора. В конечном итоге мы получили полностью верифицированную и скомпилированную принципиальную схему, готовую к проектированию печатной платы.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Создание заготовки чертежа печатной платы

Прежде чем передавать информацию из редактора схем в редактор печатных плат, необходимо создать заготовку печатной платы, имеющую как минимум одну внешнюю границу. Самым простым способом создания новой печатной платы в системе Protel DXP является использование специального мастера PCB Wizard, который позволяет пользователю выбрать заготовленный заранее стандартный шаблон или создать собственный шаблон с оригинальными настройками.

Итак, приступим:

1. Создадим новый документ, который будет содержать чертеж печатной платы. Для этого щелкнем левой кнопкой мыши по опции PCB Board Wizard, расположенной в секции New from Template в самом низу панели Files.
2. Откроется самое первое диалоговое окно с приглашением. Для продолжения нажмем кнопку Next.
3. В следующем окне нам будет предложено выбрать систему единиц измерения, в нашем случае это метрическая система мер. Нажмем кнопку Next. Отметим, что редактор печатных плат системы Protel DXP одинаково хорошо работает как с метрической, так и с дюймовой системой мер. Переключение системы единиц может быть выполнено в любой момент работы над проектом с помощью горячей клавиши Q. Более того, Protel DXP имеет ряд специальных функций, упрощающих работу с компонентами, имеющими разный шаг между выводами, в том числе и в разных системах единиц. Позже мы рассмотрим этот вопрос подробнее.
4. Далее нам будет предложен список существующих шаблонов стандартных промышленных печатных плат, но так как мы собираемся создавать нестандартную плату, выберем Custom — самую первую строку в этом списке, и нажмем кнопку Next.
5. Появится окно, в котором требуется задать форму и размеры будущей платы (рис. 1). В левой части окна в списке Outline Shape выберем опцию Rectangular (прямоугольная), а в текстовые поля Width (ширина) и Height (высота) введем 50 мм.

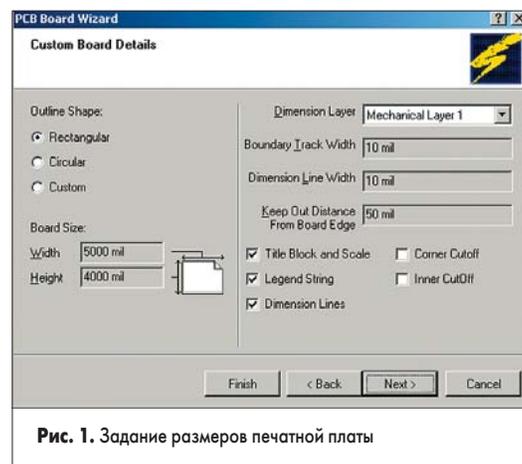


Рис. 1. Задание размеров печатной платы

- Обратите внимание, что при переходе из одного поля в другое происходит автоматический пересчет заданных в миллиметрах размеров в мили (тысячные доли дюйма), несмотря на то, что вначале мы выбрали метрическую систему мер. Не следует этого пугаться, так как это говорит только о том, что внутренняя система единиц мастера PCB Wizard дюймовая.
6. В правой части зададим толщину линий прорисовки границы платы (Boundary Track Width) и размеров (Dimension Line Width) равную 0,1 мм, и отступ от края платы (Keep out Distance From Board Edge), равный 2 мм. Выключим опции Title Block & Scale, Legend String и Dimension Lines, после чего нажмем кнопку Next.
 7. Следующее окно предложит выбрать число сигнальных слоев, а также внутренних слоев питания и заземления. Наша плата будет иметь только два сигнальных слоя, поэтому в поле Signal Layers следует ввести число 2, а в поле Power Planes — число 0. Для продолжения нажмем кнопку Next.
 8. Далее следует определить тип переходных отверстий. Так как мы проектируем простую двухстороннюю плату, то выберем тип Thru-hole Vias (сквозные переходные отверстия). Заметим, что система Protel DXP позволяет использовать на многослойных платах «слепые» и «глухие» переходные отверстия, в том числе и по технологии Microvia. Нажмем кнопку Next.

9. В следующем окне необходимо выбрать преобладающую технологию монтажа компонентов (поверхностный или монтаж в отверстия) и стиль трассировки. Выберем опцию Thru-hole components (монтаж в отверстия) и допустимое число проводников между смежными контактными площадками. Нажмем кнопку Next.
10. На следующем шаге от нас требуется задать минимально допустимые размеры объектов на печатной плате, которые будут преобразованы мастером в правила проектирования (рис. 2). Здесь задаются минимально допустимые: ширина проводника (Track Size), диаметр площадки переходного отверстия (Via Width), диаметр переходного отверстия (Via Hole Size) и зазор между проводниками (Clearance). Для простоты, оставим эти значения заданными по умолчанию. Нажмем кнопку Next.

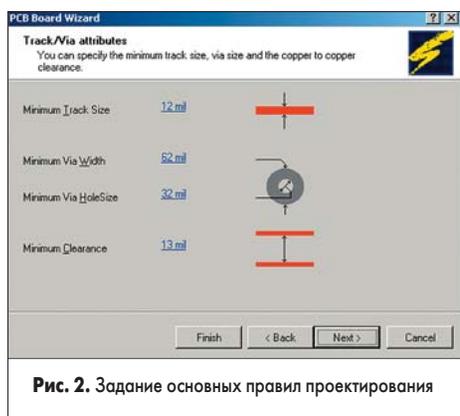


Рис. 2. Задание основных правил проектирования

11. Последнее диалоговое окно сообщает нам, что создание заготовки платы завершено. Если необходимо внести какие-либо коррективы в заданные значения, то с помощью кнопки Back можно вернуться в нужное окно. В противном случае нажмем кнопку Finish.
12. Мастер PCB Wizard передаст все сделанные установки в редактор печатных плат, в котором откроется новый документ с именем PCB1.PcbDoc. Этот документ содержит белый лист чертежа платы и заготовку платы — черный прямоугольник с сеткой (рис. 3). Чтобы скрыть белый лист и оставить в окне редактора только плату, необходимо выключить опцию Design Sheet в диалоговом окне Board Options, вызываемом командой меню Design/Options.
13. Измените масштаб чертежа с помощью команды View/Fit Board (горячие клавиши V, F).
14. Новый документ будет автоматически добавлен в проект и появится на вкладке Projects в категории PCBs (печатные платы). Переименуем его, для чего выполним команду меню File/Save As. Укажем место на диске, где будет храниться файл, и присвоим ему имя Multivibrator.PcbDoc.

Добавление существующего чертежа платы в проект

Если вы хотите добавить в проект чертеж схемы, который ранее был открыт на панели Projects как свободный (Free Document), необ-

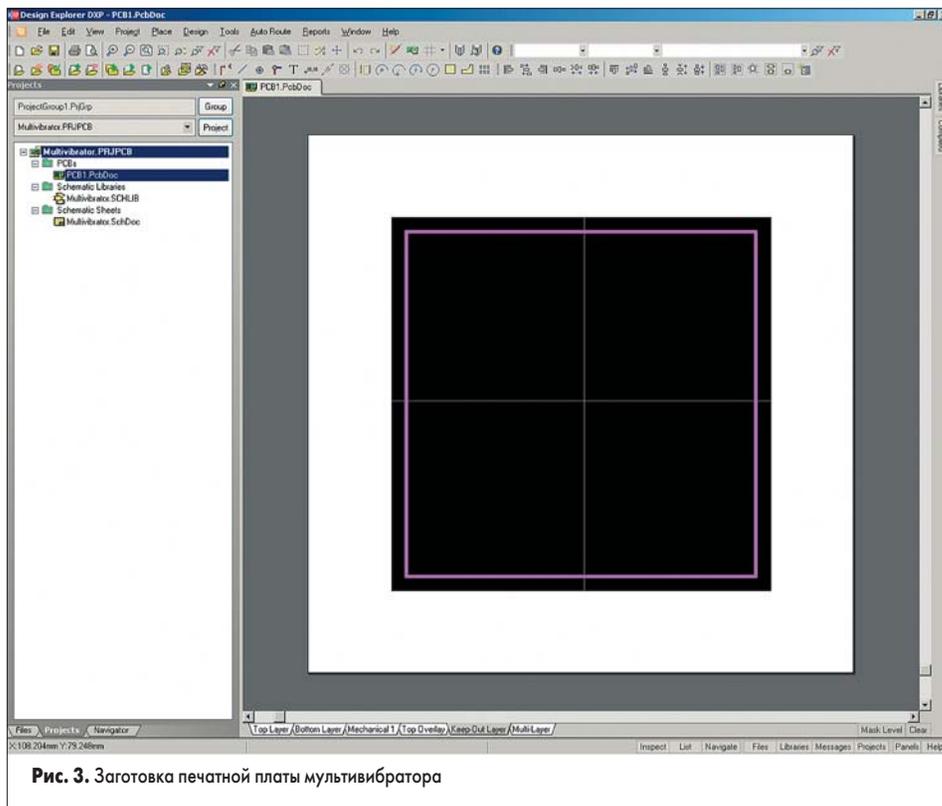


Рис. 3. Заготовка печатной платы мультивибратора

ходимо выполнить на нем щелчок правой кнопкой мыши, в появившемся меню выбрать команду Add to Project. Чертеж окажется в категории PCBs указанного проекта.

Передача информации о проекте в редактор печатных плат

Перед выполнением этой операции рекомендуется проверить наличие всех необходимых библиотек, как символов, так и топологических посадочных мест. Так как для прорисовки схемы мы использовали элементы из стандартных интегрированных библиотек, то никаких проблем быть не должно. На предыдущем занятии мы полностью скомпилировали и отладили наш проект, поэтому можем смело загружать его в редактор печатных плат. В системе Protel DXP эта операция выполняется непосредственно из редактора схем с помощью команды Update PCB. В отличие от системы P-CAD 2001 никакого файла списка соединений при этом не создается — система оперирует отчетом о внесенных изменениях (ECO), генерируемым компаратором проекта.

Итак, для передачи проектной информации из редактора схем в редактор печатных плат: 1. Выполним команду меню Design/Update PCB, после чего откроется диалоговое окно Engineering Change Order.

2. Нажмем кнопку Validate Changes (принять изменения). В левой части Check столбца Status напротив каждой записи появится зеленый значок с «галочкой».

Если система обнаружит ошибки, например, в библиотеке будет отсутствовать нужное топологическое посадочное место, то напротив соответствующей записи появится значок ошибки. В этом случае следует закрыть окно Engineering Change Order и проверить наличие сообщений об ошибках на панели Messages и устранить их.

3. Нажмем кнопку Execute Changes, после чего начнется операция передачи информации. По мере ее выполнения напротив каждой записи в правой части Done столбца Status будет появляться зеленый значок с «галочкой».

4. После завершения этой операции можно сформировать отчет о внесенных изменениях в удобном для печати виде, для чего следует нажать кнопку Report Changes, но в общем случае в этом нет необходимости, так как данный отчет нигде в проекте больше применяться не будет.

5. Нажмем кнопку Close. Система переключится в редактор печатных плат, в котором на пустой чертеж будут добавлены все элементы мультивибратора (рис. 4).



Рис. 4. Результат передачи проекта в редактор печатных плат

Можно приступить к размещению компонентов и трассировке платы.

Настройка проекта печатной платы

Прежде чем приступить к разводке платы, необходимо выполнить ряд установок: настроить сетки, определить стек слоев и задать правила проектирования.

Сетки

Начнем с установки сеток. Все объекты на чертеже печатной платы прорисовываются в узлы сетки — Snap Grid. Обычно эта сетка выбирается кратной минимальному расстоянию между соседними выводами компонента, чтобы все они попадали в узлы сетки, а между

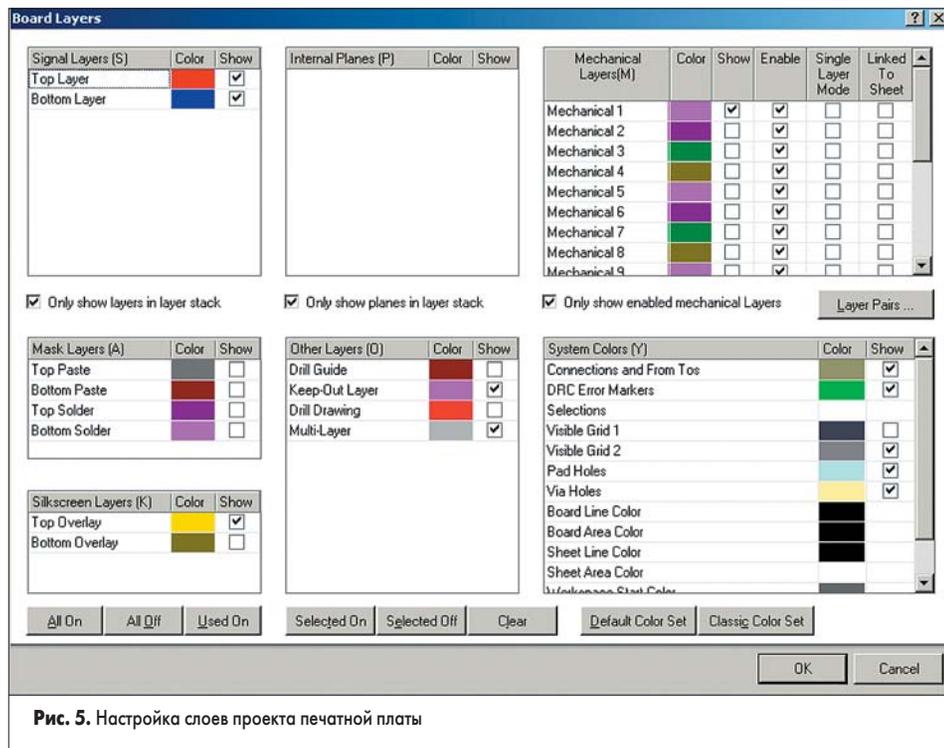


Рис. 5. Настройка слоев проекта печатной платы

ними можно было проложить заданное количество проводников.

В других системах проектирования, как правило, проблемы начинаются, если на одной плате используются топологические посадочные места с метрическим и дюймовым шагом выводов. Редактор печатных плат системы Protel DXP полностью лишен этого недостатка, так как имеет так называемую электрическую сетку — Electrical Grid, задающую некоторую окрестность вокруг электрического объекта (конца проводника, контактной площадки, переходного отверстия), попадая в которую указатель мыши притягивается точно к его центру независимо от установок сетки — Snap Grid.

Для удобства размещения компонентов существует еще одна сетка — Component Grid, а сетки Visible Grid облегчают ориентацию по чертежу.

1. Выполним команду меню Design/Options (горячие клавиши D, O), после чего откроется диалоговое окно Board Options.
2. Установим значения шага сеток Snap X, Snap Y, Component X и Component Y равными, например, 1 мм. Впоследствии мы всегда сможем изменить это значение.
3. Установим значение электрической сетки Electrical Grid немного меньшим, чем шаг сетки Snap Grid, например, 0,8 мм.
4. Для двух видимых сеток Visible Grid установим значения 1 мм и 10 мм, что позволит нам работать в редакторе схем как на обычной миллиметровой бумаге.
5. Сохраним сделанные изменения, нажав кнопку ОК.
6. Чтобы видимая сетка была привязана к границам платы, расположим точку начала координат в левом нижнем углу платы, для чего выполним команду меню Edit/Origin/Set (горячие клавиши E, O, S).
7. Указатель мыши примет вид крестика, его необходимо нацелить в левый нижний угол платы.

8. Увеличим изображение нескольким последовательными нажатиями клавиши Page Up, чтобы можно было попасть точно в гол платы.

9. Щелкнем левой кнопкой мыши и вернем изначальный масштаб нажатием горячих клавиш V, D.

Далее настроим редактор печатных плат:

1. Выполним команду меню Tools/Preferences (горячие клавиши T, P), после чего откроется диалоговое окно System Preferences.
2. На вкладке Options в разделе опций редактирования (Editing Option) включим опцию Snap to Center. В этом случае при перемещении компонента указатель мыши будет притягиваться к опорной его точке.
3. Перейдем на вкладку Display и в разделе Show (отображать) выключим опции Show Pad Nets, Show Pan Numbers и Via Nets. В разделе Draft Thresholds (порог отображения) в поле String укажем значение 4 пикселя, что позволит упростить прорисовку текстовых надписей при изменении масштаба просмотра.

Определение стека слоев

В нижней части окна редактора печатных плат можно наблюдать несколько вкладок, соответствующих определенным в проекте слоям. Настройка слоев производится в диалоговом окне Board Layers (рис. 5), вызываемом

командой меню Design/Board Layers (горячая клавиша L). Здесь задаются: имена слоев, цвет расположенных на них объектов и режим отображения. Выключим все неиспользуемые слои нажатием кнопки Used On. В нашем проекте останутся включенными только три слоя: Keep Out (контур платы), Top Overlay (контур компоненты) и Multi-Layer (контактные площадки).

Всего в редакторе печатных плат системы Protel DXP предусмотрено три типа слоев: электрические, механические и специальные. На плате может быть до 32 сигнальных слоев и до 16 внутренних слоев питания и заземления. Их настройка осуществляется в диалоговом окне Layer Stack Manager. Для размещения различной вспомогательной информации (размеры, таблицы, служебные метки и надписи) используются механические слои, которых может быть не более 16. Содержимое механических слоев может быть выведено в Gerber-файлы наряду с информацией из электрических слоев. Специальные слои используются для размещения служебной информации, например, надписей шелкографией, различных масок, границ областей трассировки и т. д.

Наш относительно простой проект может быть реализован на обычной одно- или двухсторонней плате. В случае необходимости изменения конфигурации электрических слоев командой меню Design/Layer Stack Manager вызывается окно Layer Stack Manager (рис. 6).

Настройка правил проектирования

Процесс работы в редакторе печатных плат системы Protel DXP регламентируется набором правил проектирования, четко оговаривающих все аспекты размещения проводников и компонентов. Все автоматические операции (авторазмещение, автотрассировка) производятся в строгом соответствии с этими правилами. Выполняемые вручную операции (например, интерактивная трассировка или перемещение проводников) контролируются постоянно, поэтому любое неправильное действие мгновенно отображается как нарушение. Такой подход дает возможность разработчику максимально сконцентрироваться на проекте и не отвлекаться на мелочи.

Все правила проектирования, учитываемые в редакторе печатных плат, сгруппированы в 10 категорий. Представленные в одной категории правила отличаются по типу, причем нет никаких ограничений на использование файлов одного типа. В этом случае

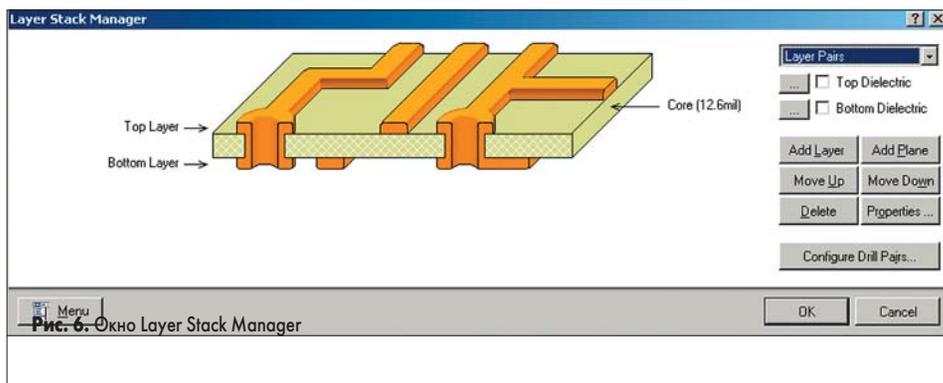


Рис. 6. Окно Layer Stack Manager

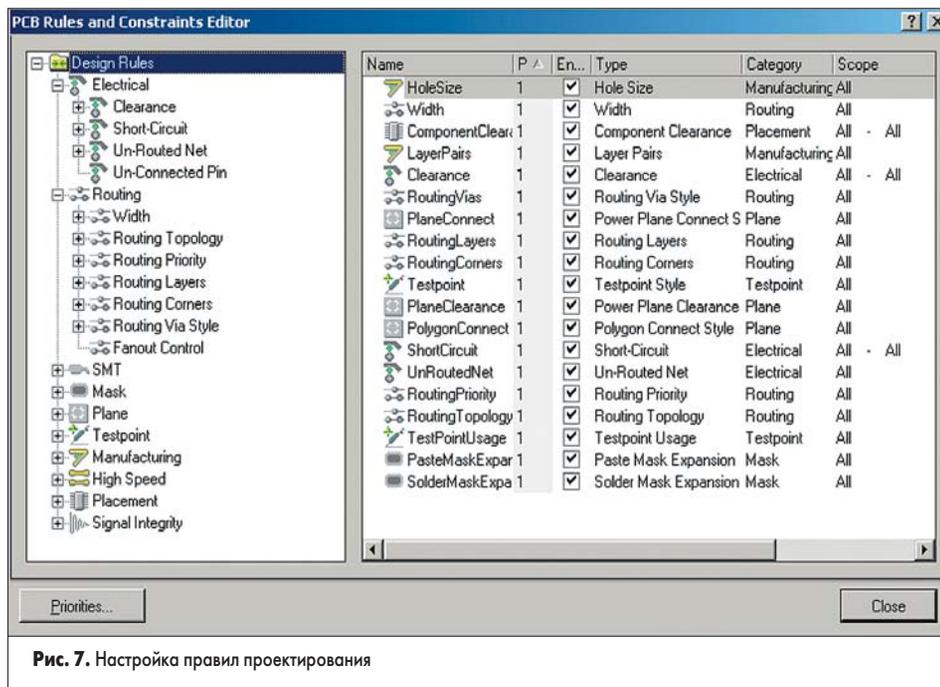


Рис. 7. Настройка правил проектирования

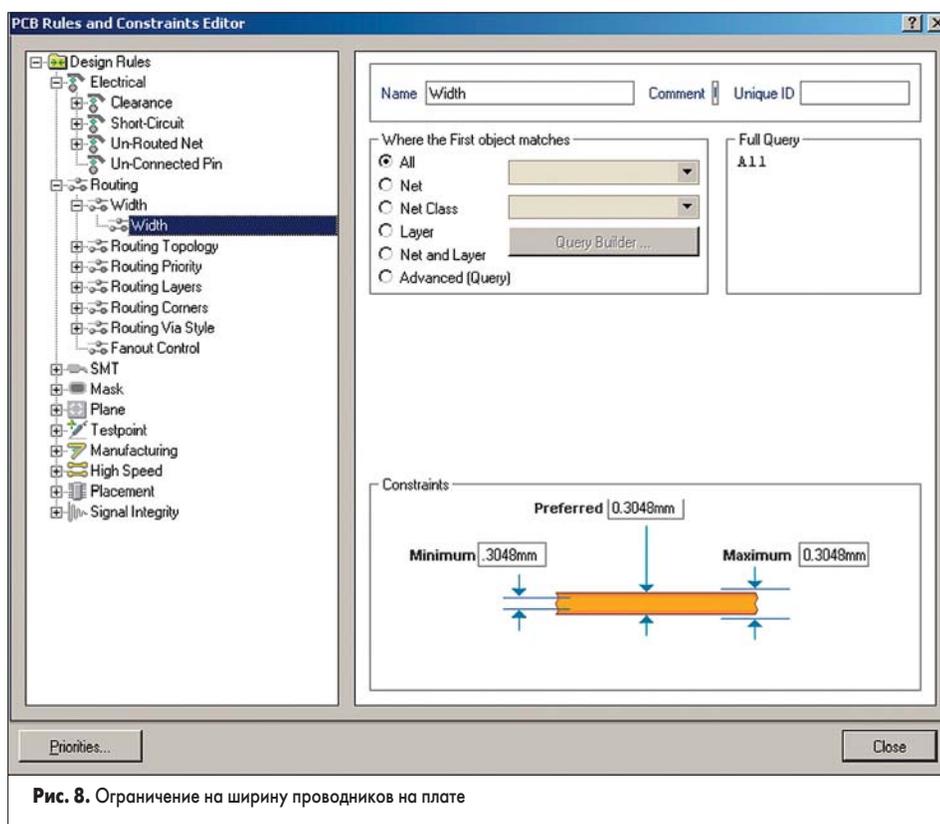


Рис. 8. Ограничение на ширину проводников на плате

приоритет правил определяется областью действия, а на случай перекрытия областей действия разных правил одного типа существуют четкие указания по разрешению подобных конфликтов.

Такая система кажется излишне запутанной, но она задает четкие логические критерии управления полуавтоматического или автоматического проектирования плат. Очень важно научиться правильно задавать наборы правил проектирования, так как этот процесс составляет примерно половину объема работ над проектом.

Наш пример относительно прост, но и в нем уже присутствует некоторый создаваемый по умолчанию набор правил проектирования, который мы в качестве упражнения

дополним правилом, оговаривающим специфическую ширину проводников цепей питания.

1. В редакторе плат выполним команду меню Design/Rules (горячие клавиши D, R).
2. Откроется диалоговое окно PCB Rules and Constraints Editor. Все десять категорий правил проектирования отражаются в списке слева в виде древовидной иерархической структуры.
3. Щелкнем левой кнопкой мыши на самой верхней строчке в этом списке (Design Rules). В списке справа будут перечислены абсолютно все заданные в проекте правила (рис. 7).
4. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на категории Routing (правила,

учитываемые при трассировке), чтобы раскрыть список имеющихся здесь типов.

5. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на типе правил Width (ширины проводников), чтобы показать все заданные по умолчанию правила. Сейчас здесь имеется только одно правило Width.
6. Щелкнем на нем один раз левой кнопкой мыши. В правой части окна появится наглядное описание данного правила (рис. 8), созданного мастером PCB Wizard.
7. Переименуем это правило, для чего в поле Name справа введем новое имя «Все проводники». О том, что данное правило относится ко всем проводникам, сигнализирует включенная в поле Where the First object matches опция All. В поле справа Full Query отображается описание этой области действия правила в виде запроса.
8. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на дереве правил слева и в появившемся всплывающем меню выберем команду New Rule, после чего в списке появится новое правило Width.
9. Щелкнем левой кнопкой мыши на этом правиле, чтобы войти в режим его редактирования.
10. В поле Name введем новое имя «Цепи питания».
11. В поле задания области действия правила выберем опцию Net, а в выпадающем списке напротив ее выберем цепь 12V. В поле Full Query появится описание запроса InNet('12V').
12. Для добавления к этой области действия еще одной цепи будем использовать редактор запросов, для чего выберем опцию Advanced (Query) и нажмем ставшую активной кнопку Query Builder. Появится диалоговое окно Query Helper.

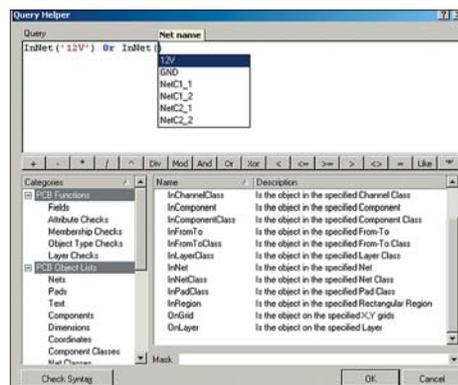


Рис. 9. Задание области действия правила проектирования через мастер запросов

13. Щелкнем указателем мыши справа от текста InNet('12V') и нажмем кнопку Or (Или).
14. В списке слева внизу щелкнем на категории действий Membership Check (проверка принадлежности). В поле справа откроется список доступных функций проверки принадлежности.
15. Дважды щелкнем левой кнопкой мыши на операторе InNet. В поле конструктора запросов после оператора Or появится функция InNet с выпадающим списком, позволяющим выбрать нужную цепь.

Таблица. Часть 1

Категория	Тип	Описание
Electrical (электрические)	Clearance (ограничение зазора между проводниками)	Определяет минимально допустимый зазор между любыми двумя объектами на сигнальном слое.
	Short-Circuit (короткозамкнутые цепи)	Проверяет наличие короткого замыкания между примитивами различных цепей.
	Un-Routed Net (неразведенные цепи)	Проверяет статус завершения всех цепей, попавших в указанную область. Если трассировка некоторой цепи выполнена не до конца, то каждая незаконченная часть цепи (sub-net) заносится в список, где также указывается коэффициент завершения, рассчитываемый как отношение выполненного числа соединений к полному числу в процентах.
	Un-Connected Pin (неприсоединенные выводы)	Служит для выявления выводов, не соединенных с проводниками на плате.
Routing (учитываемые при трассировке)	Width (ограничение ширины проводников)	Определяет минимальную, максимальную и рекомендуемую ширину проводников и дуг на сигнальном слое.
	Routing Topology (топология трассировки)	Определяет порядок или образец соединения выводов проводниками. По умолчанию редактор печатных плат располагает соединения между выводами таким образом, чтобы полная длина всех соединений была минимальной. Специфические требования могут накладываться на отдельные цепи по нескольким причинам: для высокоскоростных схем, где отражения сигналов должны быть минимизированы, применяется последовательная топология или «цепочка»; для цепей заземления может быть использована топология типа «звезда», что гарантирует наличие общей точки для всех проводников.
	Routing Priority (приоритет трассировки)	Данное правило присваивает цепи приоритет трассировки. Самый высокий приоритет равен 100, самый низкий — 0.
	Routing Layers (слои трассировки)	Определяет слои, которые будут использоваться при автотрассировке.
	Routing Corners (углы изгиба проводников)	Определяет стиль излома проводников, используемый при автотрассировке.
	Routing Via Style (стиль переходных отверстий)	Определяет диаметр пята металлизации и диаметр круглого переходного отверстия.
	Fanout Control	Определяет стиль подведения проводников к контактным площадкам компонентов с большим числом выводов.
SMT (технология поверхностного монтажа)	SMD to Corner (минимальное расстояние до изгиба)	Определяет минимальное расстояние от центра контактной площадки компонента для поверхностного монтажа до ближайшего изгиба подключенного к ней проводника.
	SMD to Plane (расстояние до переходного отверстия)	Определяет максимальное расстояние от центра контактной площадки компонента для поверхностного монтажа до ближайшего переходного отверстия на внутренней слой питания или заземления.
	SMD Neck Down (скачок ширины проводника)	Определяет максимальное отношение ширины проводника к ширине контактной площадки компонента для поверхностного монтажа, выраженное в процентах.
Mask (маски)	Solder Mask Expansion (размер окна в трафарете для пайки волной)	Задаёт величину, на которую расширяется или сжимается рисунок контактной площадки на слое Solder Mask, из которого формируются окна в трафарете для пайки волной.
	Paste Mask Expansion (размер окна в трафарете для нанесения паяльной пасты)	Задаёт величину, на которую расширяется или сжимается рисунок контактной площадки на слое Paste Mask, из которого формируются окна в трафарете для нанесения паяльной пасты.
Plane (слои питания и заземления)	Power Plane Connect Style (стиль соединения выводов со слоем питания)	Определяет стиль соединения выводов компонента со слоем питания. Система допускает три типа соединения: непосредственное (сплошное) соединение, соединение с тепловым барьером и отсутствие соединения.
	Power Plane Clearance (зазоры на слоях питания)	Определяет радиальный зазор, создаваемый вокруг переходных отверстий и контактных площадок, которые проходят сквозь слои питания, но не соединяются с ними.
	Polygon Connect Style (стиль соединения выводов с полигоном)	Определяет стиль соединения выводов компонента с металлизированным полигоном. Система допускает три типа соединения: непосредственное (сплошное) соединение, соединение с тепловым барьером и отсутствие соединения.
Testpoint (контрольные точки)	Testpoint Style (стиль контрольных точек)	Задаёт допустимые физические размеры контактных площадок и переходных отверстий, используемых в качестве контрольных точек.
	Testpoint Usage (использование контрольных точек)	Служит для определения цепей, требующих добавления контрольных точек.

Таблица. Часть 2

Категория	Тип	Описание
Manufacturing (производство)	Minimum Annular Ring (минимальный размер контактной площадки)	Определяет минимально допустимый размер кольца контактной площадки, который измеряется радиально от края отверстия контактной площадки до ее кромок.
	Acute Angle (ограничение на размер острых углов)	Определяет минимально допустимый угол излома проводников. Наличие острых углов может стать проблемой при производстве платы, так как при травлении в точке излома может возникнуть разрыв.
	Hole Size (диаметр отверстий)	Определяет минимально и максимально допустимые значения диаметра присутствующих на плате отверстий.
	Layer Pairs (пары слоев)	Проверяет соответствие используемых пар слоев парам слоев для сверления, которые определяются из присутствующих на плате контактных площадок и переходных отверстий.
High Speed (для высокоскоростных плат)	Parallel Segments (ограничение на длину параллельных сегментов)	Определяет длину параллельных сегментов двух проводников в зависимости от заданного расстояния между этими сегментами.
	Length (ограничение длины проводника)	Определяет минимальную и максимальную длину проводника.
	Matched Net Lengths (длины согласованных цепей)	Определяет меру разницы длин цепей.
	Daisy Chain Stub Length (ограничение на длину шлейфа)	Определяет максимально допустимую длину шлейфа для цепей с топологией в виде цепочки.
	Vias Under SMD (переходные отверстия под SMD элементами)	Устанавливает возможность размещения переходных отверстий во время автоматической трассировки под контактными площадками для устройств, использующих технологию поверхностного монтажа.
	Maximum Via Count (максимальное число переходных отверстий)	Определяет максимально допустимое количество переходных отверстий.
Placement (учитываемые при размещении)	Room Definition (области размещения)	Определяет прямоугольную область Room, в которой либо разрешено, либо запрещено размещать некоторый набор объектов.
	Component Clearance (расстояние между компонентами)	Устанавливает минимально допустимое расстояние между компонентами.
	Component Orientation (ориентация компонентов)	Определяет допустимую ориентацию компонентов.
	Permitted Layers (разрешенные слои)	Определяет, на каких слоях могут быть размещены компоненты программой Cluster Placer.
	Nets to Ignore (игнорирование цепей)	Определяет, какие цепи должны быть проигнорированы при выполнении процедурой Cluster Placer операции автоматического размещения.
Signal Integrity (учитываемые при анализе целостности сигналов)	Signal Stimulus (входные сигналы)	Определяет характеристики входных сигналов, которые используются при анализе целостности сигналов.
	Overshoot – Falling Edge (отрицательный выброс на заднем фронте импульса)	Определяет максимально допустимый отрицательный выброс (затухающие колебания относительно низкого значения напряжения) на заднем фронте импульса сигнала.
	Overshoot – Rising Edge (положительный выброс на переднем фронте импульса)	Определяет максимально допустимый положительный выброс (затухающие колебания относительно высокого значения напряжения) на переднем фронте сигнала.
	Undershoot – Falling Edge (положительный выброс на заднем фронте импульса)	Определяет максимально допустимое значение положительного выброса (затухающие колебания относительно низкого значения напряжения) на заднем фронте сигнала.
	Undershoot – Rising Edge (отрицательный выброс на переднем фронте импульса)	Определяет максимально допустимое значение отрицательного выброса (затухающие колебания относительно высокого значения напряжения) на переднем фронте сигнала.
	Impedance (требования к импедансам)	Определяет минимально и максимально допустимый импеданс цепи.
	Signal Top Value (напряжение сигнала высокого уровня)	Определяет минимально допустимое значение напряжения сигнала высокого уровня.
	Signal Base Value (низкое значение уровня сигнала)	Определяет максимально допустимое значение напряжения сигнала низкого уровня.
	Flight Time – Rising Edge (задержка переднего фронта)	Определяет максимально допустимое время задержки переднего фронта сигнала.
	Flight Time – Falling Edge (задержка заднего фронта)	Определяет максимально допустимое время задержки заднего фронта сигнала.
Slope – Rising Edge (крутизна переднего фронта импульса)	Определяет максимально допустимое значение крутизны переднего фронта импульса.	
Slope – Falling Edge (крутизна заднего фронта импульса)	Определяет максимально допустимое значение крутизны заднего фронта импульса.	
Supply Nets	Задаёт цепи питания и напряжение в них.	

- Выберем цепь GND. Запрос примет вид InNet('12V') Or InNet(GND).
- Нажмем кнопку Check Syntax, чтобы проверить правильность составления запроса. Наш запрос очень простой, но в общем случае запросы могут иметь достаточно сложную структуру, поэтому такая проверка может оказаться очень полезной.
- Закроем конструктор запросов нажатием кнопки ОК. В окне описания правила проектирования в поле Full Query появится только что созданный запрос.
- Нам осталось только задать суть правила — численное значение ширины провод-

ника. Эти установки выполняются в текстовых полях на рисунке в нижней части окна. Устанавливаемое рекомендуемое (Preferred) значение ширины используется при интерактивной или автоматической трассировке, а минимальное и максимальное — для контроля ошибок DRC (Design Rules Checkng). Введем во все поля значения 2 мм.

20. Закроем диалоговое окно PCB Rules and Constraints Editor. Теперь при автоматический или ручной трассировке ширина проводников цепей питания всегда будет равна 2 мм, в то вре-

мя как все остальные проводники будут более тонкими.

Итак, мы полностью завершили все подготовительные операции, предшествующие разводке печатной платы. Мы научились создавать заготовки печатных плат, передавать информацию со схемы на плату, управлять слоями и задавать правила проектирования. Полный список доступных в системе Protel DXP правил проектирования приведен в таблице. На следующем занятии мы приступим к изучению основных приемов размещения компонентов и трассировке проводников на печатной плате.

Protel DXP для начинающих

Урок 4

На предыдущем занятии с помощью специального мастера мы создали заготовку печатной платы и передали на нее разработанный ранее проект принципиальной схемы. Кроме того, мы настроили базовый набор правил проектирования, который будет управлять процессом трассировки проводников на плате. В данном занятии мы рассмотрим основные приемы ручного размещения компонентов и трассировки.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Размещение компонентов на плате

Откроем ранее сохраненный документ Multivibrator.PcbDoc и приступим к размещению компонентов на плате.

1. Для настройки оптимального масштаба отображения проекта платы нажмем горячие клавиши V, D.
2. Переместим в нужное место платы разъем XS1, для чего наведем на него указатель мыши, нажмем и будем удерживать левую кнопку мыши. Указатель мыши изменит вид на крестик и автоматически захватит опорную точку компонента.
3. Удерживая левую кнопку мыши, переместим компонент в левую часть платы.

Если во время перемещения нажать на клавишу SPACEBAR, то компонент будет повернут на угол, заданный в настройках редактора печатных плат на вкладке Options диалогового окна Preferences, вызываемого командой меню Tools/Preferences. По умолчанию шаг поворота задан 90°. Минимально допустимый угол поворота в системе Protel DXP равен 0,001°.

Если во время перемещения нажать клавишу L, то компонент будет перенесен с верхней стороны платы на нижнюю. Эту операцию не следует путать с обычным зеркальным отображением объекта, выполняемым с помощью клавиш X и Y, о чем на экран выдается соответствующее сообщение.

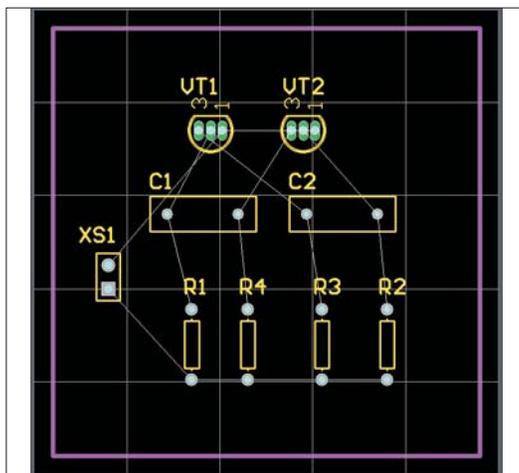


Рис. 1. Вид платы после размещения компонентов

Обратите внимание, что захватывать следует именно сам компонент, а не его позиционное обозначение. Позиционное обозначение может быть перемещено отдельно от компонента. После этого при перемещении самого компонента оно переносится и поворачивается вместе с ним, сохраняя свое относительное местоположение.

Также заметим, что при перемещении компонента на экране появились две связанные линией цветные точки, показывающие геометрические центры старой и новой позиции компонента (точки приклеивания). Эти точки показываются зеленым цветом, если система считает текущее положение компонента удачным по совокупности признаков: отсутствие нарушения правил проектирования, контролируемых зазоры между компонентами, и оптимальное расположение линий связи. В противном случае точки отображаются красным цветом. В нашем случае на это не следует обращать внимание, так как с одной стороны, наша плата достаточно простая, а с другой — последующие перемещения других компонентов могут изменить положение.

4. Отпустим левую кнопку мыши.
5. Аналогичным образом разместим все компоненты, как показано на рис. 1.

Система Protel DXP имеет мощные средства интерактивного размещения компонентов, работу которых мы продемонстрируем на следующем примере. На нашей плате имеются четыре резистора, которые должны быть расположены на плате в один ряд с одинаковым шагом. Это можно выполнить и вручную, но гораздо полезнее будет воспользоваться средствами интерактивного размещения.

1. Выделим группу резисторов, для чего, удерживая нажатой клавишу SHIFT, выполним щелчок левой кнопкой мыши на каждом из них. Резисторы будут подсвечены серым цветом.
2. Нажмем кнопку Align Components by Top Edges (выровнять по верхнему краю) на панели инструментов Component Placement или выполним команду меню Tools/Interactive Placement/Align Top. Все выделенные компоненты будут выровнены по верхнему краю.
3. Нажмем кнопку Make Horizontal Spacing of Components Equal или выполним команду меню Tools/Interactive Placement/Horizontal Spacing/Make

- Equal, чтобы разместить компоненты с одинаковым шагом.
- С помощью кнопок Increase Horizontal Spacing of Components и Decrease Horizontal Spacing of Components соответственно увеличим или уменьшим шаг между компонентами.
 - Щелкнем в любом пустом месте платы для снятия текущего выделения.

Изменение топологического посадочного места компонента

Допустим, в процессе размещения компонентов выяснилось, что выбранные нами конденсаторы слишком большие, и нам требуется изменить для них тип топологического посадочного места. Сначала найдем подходящее топологическое посадочное место в библиотеке.

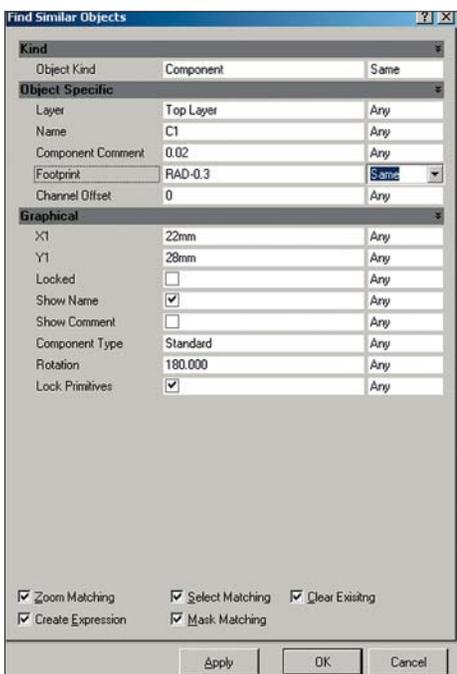


Рис. 2. Настройка фильтра объектов для глобального редактирования

- Вызовем панель просмотра библиотек Libraries нажатием на соответствующую кнопку.



Рис. 3. Список компонентов, выделенных по заданному критерию

- В выпадающем списке укажем имя библиотеки Miscellaneous Devices.IntLib.
- Переведем панель в режим просмотра топологических посадочных мест, включив опцию Footprints.
- Зададим фильтр поиска RAD.

В списке ниже будут показаны четыре топологических посадочных места, самым малогабаритным из которых будет RAD-0.1, которое мы и будем использовать.

У нас всего два конденсатора, поэтому заменить топологическое посадочное место для них можно вручную. Для этого выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на конденсаторе C1, в появившемся окне редактирования параметров компонента в поле Footprint укажем новый тип RAD-0.1 и нажмем кнопку ОК для сохранения сделанных изменений. Аналогичное действие выполним для конденсатора C2.

Однако на практике, когда приходится иметь дело с большим числом компонентов, такой подход применять нельзя. Гораздо эффективнее будет использовать функцию глобального редактирования, базирующуюся на конструкторе запросов, которая позволяет менять параметры у наборов компонентов, выделенных по определенному признаку. Попробуем выполнить замену топологического посадочного места с помощью этой функции, для чего вернемся на два шага назад с помощью команды Edit/Undo (горячие клавиши CTRL+Z).

- Выполним щелчок правой кнопкой мыши на любом из конденсаторов и в появившемся контекстном меню выберем команду Find Similar Objects.
- В открывшемся окне Find Similar Objects (рис. 2) укажем критерий отбора компонентов «все конденсаторы с топологическим посадочным местом RAD-0.3», для чего в строке Footprint справа в выпадающем списке установим опцию Same.

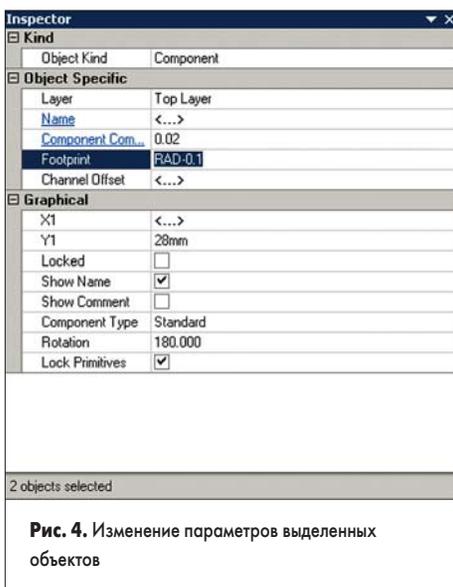


Рис. 4. Изменение параметров выделенных объектов

- В нижней части окна включим опцию Select Matching для выделения всех компонентов, удовлетворяющих данному критерию.
- Нажмем кнопку Apply (применить). На экране появится панель List (рис. 3), в верхней части которой будет показано

текстовое описание запроса, а в нижней части будет приведен список объектов чертежа печатной платы, удовлетворяющих этому запросу. Если бы в проекте присутствовало сто конденсаторов такого типа, то все они были бы перечислены в данном списке. При необходимости данный запрос можно расширить с помощью уже знакомого нам по предыдущему уроку конструктора запросов, вызываемого кнопкой Helper.

- Нажмем кнопку ОК в окне Find Similar Objects для подтверждения правильности выбора. Оба конденсатора на плате окажутся выделенными (подсвечены серым цветом).
- Вызовем панель Inspector (рис. 4) с помощью кнопки Inspect, расположенной в нижней части экрана.
- Введем в поле Footprint новый тип топологического посадочного места RAD-0.1 и нажмем клавишу Enter. Изменения будут сделаны сразу для обоих конденсаторов.
- Закроем панель Inspector.
- Снимем выделение с конденсаторов щелчком левой кнопкой мыши в пустом месте чертежа.
- Снимем маскирование нажатием комбинации клавиш SHIFT+C.
- Сохраним проект платы командой File.Save (горячие клавиши CTRL+S).

Ручная трассировка платы

По окончании размещения компонентов можно приступить к трассировке печатной платы. Трассировкой называется процесс прорисовки проводников на сигнальных слоях платы, соединяющих выводы компонентов согласно списку соединений. Система Protel DXP предлагает пользователю ряд инструментов, позволяющих выполнять трассировку печатных плат как в автоматическом, так и полуавтоматическом (интерактивном) режимах.

Чтобы изучить основные приемы работы в редакторе печатных плат, для начала выполним ручную трассировку цепей, которая в общем случае представляет собой не что иное, как прорисовку полилиний на нужном слое.

- Выполним команду меню Place/Interactive Routing (горячие клавиши P, T) или нажмем кнопку Interactive Routing, расположенную на панели инструментов Placement. Указатель мыши примет вид крестика, который вписывается в узлы сетки Snap Grid. Ранее мы задали шаг сетки 1 мм, но обратите внимание, что пока мы не интересовались, с каким шагом (метрическим или дюймовым) размещены выводы компонентов. Напомним, что система Protel DXP позволяет прокладывать сегменты проводников непосредственно из центров электрических объектов (контактных площадок, переходных отверстий) или концов существующих проводников без привязки к сетке Snap Grid, чем снимает любые ограничения и неудобства, связанные с использованием топологических посадочных мест, созданных в разных систе-

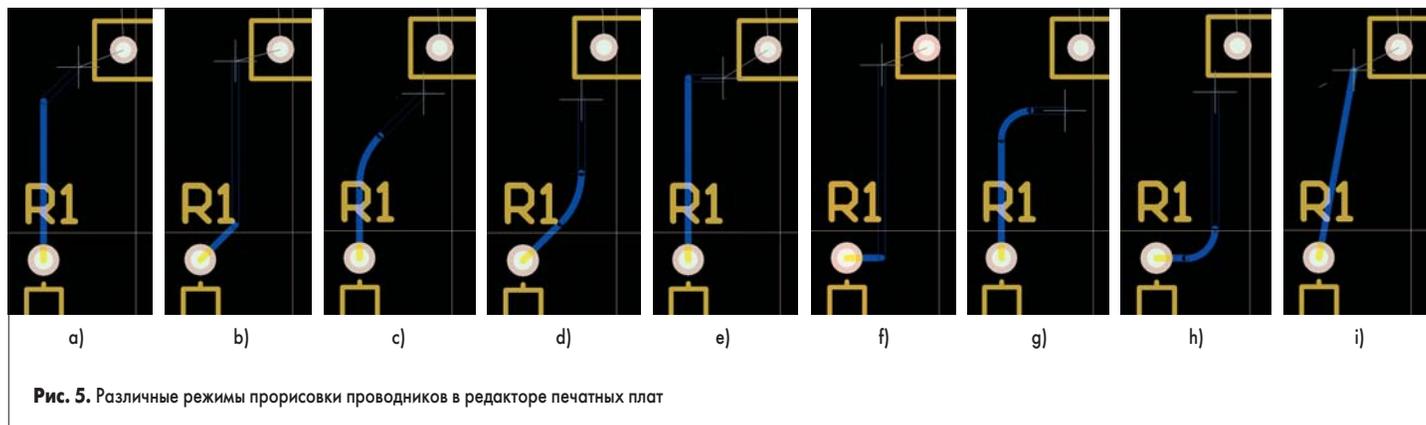


Рис. 5. Различные режимы прорисовки проводников в редакторе печатных плат

- мах измерения. Эта функция стала возможной благодаря введению электрической сетки (Electrical Grid), отменяющей действие сетки Snap Grid в некоторой окрестности вокруг электрического объекта. Сетка Electrical Grid включается и настраивается в диалоговом окне Board Options, вызываемом командой меню Design/Board Options (горячие клавиши D, O). Оперативное включение и выключение электрической сетки в процессе работы выполняется сочетанием клавиш SHIFT+E.
- Нажмем клавишу L и в появившемся окне Board Layers and Colors включим отображение слоев Top Layer и Bottom Layer, после чего закроем окно, нажав кнопку ОК. Проверим, какой из этих сигнальных слоев выбран текущим, что легко сделать, взглянув на вкладки с названиями активных слоев проекта в нижней части экрана. Наверняка, текущим будет слой Top (верхний), а для нашей простой платы трассировку лучше выполнять на нижнем слое. В любом другом случае (не в режиме рисования) выбор текущего слоя осуществляется щелчком левой кнопки мыши на соответствующей вкладке, но сейчас, при интуитивной попытке подвести мышью к закладке, сработает функция автопанорамирования чертежа, в результате чего рисунок просто «убежит» за пределы окна. Чтобы вернуть чертеж на место, нажмите горячие клавиши V, F.
 - Переключим текущий слой нажатием клавиши * (звездочка) на цифровой клавиатуре. Эта клавиша осуществляет последовательный перебор всех сигнальных слоев. Для перебора всех без исключения активных слоев, а не только сигнальных, используются клавиши + и — на цифровой клавиатуре.
 - Подведем указатель мыши к верхнему выводу резистора R1. Указатель мыши сначала будет следовать сетке Snap Grid, оперативное изменение которой осуществляется нажатием клавиши G, а потом захватит центр контактной площадки и изменит свой вид на восьмиугольник. Если этого не происходит, это означает, что электрическая сетка выключена. Чтобы включить ее, нажмите SHIFT+E.
 - Выполним щелчок левой кнопкой мыши на верхней контактной площадке резистора R1 и сдвинем указатель мыши немного вверх и вправо. Система начнет

прокладывать проводник, как показано на рисунке рис. 5а.

Обратите внимание, что на экране появилось три сегмента линии: прокладываемый (закрашенный), предсказываемый (не покрашенный) и линия связи (тонкая). Это говорит о том, что редактор плат системы Protel прорисовывает проводники с предсказанием, то есть текущее положение курсора показывает конец не прокладываемого сейчас, а следующего сегмента. Это позволяет избежать добавления лишних изломов полилинии при неточном указании ее конечных вершин.

Как и в редакторе схем, в редакторе плат имеется несколько режимов и подрежимов прорисовки проводников, но здесь их больше, так как имеется возможность прорисовки дуг. Последовательное переключение режимов производится одновременным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar, подрежимов — нажатием клавиши Spacebar. На рис. 5 приведены примеры различных режимов рисования: под углом 45° (рис. 5а и 5б), под углом 45° с дугой (рис. 5с и 5д), ортогонального (рис. 5е и 5ф), ортогонального с дугой (рис. 5г и 5h) и под произвольным углом (рис. 5и).

- Наведем указатель мыши на левый вывод конденсатора C1 и выберем режим прорисовки, показанный на рис. 6а. Система подскажет нам оптимальную форму проводника при ортогональной трассировке.
- Выполним один щелчок левой кнопкой мыши, чем завершим прорисовку первого сегмента проводника (рис. 6а).
- Выполним еще один щелчок левой кнопкой мыши для закрепления концов второго сегмента (рис. 6б).

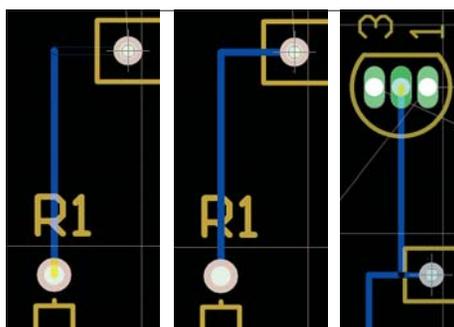


Рис. 6. Прорисовка проводника с предсказанием

- Завершим прорисовку данного проводника нажатием правой кнопки мыши или клавиши ESC. Редактор останется в режиме рисования, о чем сигнализирует указатель мыши в форме крестика. Однако мы нарисовали не весь проводник, лишь его часть — от вывода одного компонента к выводу другого, называемую маршрутом (From-To). Нам надо нарисовать еще один маршрут цепи, соединяющий конденсатор с базой транзистора VT1.
- Наведем указатель на базу (средний вывод) транзистора VT1 и нажмем левую кнопку мыши.
- Наведем указатель мыши на левый вывод конденсатора и нажатием клавиши Spacebar выберем режим рисования проводников, как показано на рис. 6с.
- Щелкнем один раз левой кнопкой мыши, чем закрепим форму первого сегмента проводника.
- Так как цепь получилась завершенной, о чем сигнализирует отсутствие тонкой линии связи, закончим прорисовку проводника нажатием правой кнопки мыши или клавиши ESC.

Полученный проводник оптимален с точки зрения ортогональной трассировки, но здравый смысл подсказывает, что если этот же проводник прокладывать под произвольными углами, сегменты будут короче, а изломов не будет вообще. Выполним небольшое упражнение, показывающее возможности системы Protel DXP по редактированию уже проложенных проводников.

- Проверим, включена ли функция автоматического удаления замкнутых петель проводников, которая управляется опцией Automatically Remove Loops, расположенной в поле Interactive Routing на вкладке Options диалогового окна Preferences, вызываемого командой меню Tools/Preferences.
- Не удаляя только что проложенного проводника, наведем указатель мыши на верхний вывод резистора R1 и щелкнем на нем левой кнопкой мыши.
- Нажатием комбинации клавиш SHIFT+Spacebar выберем режим прокладки проводников под произвольным углом.
- Наведем указатель мыши на левый вывод конденсатора C1 и щелкнем один раз левой кнопкой мыши (рис. 7а).
- Наведем указатель мыши на базу транзистора VT1 и щелкнем один раз левой кнопкой мыши (рис. 7б).

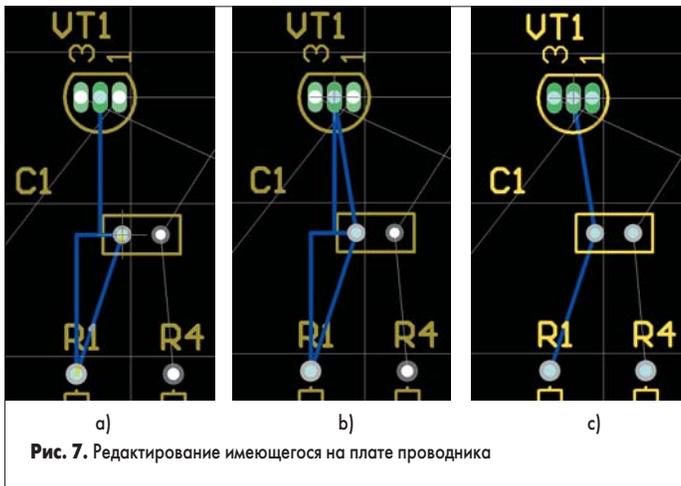


Рис. 7. Редактирование имеющегося на плате проводника

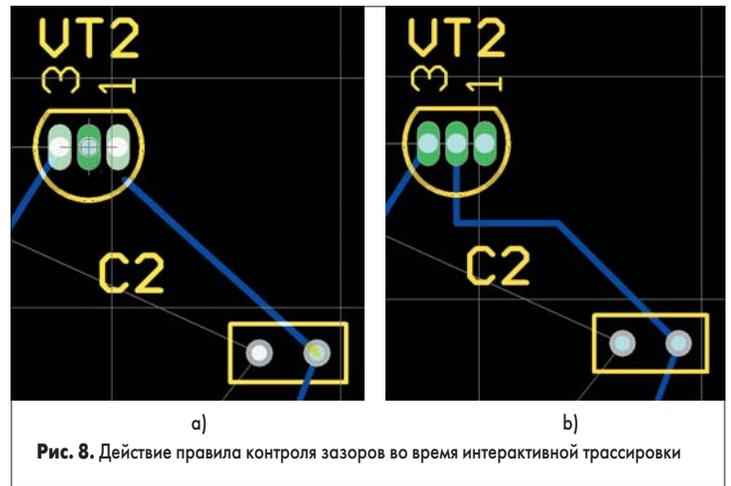


Рис. 8. Действие правила контроля зазоров во время интерактивной трассировки

6. Завершим прорисовку проводника нажатием правой кнопки мыши или клавиши ESC.

Система автоматически удалит все старые сегменты проводников, образующие замкнутые петли.

Аналогичным образом нарисуем проводники R4-C1-VT2 и R2-C2-VT2.

Прорисовка первой цепи не должна вызывать трудностей, а вот при прорисовке завершающего маршрута C1-VT2 второй цепи, после наведения указателя мыши на базу транзистора VT2 система откажется прокладывать проводник (рис. 8a), так как при этом прокладываемый сегмент проводника будет касаться контактной площадки вывода 1 транзистора VT2, принадлежащей другой цепи. Это действие нарушает установленное правило проектирования, задающее минимально допустимый зазор между проводниками разных цепей. Пользователю не остается ничего другого, как проложить проводник с изломами, например, как показано на рис. 8b.

Приступим к прокладке проводника R3-C2-VT1. Завершающий сегмент проводника будет пересекать ранее проложенные проводники, поэтому при попытке размещения проводника на слое Bottom система откажется прорисовать не только прокладываемый, но и предсказываемый сегменты (рис. 9a). У пользователя при этом имеется два варианта действий: обходить существующие препятствия, оставаясь на данном слое, либо перейти на другой сигнальный слой.

Выберем второй вариант, чтобы понять, как в редакторе плат системы Protel DXP осуществляется прорисовка проводников на нескольких слоях.

1. Наведем указатель мыши на левый вывод конденсатора C2, выполним на нем щелчок левой кнопкой мыши, после чего сдвинем указатель влево к транзистору VT1.
2. Последовательным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar и Spacebar включим режим рисования проводников под углом 45°, как показано на рис. 9a.
3. Перейдем на верхний слой платы (Top Layer) нажатием клавиши * на цифровой клавиатуре. Прокладываемый сплошной сегмент останется синим, контур предсказываемого сегмента изменит цвет на красный, а в точке излома появится круглое переходное отверстие. Размеры переходного отверстия будут определяться настройками

правила проектирования Routing Via Style для данной цепи (рис. 9b).

Обратите внимание, что теперь предсказываемый сегмент тянется непосредственно к указателю мыши, так как на верхнем слое у него нет препятствий.

4. Выполним щелчок левой кнопкой мыши, чем зафиксируем длину первого (синего) сегмента и положение переходного отверстия.

Теперь прокладываемым станет горизонтальный сегмент, проходящий по верхнему слою и показанный красным цветом.

5. Наведем указатель мыши на левый крайний вывод транзистора VT1 и последовательным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar и Spacebar включим ортогональный режим рисования проводников (рис. 9c).

6. Снова перейдем на нижний слой нажатием клавиши * на цифровой клавиатуре. На конце красного сегмента появится новое переходное отверстие (рис. 9d). Контур предсказываемого проводника станет синим.

7. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на контактной площадке транзистора VT1, чем зафиксируем длину второго (красного) сегмента и второго переходного отверстия.
8. Выполним еще один щелчок левой кнопкой мыши на контактной площадке транзистора VT1, чем зафиксируем на ней конец последнего третьего сегмента проводника (рис. 9e).

9. Завершим прорисовку проводника нажатием правой кнопки мыши или клавиши ESC.

Итак, мы завершили прокладку проводника, в результате чего на плату добавились два переходных отверстия. В общем случае стоимость и надежность печатной платы зависит от числа используемых на ней переходных отверстий, поэтому одна из основных целей разработчика заключается в минимизации их числа. Очевидно, что если бы мешающие нам сегменты ранее проложенных цепей располагались на верхнем слое, то последний проводник мог бы быть проложен целиком на нижнем слое, а переходные отверстия были бы не нужны вовсе. Межслойное соединение сегментов при этом осуществлялось бы через металлизированные отверстия в контактных площадках элементов.

Исправим неудачный вариант трассировки.

1. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на сегменте проводника, соеди-

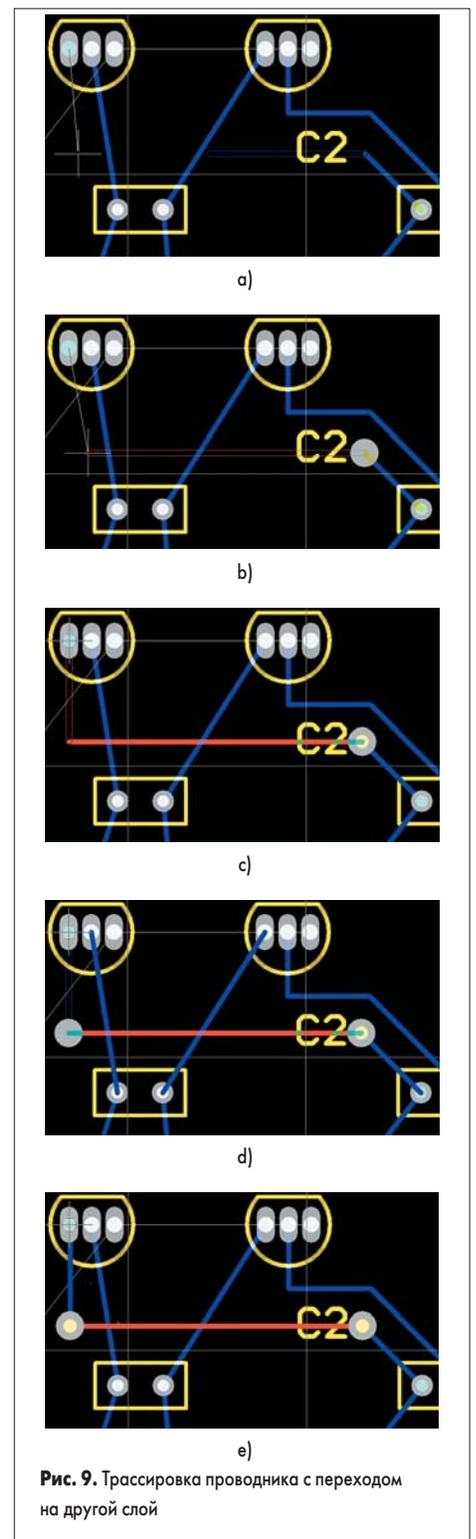


Рис. 9. Трассировка проводника с переходом на другой слой

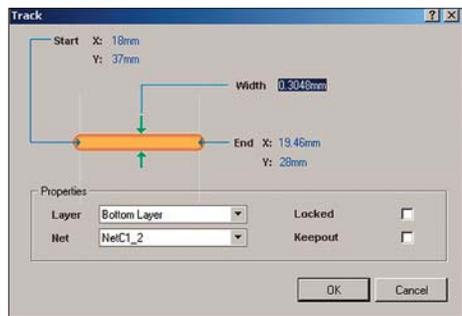


Рис. 10. Изменение параметров сегмента проводника

няющего конденсатор C1 с базой транзистора VT1. Откроется окно редактирования параметров объекта Track (рис. 10).

2. Зададим в выпадающем списке Layer новый слой Top Layer и нажмем кнопку ОК. Обратите внимание, что цвет пересекающихся проводников изменился на зеленый (рис. 11), что говорит о том, что дан-

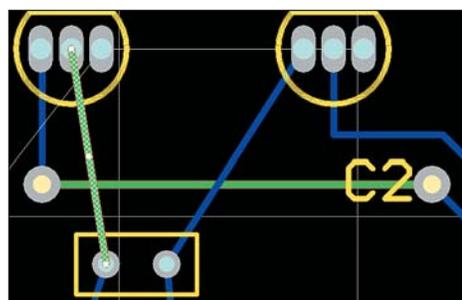


Рис. 11. Изменение параметров сегмента проводника

ные объекты нарушают некие правила проектирования. То есть, редактор печатных плат системы Protel DXP постоянно выполняет проверку правил проектирования DRC. Следует отметить, что эта функция управляется опцией Online DRC, расположенной в поле Editing Options на вкладке Options диалогового окна Preferences, вызываемого командой меню Tools/Preferences. Кроме того, в ходе такой проверки, называемой интерактивной проверкой DRC, проверяются далеко не все правила проектирования. Все без исключения правила проводятся при так называемой пакетной проверке DRC, запускаемой командой Tools/Design Rule Check. Проверим, какое именно правило проектирования было нарушено. Для чего, щелкнув на закладке PCB, перейдем на панель управления редактора печатных плат, выберем в выпадающем списке в ее верхней части опцию Rules. В таблице ниже будут перечислены все правила проектирования, установленные для данной платы, а сразу под ними — выявленные нарушения (Violations). В нашем случае будет присутствовать только одно нарушение, двойной щелчок на котором вызовет диалоговое окно Violation Details с его подробным описанием (рис. 12).

Закроем это окно и вернемся к редактированию проводников.

3. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на сегменте проводника, соеди-

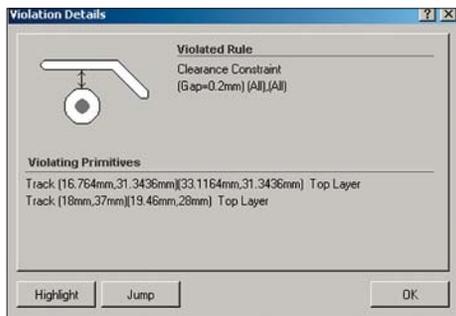


Рис. 12. Описание нарушения заданного правила проектирования

няющего конденсатор C1 с коллектором транзистора VT2.

4. В открывшемся окне зададим в выпадающем списке Layer новый слой Top Layer и нажмем кнопку ОК.

Далее следует перенести горизонтальный сегмент проводника на нижний слой. Это можно выполнить описанным выше методом, но в этом случае на плате останутся переходные отверстия, которые придется удалять отдельно. Более эффективный метод редактирования проводников предлагает функция интерактивной трассировки.

5. Выполним команду меню Place/Interactive Routing (горячие клавиши P, T) или нажмем кнопку Interactive Routing, расположенную на панели инструментов Placement.
6. Нажатием клавиши * перейдем на слой Bottom Layer.
7. Наведем указатель мыши на одно из переходных отверстий и выполним щелчок левой кнопкой мыши.
8. Последовательным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar включим режим рисования проводников под произвольным углом.
9. Наведем указатель мыши на второе переходное отверстие и выполним щелчок левой кнопкой мыши, чем зафиксируем новый сегмент.
10. Завершим прорисовку проводника нажатием правой кнопки мыши или клавиши ESC.

Проводник будет перерисован заново, так как фактически мы добавили на плату замкнутую петлю по другому слою. Но при этом все ненужные объекты цепи (в данном случае, два переходных отверстия) будут удалены автоматически (рис. 13).

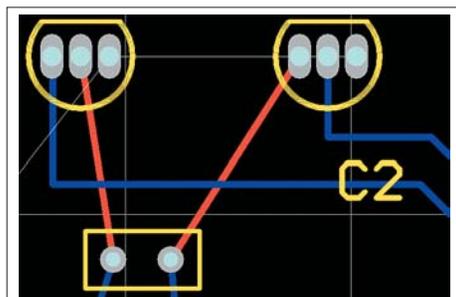


Рис. 13. Результат редактирования проводников

Нам осталось развести две последние цепи питания.

1. Выполним команду меню Place/Interactive Routing (горячие клавиши P, T) или на-

жмем кнопку Interactive Routing, расположенную на панели инструментов Placement.

2. Наведем указатель мыши на нижний вывод разъема XS1, выполним щелчок левой кнопкой мыши и сдвинем указатель немного вниз и вправо, как показано на рис. 14.

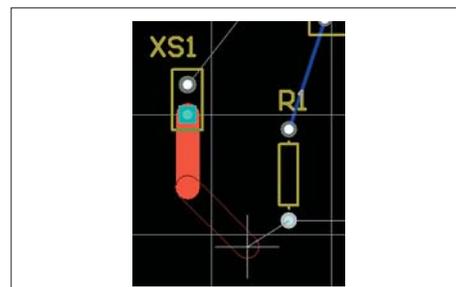


Рис. 14. Прокладка цепи питания

Обратите внимание, что ширина проводника изменилась. Причем она увеличилась настолько, что превысила размеры контактной площадки элемента. Попробуем уменьшить ширину проводника.

3. Нажмем клавишу TAB, после чего откроется окно Interactive Routing (рис. 15).

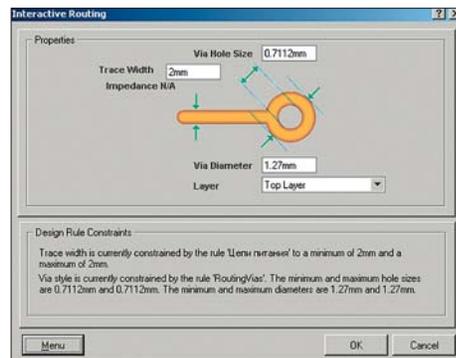


Рис. 15. Окно задания параметров интерактивной трассировки

В верхней части окна наглядно показаны основные параметры прокладываемого проводника, а в нижней части приведены правила проектирования, регламентирующие процесс трассировки. Сейчас здесь написано, что ширина проводника данной цепи определяется правилом проектирования «Цепи питания», заданным нами на прошлом занятии при создании заготовки платы. Это правило накладывает очень жесткое ограничение на ширину проводника, которая должна быть строго равной 2 мм.

4. Введем в поле Trace Width значение 1mm и нажмем кнопку ОК.
5. Программа выдаст сообщение, что новое значение является меньшим, чем оговорено в правиле проектирования, и спросит, стоит ли продолжать. Нажатие кнопки Yes закроет окно, но противоречащее правилу изменение выполнено не будет, нажатие кнопки No вернет вас в окно настройки интерактивного трассировщика, что мы и сделаем.

Внимание! Это главное отличие системы Protel DXP от системы P-CAD 2002. В Protel DXP правила проектирования контролируются в процессе интерактивной трассировки постоянно, в результате

чего система просто не позволит пользователю выполнить неправильное действие. В P-CAD 2002 возможную ошибку можно будет выявить только в ходе пакетной проверки DRC.

- Нажмем кнопку Menu в нижней части окна Interactive Routing и выберем команду Edit Width Rule (изменить правило проектирования). Откроется знакомое нам по прошлому уроку окно редактирования правила, определяющего ширину цепей питания.
- Введем в поле Min Width значение 1mm и нажмем кнопку ОК.
- Мы вернемся в окно Interactive Routing, в нижней части которого будет написано, что ширина проводников данной цепи теперь может быть не меньше 1 мм и не больше 2 мм.
- Снова введем в поле Trace Width значение 1mm и нажмем кнопку ОК. Ширина проводника уменьшится.
- Последовательным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar и Spacebar включим режим рисования проводников под углом 45°, как показано на рис. 16а.
- Сдвинем указатель мыши как показано на рис. 16а и выполним щелчок левой кнопкой мыши, чем зафиксируем первый сегмент проводника.
- Наведем указатель мыши на нижний вывод резистора и щелкнем один раз левой кнопкой мыши, чем зафиксируем скошенный сегмент проводника.

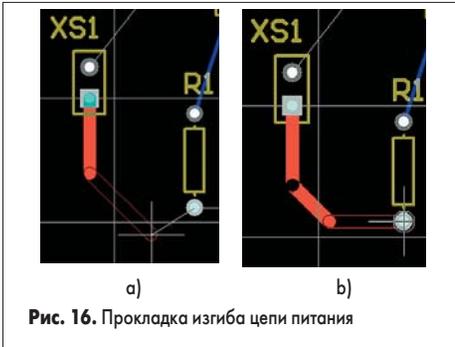


Рис. 16. Прокладка изгиба цепи питания

- Еще раз щелкнем левой кнопкой мыши, чем зафиксируем горизонтальный сегмент (рис. 16б).
- Аналогичным образом завершим трассировку цепи, соединив соответствующие выводы оставшихся резисторов.
- Нажмем правую кнопку мыши или клавишу Esc. Редактор печатных плат останется в режиме рисования.

Обратите внимание, что при прокладке проводника мы ни разу не вспомнили про настройки сеток. Они нам были просто не нужны — наличие электрической сетки позволяло нам прокладывать проводники по оптимальному пути из центра одного электрического объекта в центр другого в соответствии с выбранным режимом рисования.

Однако в самом начале прокладки проводника мы неправильно выбрали слой, и проводник оказался расположенным на верхнем слое платы. Перенесем его на нижний слой. Это упражнение будет очень полезно, так как данная операция в процессе работы будет встречаться очень часто.

- Нажмем правую кнопку мыши или клавишу Esc и выйдем из режима рисования.
- Наведем указатель мыши на любой сегмент проводника цепи +12V и выполним на нем щелчок левой. Сегмент выделится.
- Сразу же выполним щелчок правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выберем команду Find Similar Objects.
- В открывшемся окне Find Similar Objects укажем критерии отбора компонентов «все сегменты проводника данной цепи, нарисованные на верхнем слое», для чего в строках Layer и Net справа в выпадающем списке установим опции Same.
- В нижней части окна включим опцию Select Matching для выделения всех компонентов, удовлетворяющих данному критерию.
- Нажмем кнопку Apply (применить). Проверим, что система нашла нужные нам объекты.
- Нажмем кнопку ОК в окне Find Similar Objects для подтверждения правильности выбора.
- Вызовем панель Inspector с помощью кнопки Inspect, расположенной в нижней части экрана.
- В строке Layer в выпадающем списке укажем новый слой для данных объектов Bottom Layer и нажмем клавишу Enter.
- Закроем панель Inspector.
- Снимем выделение с объектов щелчком левой кнопкой мыши в пустом месте чертежа.
- Снимем маскирование нажатием комбинации клавиш SHIFT+C.
- Сохраним проект платы командой File/Save (горячие клавиши CTRL+S).

Нарисуем последний проводник цепи GND.

- Нажмем горячие клавиши P, T или нажмем кнопку Interactive Routing.

- Во избежание ошибок нажмем клавишу * перейдем на нижний слой платы.
- Наведем указатель мыши на верхний вывод разъема XS1, выполним щелчок левой кнопкой мыши и сдвинем указатель немного вверх и вправо.
- Редактор пытается рисовать проводник шириной 2 мм, так как это значение задано как рекомендуемое. Нажмем клавишу TAB и в окне Interactive Routing в поле Trace Width введем значение 1 мм.
- Последовательным нажатием клавиш SHIFT+Spacebar и Spacebar включим режим рисования проводников под углом 45°.
- Последовательно щелкая левой кнопкой мыши и переключая режим рисования, нарисуем проводник, как показано на рис. 17.

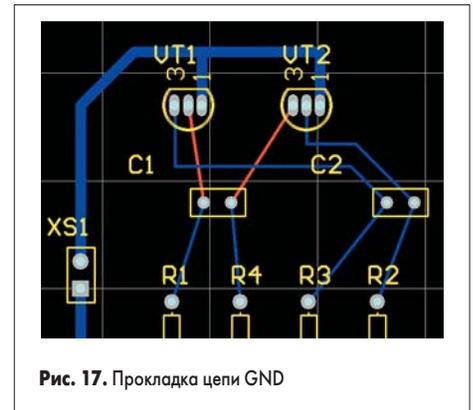


Рис. 17. Прокладка цепи GND

- Сохраним проект платы командой File/Save (горячие клавиши CTRL+S).

Мы полностью выполнили ручную трассировку платы, однако для полного изучения основных функций трассировки выполним еще несколько полезных упражнений. Сначала переместим конденсатор C2 ближе к конденсатору C1.

- Выполним команду меню Edit/Move/Drag Track End (горячие клавиши E, M, E).
 - Указатель мыши примет вид крестика. Наведем его на конденсатор C2, нажмем левую кнопку мыши и, удерживая ее, переместим конденсатор в нужное место.
- Обратите внимание, что примыкающие к компоненту сегменты проводников будут тянуться за ним. В какой-то момент времени они пересекутся, что вызовет нарушение правила контроля зазоров, и конфликтные сегменты будут подсвечены зеленым цветом (рис. 18а).

Отредактируем проводники. В системе Protel DXP имеются два способа изменения местоположения проводников: перемеще-

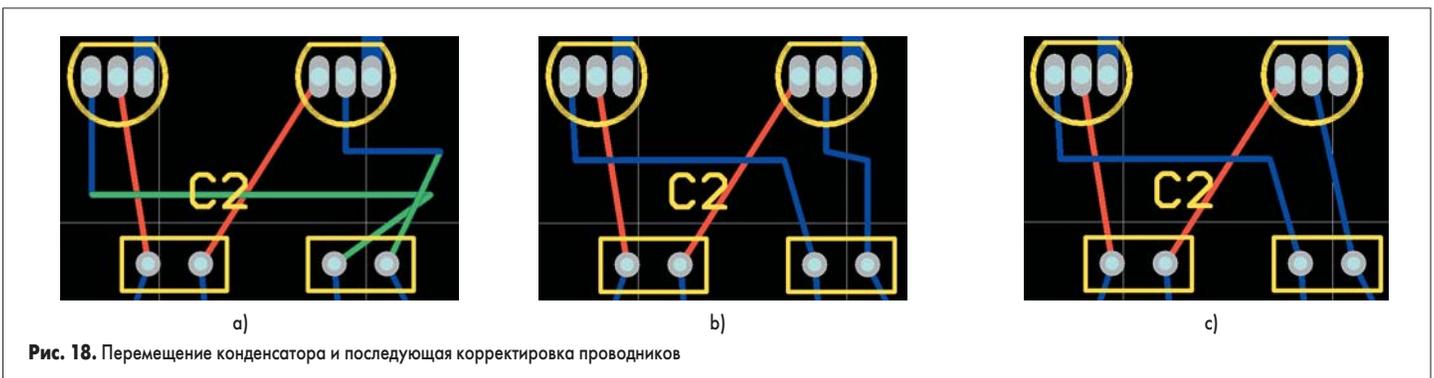
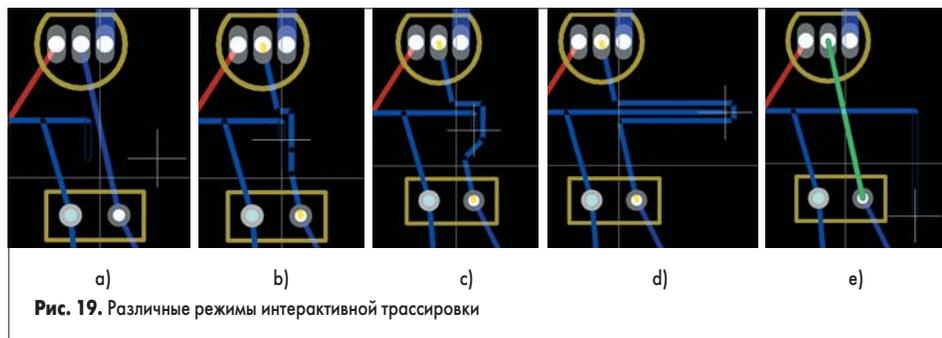


Рис. 18. Перемещение конденсатора и последующая корректировка проводников



ние (Move) и перетаскивание (Drag). В первом случае сегмент проводника ведет себя как автономный объект, а во втором — как элемент полилинии, то есть прилегающие сегменты будут «тянуться» за ним.

3. Выполним команду меню Edit/Move/Drag (горячие клавиши E, M, D).

4. Наведем указатель мыши на изгиб конфликтного проводника, щелкнем левой кнопкой мыши (изгиб «приклеится» к указателю мыши) и переместим его левее так, чтобы проводники не пересекались.

Попробуем также захватить проводник не за точку излома, а за сегмент, поведение редактора при этом изменится.

Пользователи, ранее работавшие в системе P-CAD, после перехода на Protel по привычке пытаются захватить сегмент и, удерживая левую кнопку мыши, переместить его в новое место. Такое действие называется перемещением и равносильно выполнению команды Edit/Move/Move (горячие клавиши E, M, M). Цепь при этом разрывается. Чтобы цепь не разрывалась, следует выполнить перетаскивание сегмента, для чего сначала один раз щелкнуть левой кнопкой мыши, а после того, как он подсветится, уже захватить и перетащить. Такое действие равноценно выполнению команды Edit/Move/Drag (горячие клавиши E, M, D). Заметим, что при использовании описанных команд меню, перемещение и перетаскивание

выполняется без удержания левой кнопки мыши.

Также отметим, что теперь указатель мыши привязывается к узлам сетки, поэтому прежняя ортогональность проводников может нарушиться. При необходимости следует изменить шаг сетки нажатием горячей клавиши G.

5. Отредактируем проводники, как показано на рис. 18b.

6. Проводник, связывающий конденсатор C2 и транзистор VT2 теперь может быть прорисован без изгибов, поэтому в режиме интерактивной трассировки перерисуем его заново, как описано ранее. Старый рисунок проводника при этом автоматически удалится (рис. 18c).

7. Сохраним проект платы командой File/Save (горячие клавиши CTRL+S).

Рассмотрим последнюю очень важную функцию интерактивной трассировки — функцию расталкивания препятствий. До сих пор мы работали в заданном по умолчанию режиме уклонения от препятствий, согласно настройке Avoid Obstacle на вкладке Options диалогового окна Preferences, вызываемого командой меню Tools/Preferences. Тем не менее, здесь имеются еще два режима: игнорирования (Ignore Obstacle) и расталкивания препятствий (Push Obstacle). Рассмотрим эти режимы на простом примере. Допустим, нам требуется добавить к существующему проводнику новый сегмент.

1. Нажмем горячие клавиши P, T или нажмем кнопку Interactive Routing.
2. Нажатием клавиши * перейдем на нижний слой платы.
3. Начнем рисование нового сегмента в ортогональном режиме, как показано на рис. 19a. Проводник встретит препятствие, и дальнейшая его прокладка будет приостановлена.
4. Переключим режим интерактивной трассировки нажатием комбинации горячих клавиш SHIFT+R.

Включится режим расталкивания препятствий, при котором мешающий проводник будет автоматически отодвигаться по мере перемещения мыши вправо (рис. 19b, 19c, 19d). Новое положение мешающего проводника определяется правилами проектирования, регламентирующими зазоры, и никак не привязывается к сетке (в отличие от P-CAD 2002).

5. Еще раз переключим режим интерактивной трассировки нажатием комбинации горячих клавиш SHIFT+R.

Включится режим игнорирования препятствий, при котором мешающий проводник не препятствует прокладке нового проводника. О возникающем при этом нарушении правил проектирования сигнализирует подсветка конфликтных объектов зеленым цветом.

Отметим, что режим расталкивания препятствий работает во всех режимах рисования, кроме рисования под произвольным углом. В этом случае возможны только два варианта: уклонение от препятствий или игнорирование их.

Итак, на данном занятии мы полностью развели печатную плату мультивибратора. В процессе работы мы изучили основные (но далеко не все) приемы интерактивного размещения компонентов и трассировки. На следующем занятии мы рассмотрим работу программ автоматического размещения и трассировки.

Protel DXP для начинающих

Урок 5

На предыдущем уроке мы освоили основные приемы ручного размещения компонентов и интерактивной трассировки. Теперь рассмотрим автоматизированные инструменты размещения.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Система Protel DXP имеет две встроенные программы авторазмещения компонентов — Cluster Placer и Statistical Placer. Первая полностью интегрирована в редактор печатных плат, хорошо управляется и рекомендуется для работы с платами с числом компонентов не более 100. Вторая программа работает как дополнительный модуль и использует принципиально другой алгоритм, анализирующий длины цепей и обрабатывающий большее число компонентов. Но в общем случае обе программы дают неудовлетворительный результат и могут рекомендоваться только как вспомогательный инструмент при интерактивном размещении, когда часть компонентов предварительно размещается вручную и блокируется. Рассмотрим работу этих программ.

1. Сделаем копию разработанной нами печатной платы для последующих экспериментов, для чего откроем в редакторе печатных плат документ Multivibrator.PcbDoc и выполним команду меню File/Save Copy As и укажем имя файла Multivibrator1.PcbDoc.
2. С помощью команды File/Open откроем файл Multivibrator1.PcbDoc как свободный документ. Удалим все существующие на плате проводники, чтобы они нам не мешали.
3. Выполним щелчок правой кнопкой мыши в любом пустом месте печатной платы и в появившем-

ся контекстном меню выберем команду Build Query (горячие клавиши SHIFT+B). Откроется диалоговое окно Building Query From Board (рис. 1).
4. Здесь в столбце Condition Type/Operator в выпадающем списке Add First Condition выберем опцию Belongs to Net Class, что означает выбор всех объектов, принадлежащих данному классу цепей. На нашей плате имеется только один назначаемый по умолчанию класс цепей All Nets, который отобразится в столбце Condition Value. В правой части окна в столбце Query Preview отобразится текстовое описание выполняемого запроса InNetClass («All Nets»).

5. Проверим, включен ли флаг Select Matching.
6. Нажмем кнопку ОК или клавишу Enter. В редакторе печатных плат будут выделены все проводники.
7. Удалим все проводники нажатием клавиши Delete.
8. Сохраним изменения в документе нажатием горячих клавиш F, S.

Авторазмещение с помощью программы Cluster Placer

Зададим правила проектирования, определяющие минимально допустимые зазоры между компонентами на плате и учитываемые программой Cluster Placer в процессе работы.

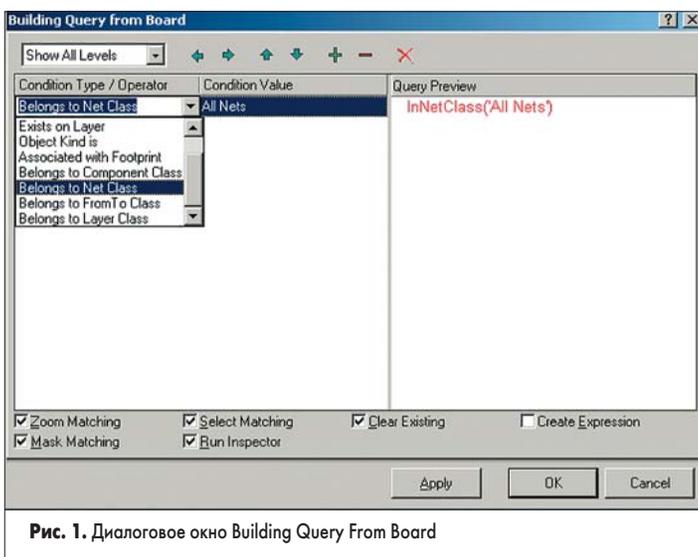


Рис. 1. Диалоговое окно Building Query From Board

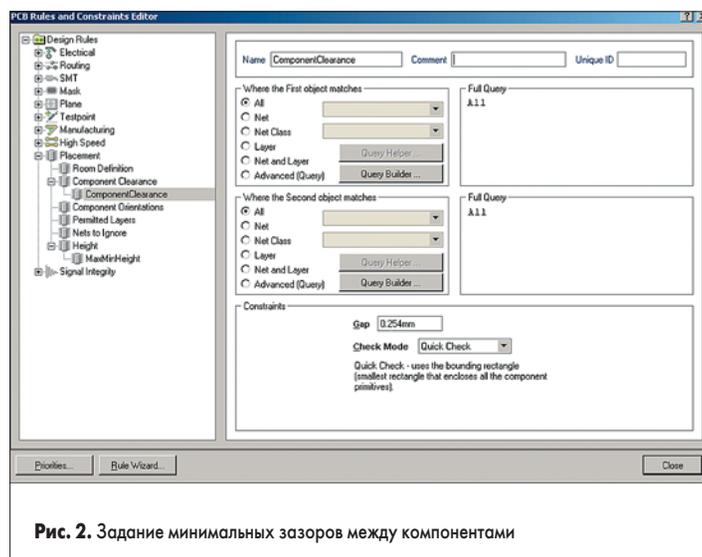


Рис. 2. Задание минимальных зазоров между компонентами

1. Выполним команду меню Design/Rules (горячие клавиши D, R). Откроется уже знакомое нам диалоговое окно PCB Rules and Constraints Editor, в котором задаются правила проектирования.

Заметим, что в категории Placement при создании заготовки платы были автоматически заданы два правила Height и Component Clearance. Первое правило регламентирует высоту компонентов и сейчас для нас не очень важно, а второе определяет расстояние между компонентами на плате.

2. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на правиле Component Clearance. В правой части окна откроется описание данного правила (рис. 2).

3. Введем в поле Name новое имя правила: «Общее».

Далее следует указать область действия данного правила. Областью действия называется подмножество объектов на печатной плате, на которое распространяется данное правило. По способу задания области действия правила делятся на унарные и бинарные. Примером унарного правила может служить рассмотренное нами ранее ограничение на ширину проводника. При описании бинарного правила указываются два подмножества объектов, поэтому в нашем случае (рис. 2) область действия описывается как «между всеми компонентами и всеми компонентами». На первый взгляд такая система выглядит излишне запутанной, но она позволяет указать редактору печатных плат четкие логические критерии верификации процесса проектирования. Не будем изменять эти настройки.

4. В нижней части окна в поле Gap зададим новое значение зазора 2 mm.

Далее в выпадающем списке Check Mode следует указать режим проверки правила. Режим Quick Check (быстрая проверка) не допускает наложение компонентов, на каком бы слое они ни находились, а в качестве границы компонента использует прямоугольник, охватывающий все примитивы компонента (без учета текста). Режим Multi Layer Check также ограничивает компонент прямоугольником, но учитывает слой, на котором компонент расположен и допускает случай, показанный на рис. 3. Третий режим Full Check проверяет наложение компонентов друг на друга с точным учетом все составляющих их графических примитивов. Однако он ра-

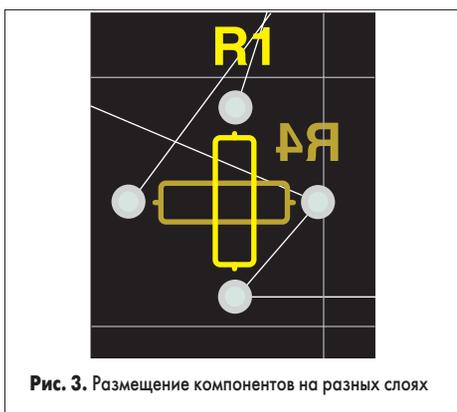


Рис. 3. Размещение компонентов на разных слоях

ботает только в режиме пакетной проверки правил проектирования (DRC).

5. Так как все компоненты на нашей плате будут располагаться только с одной (верхней) стороны, выберем режим Quick Check.

Создадим новое правило, регламентирующее расстояние между транзисторами.

1. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на типе правил Component Clearance и в появившемся контекстном меню выберем команду New Rule.

2. Щелкнем левой кнопкой мыши на только что созданном правиле. В правой части окна откроется его описание.

3. В окошке Name зададим имя правила «Между Транзисторами».

4. Далее в поле Where the First object matches (первое подмножество объектов) выберем опцию Advanced (Query) и нажмем кнопку Query Builder. Появится окно Building Query From Board (рис. 4).

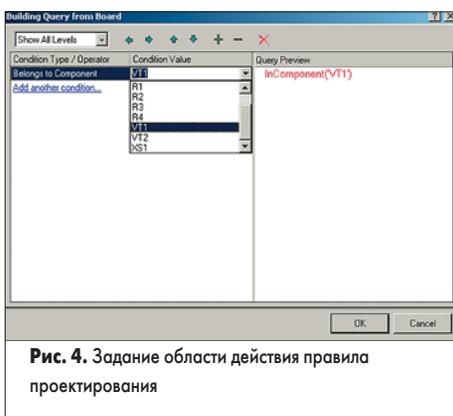


Рис. 4. Задание области действия правила проектирования

5. Здесь в столбце Condition Type/Operator в выпадающем списке Add First Condition выберем опцию Belongs to Component (является компонентом).

6. В столбце Condition Value появится список всех компонентов, из которого следует выбрать транзистор VT1. В правой части окна в столбце Query Preview отобразится текстовое описание выполняемого запроса InComponent ('VT1'). Для сохранения результатов нажмем кнопку ОК.

7. Далее в поле Where the Second object matches (второе подмножество объектов) также выберем опцию Advanced (Query), нажмем кнопку Query Builder и в появившемся окне мастера запросов укажем транзистор VT2. В правой части окна в столбце Query Preview отобразится текстовое описание выполняемого запроса InComponent ('VT2'). Нажмем кнопку ОК.

8. В нижней части окна описания правила в поле Gap зададим новое значение зазора 5 mm.

9. В выпадающем списке Check Mode выберем режим Quick Check.

Только что созданное нами правило предписывает размещать транзисторы не ближе чем 5 mm друг к другу. Создадим еще одно правило этого типа, регламентирующее зазоры между транзисторами и всеми остальными компонентами.

1. Щелкнем правой кнопкой мыши на типе правил Component Clearance и в появившемся контекстном меню выберем команду New Rule.

2. Щелкнем левой кнопкой мыши на только что созданном правиле. В правой части окна откроется его описание.

3. В окошке Name зададим имя правила «Между Транзисторами и всеми остальными».

4. Далее в поле Where the First object matches (первое подмножество объектов) выберем опцию Advanced (Query) и нажмем кнопку Query Helper. Появится знакомое нам по предыдущему уроку окно Query Helper.

5. Очистим поле Query, для чего щелкнем в нем левой кнопкой мыши, выделим все его содержимое нажатием комбинации клавиш Ctrl+A и нажмем клавишу Delete.

6. В списке слева внизу щелкнем на категории действий Membership Check (проверка принадлежности). В поле справа откроется список доступных функций проверки принадлежности.

7. Дважды щелкнем левой кнопкой мыши на операторе InComponent. В поле конструктора запросов появится функция InComponent с выпадающим списком, предлагающим выбрать нужный компонент. Выберем транзистор VT1.

8. Нажмем кнопку Or (Или).

9. Еще раз щелкнем на категории действий Membership Check.

10. Дважды щелкнем левой кнопкой мыши на операторе InComponent. В поле конструктора запросов после оператора Or появится функция InComponent с выпадающим списком, предлагающим выбрать нужный компонент. Выберем транзистор VT2.

11. Нажмем кнопку Check Syntax, чтобы проверить правильность составления запроса.

12. Закроем конструктор запросов нажатием на кнопку ОК.

Таким образом, первое подмножество компонентов будет описано запросом InComponent (VT1) Or InComponent (VT2). Второе подмножество оставим без изменения — All (все компоненты).

13. В нижней части окна описания правила в поле Gap зададим новое значение зазора — 3mm.

14. В выпадающем списке Check Mode выберем режим Quick Check.

Только что созданное нами правило предписывает размещать транзисторы VT1 или VT2 на расстояние не ближе чем 3 mm от любых других компонентов. Заметим, что если бы у нас было десять или сто транзисторов, строить запрос было бы утомительно, поэтому в системе Protel DXP используется понятие классов объектов, позволяющих группировать их по определенным признакам (например, классов компонентов или цепей) и тем самым значительно упрощать управление процессом проектирования. Позднее мы рассмотрим вопрос создания классов объектов более подробно.

15. Нажатием на кнопку Close закроем диалоговое окно PCB Rules and Constraints Editor.

16. Сохраним изменения в документе нажатием горячих клавиш F, S.

Теперь мы полностью готовы к выполнению авторазмещения компонентов. Здесь читатель

может задаться вопросом: а зачем мы все это делали, если плата и так очень простая? Ответ очевиден: мы делали это, чтобы понять основные принципы управления инструментами авторазмещения, что в дальнейшем поможет нам обрабатывать более сложные платы.

Традиционно считается, что автоматическое размещение с помощью большинства программ выполняется плохо. Однако в ряде случаев в этом виноваты сами пользователи, которые уделяют недостаточное внимание подготовительному этапу. Чем хуже (или никак) пользователь опишет критерии, которые программа расстановки должна использовать в работе, тем худший (или никакой) будет получен результат.

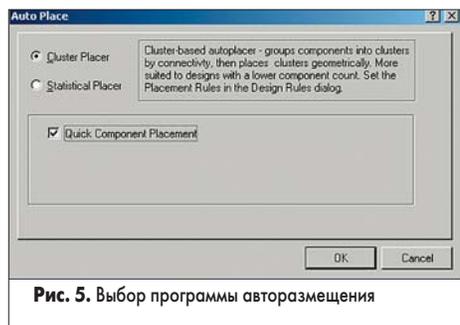


Рис. 5. Выбор программы авторазмещения

1. Выполним команду меню Tools/Auto Placement/Auto Placer...
2. В открывшемся окне Auto Place выберем опцию Cluster Placer и переключателем Quick Component Placement включим режим быстрого размещения.
3. Нажатием кнопки ОК запустим процесс размещения.

Программа выполнит «быстрое» размещение компонентов, начиная с левого нижнего угла платы с учетом контура на слое Keep-Out. Заметим, что несколько компонентов подсвечены зеленым цветом, что говорит о наличии нарушений правил проектирования.

4. Перейдем на панель управления редактором печатных плат и в выпадающем списке выберем тип просматриваемых объектов Rules.
5. В нижней части панели будет показан список выявленных нарушений, два из которых относятся к правилам типа Component Clearance, а остальные с малым зазором между контактными площадками и линиями на слое Keep-Out. Щелчок левой кнопкой мыши по любому из нарушений в списке позволяет посмотреть его суть. По оконча-



Рис. 6. Результат быстрого размещения с помощью программы Cluster Placer

нии просмотра нарушений щелчком левой кнопкой мыши в любом месте платы, нажатием Shift+C сбросим маскирование объектов и вернем оптимальный масштаб просмотра нажатием горячих клавиш V, F.

Выполним расталкивание близкорасположенных компонентов с помощью специального инструмента Shove, но перед этим настроим его.

1. Выполним команду меню Tools/Auto Placement/Set Shove Depth.
2. В появившемся окне Shove Depth зададим значение глубины расталкивания 5. Под этим понятием здесь подразумевается максимальное число отталкиваемых компонентов при соблюдении правил контроля зазоров. Это число может лежать в пределах от 1 до 1000, но на практике для относительно простых плат рекомендуется задавать его не большим 5–10, чтобы было легко отслеживать вносимые изменения. Закроем окно.
3. Выполним команду меню Tools/Auto Placement/Shove.
4. Наведем указатель мыши, принявший вид перекрестия, на один из компонентов, подсвеченных зеленым цветом индикации нарушения, например резистор R3, и выполним один щелчок левой кнопкой мыши. Все компоненты, расположенные вокруг резистора R3, будут отодвинуты в разные стороны так, чтобы выполнялось правило контроля зазоров между ними (рис. 7).

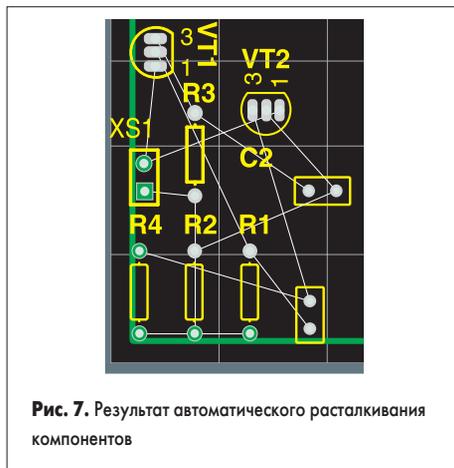


Рис. 7. Результат автоматического расталкивания компонентов

5. Выйдем из режима расталкивания, для чего нажмем клавишу ESC или щелкнем правой кнопкой мыши в любом месте чертежа.
6. Сохраним изменения в документе нажатием горячих клавиш F, S.

Рассмотрим другой режим работы программы авторазмещения Cluster Placer.

1. Выполним команду меню Tools/Auto Placement/Auto Placer...
2. В открывшемся окне Auto Place выберем опцию Cluster Placer и переключателем Quick Component Placement выключим режим быстрого размещения.
3. Нажатием кнопки ОК запустим процесс размещения.

Программа выполнит «медленное» размещение компонентов, при котором анализируется список соединений на предмет оптимизации длин связей, а также учитывается большее число правил проектирования (рис. 8). Обратите внимание, что в этом случае крайние

компоненты отстоят от контура на слое Keep-Out настолько, что не вызывают наблюдавшихся ранее нарушений зазоров между контактными площадками и контуром Keep-Out.

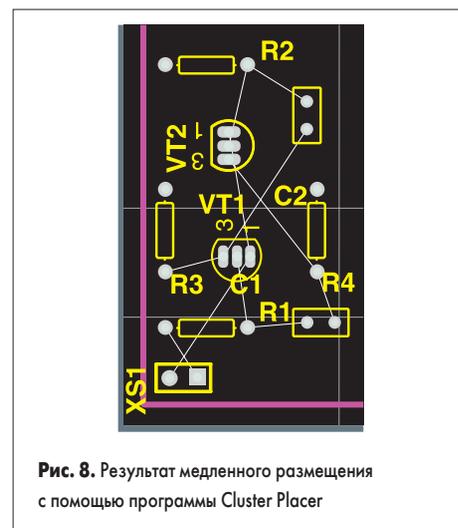


Рис. 8. Результат медленного размещения с помощью программы Cluster Placer

Отметим, что в данном режиме программа работает тем медленнее, чем больше компонентов на плате, а при их числе свыше 100 возможно полное зависание системы Protel DXP, связанное с нехваткой оперативной памяти. Ход выполнения размещения можно отслеживать по линейке в строке состояния, расположенной в левом нижнем углу экрана.

Большое влияние на скорость размещения компонентов оказывает сложность связей между ними, поэтому рекомендуется исключать из анализа наиболее длинные цепи, какими, как правило, являются цепи питания и земли. Данная операция выполняется с помощью специального типа правил проектирования Nets to Ignore категории Placement и рекомендуется для многослойных плат с внутренними слоями питания и заземления. На нашей двусторонней плате цепи питания и заземления являются основными и определяют всю топологию, поэтому исключение их нежелательно.

Помимо описанных выше правил проектирования Component Clearance и Nets to Ignore программа Cluster Placer отслеживает еще 4 типа правил: Component Orientations (ориентация компонентов), Permitted Layers (разрешенные слои), Height (высота компонентов) и Room Definition (области размещения). Назначение первых трех правил очевидно, и их определение можно выполнить самостоятельно в качестве тренировки, а вот последнее правило, Room Definition, требует особого рассмотрения.

Авторазмещение с использованием областей Room Definition

Чтобы понять, как работают области размещения Room Definition, выполним следующее упражнение.

1. Очистим заготовку платы, для чего окном охвата выделим все компоненты на плате и, удерживая левую кнопку мыши, переместим их вправо за пределы платы.
2. Выполним команду меню Design/Rooms/Place Rectangular Rooms. Указатель мыши примет вид крестика с красным квадратом в центре.

- Клавишей Tab вызовем окно редактирования правила Room Definition (рис. 9).
- В поле Name укажем имя области «Транзисторы».
- Далее в поле Where the First object matches (первое подмножество объектов) выберем опцию Advanced (Query).
- Введем в поле Full Query уже знакомый нам текст запроса выбора транзисторов InComponent(VT1) Or InComponent(VT2) или воспользуемся для его построения конструктором запросов Query Helper.
- В выпадающем списке, расположенном в нижней части окна Edit Room Definition, зададим условие обработки компонентов Keep Object Inside (объекты должны быть внутри).
- В выпадающем списке чуть выше зададим слой размещения TopLayer.
- Сохраним сделанные настройки и закроем данное окно нажатием кнопки OK. Система вернется в режим рисования.
- Выполним щелчок левой кнопкой мыши недалеко от левого верхнего угла платы, чем зададим первый угол прямоугольника.
- Сдвинем мышью вправо вниз примерно на треть платы и еще раз щелкнем левой кнопкой мыши.

На экране появится заштрихованный прямоугольник, подсвеченный зеленым цветом, что говорит о наличии нарушений. Легко догадаться, что нарушение заключается в том, что транзисторы находятся вне определенной для них области размещения. Проверить догадку можно на вкладке PCB панели управления редактором печатных плат. Зададим вторую область.

- Нажмем клавишу Tab, чем вызовем окно редактирования правила Room Definition.
- В поле Name укажем имя области «ВсеОстальные» (обязательно без пробела!).
- Оставим область действия правила как All (все). Позднее мы ее изменим.
- В выпадающем списке, расположенном в нижней части окна Edit Room Definition, зададим условие обработки компонентов Keep Object Inside (объекты должны быть внутри).
- В выпадающем списке чуть выше зададим слой размещения TopLayer.
- Сохраним сделанные настройки и закроем данное окно нажатием кнопки OK. Система вернется в режим рисования.
- Выполним щелчок левой кнопкой мыши чуть ниже первой области, чем зададим первый угол прямоугольника.
- Сдвинем мышью в правый нижний угол платы и еще раз щелкнем левой кнопкой мыши.

Вторая область размещения займет оставшиеся две трети площади платы (рис. 10).

- Описать область действия второго правила «все, кроме транзисторов» мы могли бы и с помощью сложного запроса, однако, более правильно будет создать соответствующий класс компонентов.
- Выполним команду меню Design / Classes. Появится диалоговое окно Object Class Explorer, в котором перечислены все возможные классы объектов. Легко видеть, что в классы могут быть сгруппированы цепи (Net Classes), компоненты (Component Classes), слои (Layer Classes), контактные площадки (Pad Classes), маршруты (From-To Classes) и каналы (Design Channel Classes).

- Выполним щелчок правой кнопкой мыши на категории классов Component Classes и в появившемся контекстном меню выберем команду Add Class (добавить класс). В списке появится новый класс компонентов New Class.
- Щелкнем на нем левой кнопкой мыши.

- В правой части окна появятся два списка объектов. В первом столбце Non-Members будут перечислены компоненты, не входящие в данный класс. Второй столбец Members пока пустой.
- Последовательными щелчками левой кнопки мыши при удерживаемой клавише Ctrl выделим в первом столбце все компоненты, кроме транзисторов VT1 и VT2.
- Нажмем кнопку со значком >, расположенную между столбцами. Выбранные компоненты будут перенесены во второй столбец.
- В заключение переименуем только что созданный класс, для чего нажмем клавишу F2 и введем новое имя «Не транзисторы» (рис. 11).
- Закроем окно Object Class Explorer нажатием кнопки Close.

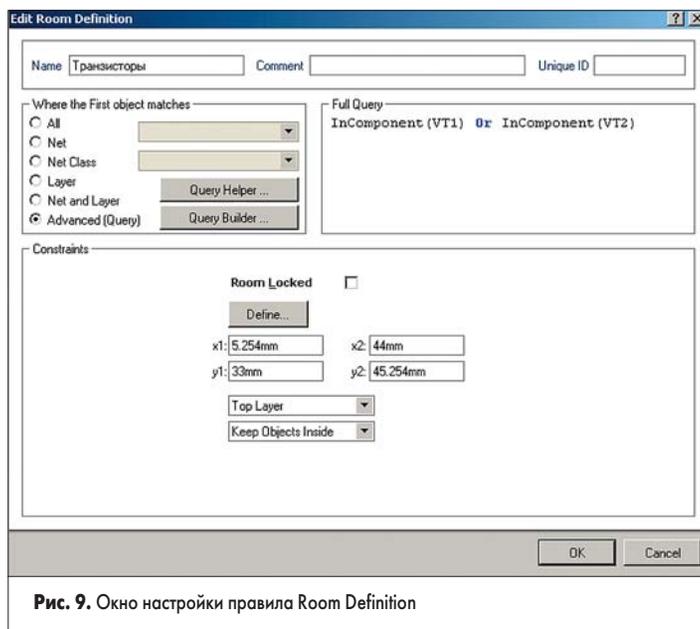


Рис. 9. Окно настройки правила Room Definition

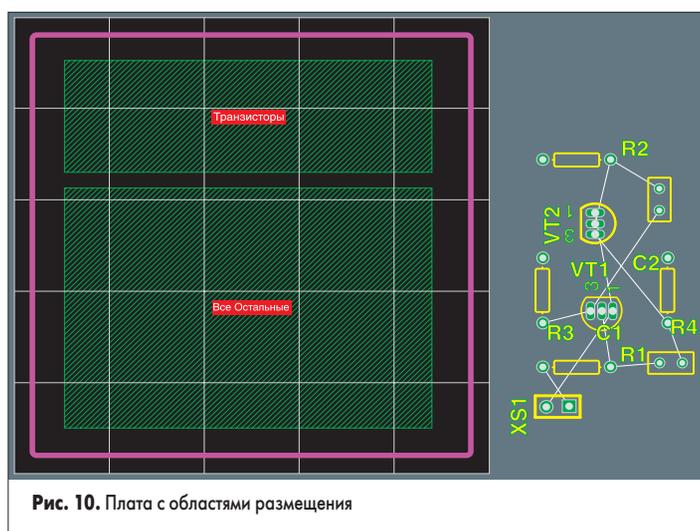


Рис. 10. Плата с областями размещения

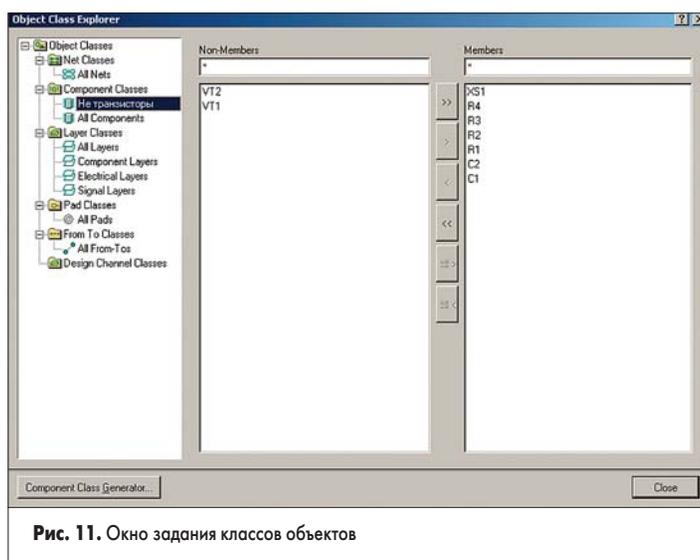


Рис. 11. Окно задания классов объектов

- Вернемся к определению второй области размещения «ВсеОстальные», для чего выполним на ней двойной щелчок левой кнопкой мыши.
- Далее в поле Where the First object matches (первое подмножество объектов) выберем опцию Advanced (Query) и нажмем кнопку Query Builder. Появится окно Building Query From Board.
- Здесь в столбце Condition Type/Operator в выпадающем списке Add First Condition выберем опцию Belongs to Component Class (входит в класс компонентов).

19. В столбце Condition Value появится список всех описанных в проекте классов компонентов (нашем случае двух), из которого следует выбрать класс «Не транзисторы». Для сохранения результатов нажмем кнопку ОК. Запрос примет вид (InComponentClass ('Не транзисторы')).

20. Сохраним сделанные настройки и закроем данное окно нажатием кнопки ОК.

21. Сохраним изменения в документе нажатием горячих клавиш F, S.

Теперь вы полностью готовы к выполнению авторазмещения.

1. Выполним команду меню Tools/Auto Placement/Auto Placer...

2. В открывшемся окне Auto Place выберем опцию Cluster Placer и переключателем Quick Component Placement выключим режим быстрого размещения.

3. Нажатием кнопки ОК запустим процесс размещения.

Результат работы программы Cluster Placer будет резко отличаться от полученных ранее (рис. 12). Транзисторы будут размещены исключительно в пределах своей области размещения, все остальные компоненты — во второй области. Таким образом, области Room Definition представляют собой инструмент осмысленного управления программой размещения Cluster Placer. Если учесть, что эти области и классы компонентов можно создавать автоматически при передаче данных из принципиальной схемы в проект печатной платы, то это значительно упрощает труд разработчика. Более подробно мы рассмотрим этот вопрос при изучении инструментов для многоканального проектирования.

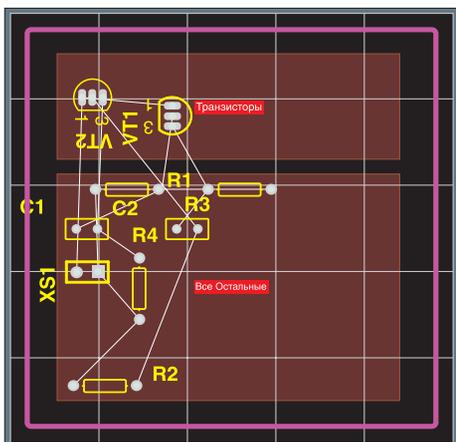


Рис. 12. Результат размещения с помощью программы Cluster Placer при наличии областей Room Definition

Заметим также, что в общем случае результат работы программы авторазмещения Cluster Placer может быть далек от совершенства, поэтому рекомендуется запустить его последовательно несколько раз, сохраняя промежуточные варианты.

Авторазмещение с помощью программы Statistical Placer

Вторая программа автоматического размещения предназначена для обработки плат с большим числом компонентов (свыше 100).

Она работает по принципиально другим алгоритмам и не учитывает никакие из выше перечисленных правил проектирования. Главным критерием правильного размещения компонентов здесь считается равномерное распределение компонентов на плате при оптимальной плотности связей.

Программа Statistical Placer никак не взаимодействует с областями Room Definition, поэтому их можно удалить.

1. Удерживая нажатой клавишу Shift, последовательно щелкнем на каждой из областей левой кнопкой мыши и нажмем клавишу Delete.

2. Выполним команду меню Tools/Auto Placement/Auto Placer...

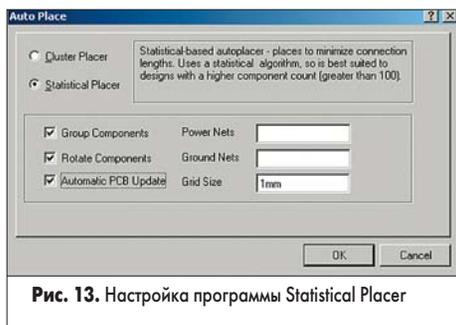


Рис. 13. Настройка программы Statistical Placer

3. В открывшемся окне Auto Place выберем опцию Statistical Placer. В нижней части окна будут расположены органы настройки этой программы.

4. Включим опцию Group Components (группировать компоненты).

5. Включим опцию Rotate Components (поворачивать компоненты).

6. Обязательно включим опцию Automatic PCB Update (автоматически обновлять плату), чтобы не потерять полученные программой размещения результаты.

Для облегчения анализа длин связей на многослойных платах с внутренними слоями питания и заземления имена этих цепей можно указать в текстовых полях Power Nets и Ground Nets. Для нашей платы этого делать не нужно.

7. Нажатием кнопки ОК запустим процесс размещения.

В отличие от программы Cluster Placer, которая полностью интегрирована в редактор печатных плат системы Protel DXP, программа Statistical Placer имеет свое окно, в котором отображается ход процесса авторазмещения. Для нашей простой платы авторазмещение будет выполнено почти мгновенно, но для сложных плат он может занять десятки минут. Процент завершения оптимизации отображается в строке состояния. Плотность размещения компонентов отображается цветными квадратиками разного размера. Например, вид одной из поставляемых в качестве примера плат во время авторазмещения показан на рис. 14.

8. Нажмем кнопку ОК в окне с сообщением о завершении процесса размещения. Система вернется в редактор печатных плат, где позиции компонентов на плате будут автоматически обновлены.

9. Чтобы обновить связи, выделим все объекты платы (Ctrl+A), щелкнем левой кнопкой

мышью на любом из них и сбросим выделение щелчком левой кнопкой мыши в пустом месте платы.

Блокировка компонентов

В завершение данного урока рассмотрим, как выполняется блокировка компонентов на плате.

1. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на любом из компонентов. Откроется окно редактирования параметров компонента.

2. Включим опцию Locked в поле Component Properties.

3. Закроем окно нажатием кнопки ОК.

Теперь компонент будет заблокирован от перемещения с помощью мыши, а при попытке его перемещения в составе сложного выделения группы компонентов (например, окном охвата) будет выдаваться соответствующее предупреждение.

Одновременная блокировка (разблокировка) нескольких компонентов выполняется несколько иначе.

1. Окном охвата или щелкая левой кнопкой мыши и удерживая клавишу Shift, выделим группу компонентов.

2. Вызовем панель Inspector нажатием на кнопку Inspect в нижней части экрана.

3. Включим (выключим) опцию в строке Locked на панели Inspector.

4. Нажмем клавишу Enter.

Теперь в случае запуска любой из программ авторазмещения заблокированные компоненты сохранят свое положение.

Итак, мы рассмотрели работу двух программ авторазмещения. Результаты, полученные с их помощью, далеки от идеальных и требуют ручной корректировки. В общем случае наилучший результат дают смешанные итерационные циклы, когда наиболее критичные компоненты размещаются вручную или с помощью интерактивных средств и блокируются, после чего запускается автоматическое размещение. Аналогичная методика рекомендуется и для трассировки платы, которую мы рассмотрим на следующем занятии. ■

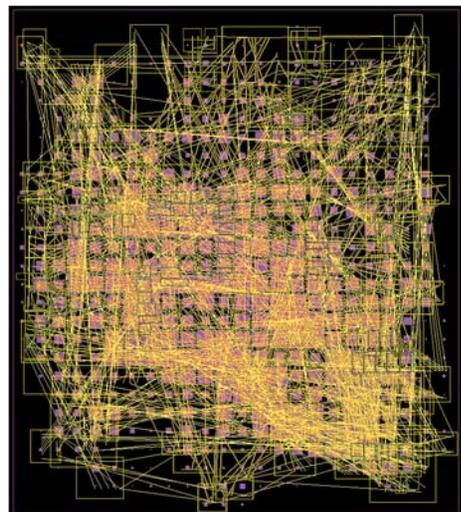


Рис. 14. Вид сложной платы в процессе авторазмещения с помощью программы Statistical Placer

Protel DXP для начинающих

Урок 6

На данном занятии мы рассмотрим автоматическую трассировку проводников на плате. Сама по себе проблема трассировки многослойных плат представляет собой весьма сложную задачу, справиться с которой под силу только очень опытным разработчикам. Программа, выполняющая эту задачу, должна обладать искусственным интеллектом, что подразумевает наличие мощного математического аппарата и четкого набора критериев для принятия решения.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Как мы уже знаем по предыдущим урокам, все действия, выполняемые в редакторе печатных плат, регламентируются набором правил проектирования, подсказывающих системе «что делать нельзя». Мы убедились в этом, выполняя интерактивную трассировку, когда автоматическая проверка DRC не давала нам возможности нарисовать ка-сающиеся или слишком тонкие проводники.

Но для автоматической трассировки этого мало — здесь необходим ответ на вопрос «как именно делать», а раз мы имеем дело с машиной, то необходимо указать однозначную последовательность действий, которые программа должна выполнить для достижения нужного результата. В системе Protel DXP такая последовательность называется стратегией и состоит из процедур трассировки (в английской терминологии — pass).

Автотрассировка

1. Сделаем копию разработанной нами печатной платы для последующих экспериментов, для чего откроем в редакторе печатных плат документ Multivibrator.PcbDoc, выполним команду меню File/Save Copy As и укажем имя файла Multivibrator2.PcbDoc.
2. С помощью команды File/Open откроем файл Multivibrator2.PcbDoc как свободный документ.
3. Удалим все существующие на плате проводники, чтобы они не мешали. Раньше мы это делали с помощью конструктора запросов, а теперь воспользуемся специально предназначенной для этого командой меню Tools/Un-Route/All (горячие клавиши U, A).
4. Выполним команду меню Autoroute/All (горячие клавиши A, A).

На экране появится диалоговое окно выбора стратегии трассировки Situs Routing Strategy (рис. 1).

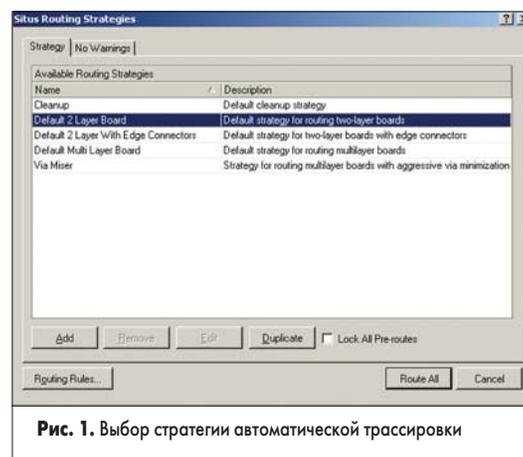


Рис. 1. Выбор стратегии автоматической трассировки

Здесь на вкладке Strategy присутствуют пять заранее заданных эталонных стратегий трассировки: Cleanup — «чистка» топологии, Default 2 Layer Board — простая двухслойная плата, Default 2 Layer With Edge Connectors — двухслойная плата с торцевым разъемом, Default Multilayer Board — многослойная плата, Via Miser — трассировка с минимизацией числа переходных отверстий. В документации на программу упоминается еще две стратегии, но в SP2 они были исключены.

5. С помощью мышки выберем стратегию Default 2 Layer Board и нажмем кнопку Route All.

Программа выполнит автоматическую трассировку платы за считанные секунды.

6. Обновим изображение на экране нажатием клавиши End.

Результат работы программы автоматической трассировки показан на рис. 2. Давайте проанализируем его.

Трассировка выполнена на двух слоях. Большая часть проводников проложена на нижней стороне платы (синий цвет), причем здесь преобладает вертикальное направление трассировки. Часть проводников проложена на слое Top Layer (красный цвет) с преобладающим горизонтальным направлением. Проводники цепей питания и земли заметно шире, чем у других цепей. Почти все проводники соединяют выводы элементов «цепочкой» (отсутствуют Т-образные соединения или соединения «звездой»)

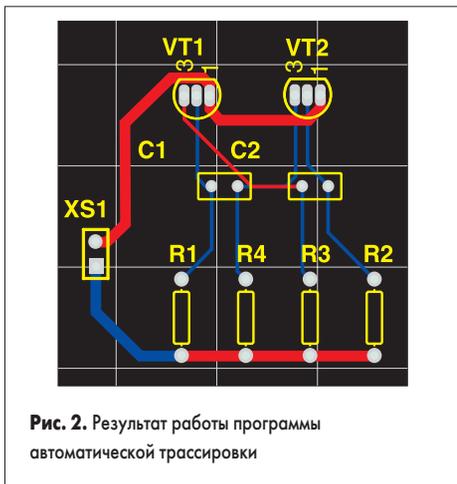


Рис. 2. Результат работы программы автоматической трассировки

и имеют скосы под углом 45°. Откуда авто-трассировщик получил информацию, что трассировать плату надо именно так? Разумеется, из правил проектирования, поэтому рассмотрим их поподробнее.

Правила проектирования, учитываемые при трассировке

Напомним, что большинство из этих правил были установлены при создании заготовки печатной платы с помощью мастера PCB Board Wizard, а часть из них мы изменили при изучении интерактивной трассировки.

1. Вызовем окно редактора правил проектирования, для чего выполним команду меню Design/Rules (горячие клавиши D, R).
2. Выполним щелчок левой кнопкой мышки на категории правил проектирования Routing. В правой части окна PCB Rules and Constraints Editor отобразится полный список заданных правил этой категории (рис. 3). Здесь показаны два уже знакомых нам по предыдущим урокам правила типа Width, определяющие ширину проводников различных цепей. Обратите внимание, что эти правила имеют разные приоритеты, значения которых отображаются в столбце Priority. В общем случае приоритеты правил задаются автоматически по мере их назначения, то есть самый высокий приоритет будет иметь правило, назначенное последним. Самый высший приоритет обозначается числом 1. Приоритет правила можно изменить вручную, что мы сейчас и сделаем.

1. Нажмем кнопку Priorities, расположенную в левом нижнем углу PCB Rules and Constraints Editor. На экране появится диалоговое окно Edit Rule Priorities (рис. 4).
2. Зададим в выпадающем списке Rule Type тип правил Width.
3. Щелчком левой кнопкой мышки выберем правило с именем «Цепи питания».
4. Нажатием кнопки Decrease Priority понизим приоритет данного правила, после чего оно переместится на второе место.
5. Закроем окно Edit Rule Priorities кнопкой Close.
6. Закроем окно PCB Rules and Constraints Editor кнопкой Close.
7. Удалим ранее выполненную трассировку с помощью команды меню Tools/Un-Route/All (горячие клавиши U, A).

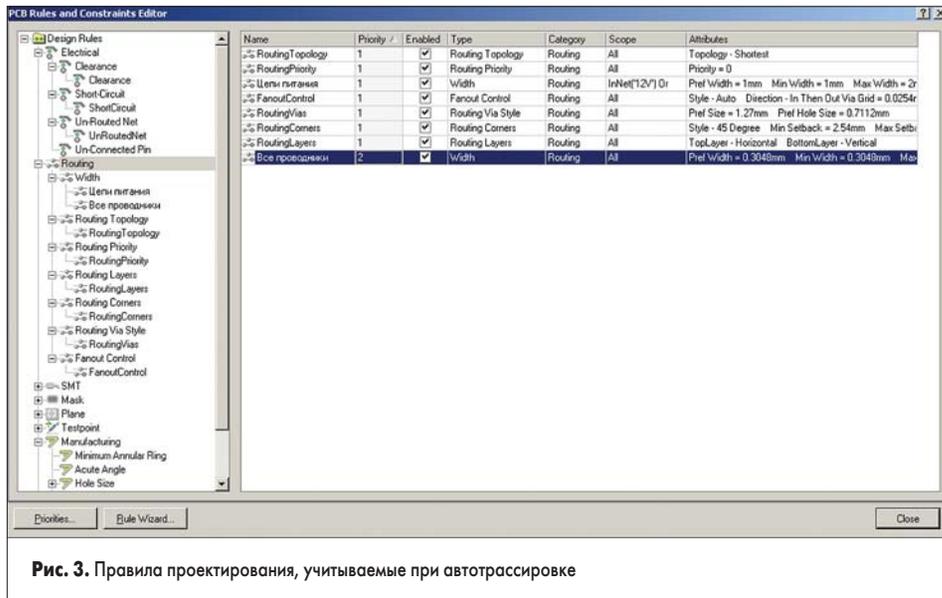


Рис. 3. Правила проектирования, учитываемые при автотрассировке

8. Выполним команду меню Autoroute/All (горячие клавиши A, A), выберем стратегию Default 2 Layer Board и нажмем кнопку Route All.

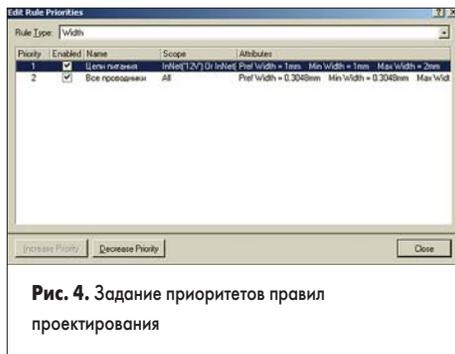


Рис. 4. Задание приоритетов правил проектирования

Результат работы программы автоматической трассировки после изменения приоритета (рис. 5) будет существенно отличаться от полученного ранее (рис. 2). Рассмотрим, что же произошло.

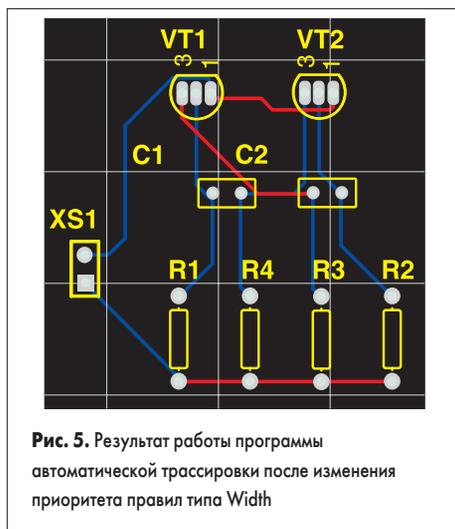


Рис. 5. Результат работы программы автоматической трассировки после изменения приоритета правил типа Width

Две цепи GND и 12V попадают под действие обоих правил проектирования. Ранее более высокий приоритет имело правило «Цепи питания», поэтому автотрассировщик рисовал их проводники шириной 1 мм, а все остальные проводники делал тонкими. После изменения приоритета первым стало выполняться правило, делающее все проводники тонкими.

Вернем приоритеты правил в прежнее состояние. Отметим, что команда отката Undo здесь не работает.

1. Снова вызовем окно редактора правил проектирования нажатием горячих клавиш D, R.
2. Щелчком левой кнопкой мышки выберем правило с именем «Цепи питания».
3. Кнопкой Increase Priority повысим приоритет данного правила, после чего оно переместится на первое место.
4. Закроем окно Edit Rule Priorities.

Следующее правило проектирования Routing Topology предписывает трассировать указанные в области действия правила одним из следующих способов: Shortest (кратчайший), Horizontal (преобладающий горизонтальный), Vertical (преобладающий вертикальный), Daisy-Simple (простая цепочка), Daisy-MidDriven (цепочка с источником внутри), Daisy-Balanced (сбалансированная цепочка) и StarBurst (звезда). Выполним небольшое упражнение.

1. Щелкнем правой кнопкой мышки на типе правил Routing Topology и в появившемся контекстном меню выберем команду New Rule. В списке правил появится новое правило с именем по умолчанию RoutingTopology_1.
2. Щелкнем на нем левой кнопкой мышки. В правой части окна PCB Rules and Constraints Editor появится описание нового правила.
3. Здесь в поле Where the First object matches (первое подмножество объектов) выберем опцию Net (цепь) и в выпадающем списке левее выберем цепь 12V.
4. В нижней части окна зададим для данной цепи рекомендуемую топологию StarBurst (звезда).
5. Проверим, что новое правило имеет более высокий приоритет в списке (стоит выше).
6. Закроем окно PCB Rules and Constraints Editor кнопкой Close.
7. Удалим ранее выполненную трассировку с помощью команды меню Tools/Un-Route/All (горячие клавиши U, A).
8. Выполним команду меню Autoroute/All (горячие клавиши A, A), выберем стратегию Default 2 Layer Board и нажмем кнопку Route All.

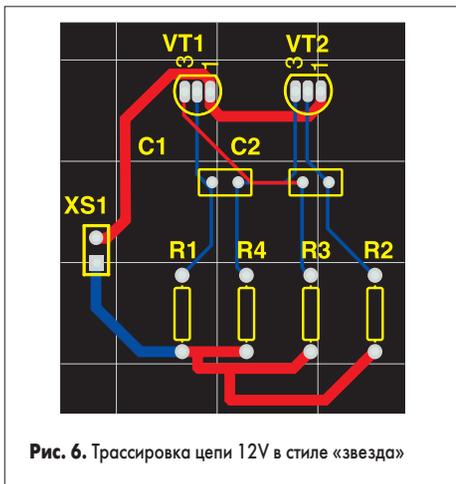


Рис. 6. Трассировка цепи 12V в стиле «звезда»

Результат работы автотрассировщика (рис. 6) показывает, что изменился стиль прокладки проводников цепи 12V. Кроме того, вернулись изначально заданные ширины цепей питания. Таким образом, правило Routing Topology определяет топологию трассировки цепей и может быть полезно, например, для повышения помехоустойчивости.

Еще одно правило из категории Routing — Routing Layer задает слои трассировки. Изменим его настройки.

1. Вызовем окно редактора правил проектирования нажатием горячих клавиш D, R.
2. Щелкнем левой кнопкой мышки на правиле Routing Layer. В правой части окна PCB Rules and Constraints Editor появится описание этого правила.

Сейчас трассировка разрешена для слоев Top Layer и Bottom Layer, причем для слоя Top Layer приоритетным направлением на слое назначена горизонтальная трассировка, а для слоя Bottom Layer — вертикальная.

3. Запретим трассировку на слое Top Layer, для чего в выпадающем списке напротив него выберем опцию Not Used (не используется).
4. Изменим приоритетное направление на слое Bottom Layer с вертикального на произвольное, для чего в выпадающем списке напротив него выберем Any (любое). Если этого не сделать, то проводники будут иметь лишние вертикальные сегменты.
5. Закроем окно PCB Rules and Constraints Editor нажатием кнопки Close.

6. Удалим ранее выполненную трассировку с помощью команды меню Tools/Un-Route/All (горячие клавиши U, A).
7. Выполним команду меню Autoroute/All (горячие клавиши A, A), выберем стратегию Default 2 Layer Board и нажмем кнопку Route All.

Программа автотрассировки проложит проводники только на одном слое (рис. 7). Результат работы будет не самым идеальным, но он не противоречит заданным нами правилам: ширины и зазоры соблюдены, все проводники проложены только на одном слое, а цепь 12V выполнена «звездой».

Из отслеживаемых программой автотрассировки правил проектирования следует указать еще три: RoutingPriority — приоритет трассировки, Routing Via Style — стиль переходных отверстий и FanoutControl — стиль

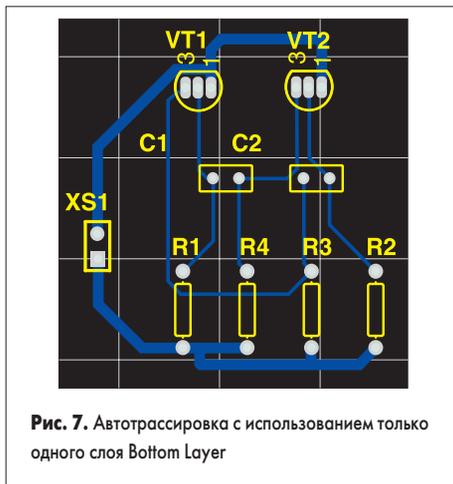


Рис. 7. Автотрассировка с использованием только одного слоя Bottom Layer

разводки стрингеров. Последнее правило RoutingCorners автотрассировщиком не учитывается, так как он всегда использует диагональный стиль разводки. Это правило было введено для обеспечения совместимости с программой SPECCTRA, но фактически не используется.

Настройка стратегии трассировки

До сих пор мы пользовались только одной из пяти эталонных стратегий трассировки, представленных в диалоговом окне Situs Routing Strategies. Тем не менее, у пользователя имеется возможность определять собственные стратегии как последовательности процедур трассировки. В качестве упражнения создадим новую стратегию.

1. Удалим ранее выполненную трассировку с помощью команды меню Tools/Un-Route/All (горячие клавиши U, A).
2. С помощью команды меню Autoroute/All (горячие клавиши A, A) вызовем диалоговое окно Situs Routing Strategies.
3. Нажмем кнопку Add. Откроется окно Situs Strategy Editor (рис. 8).

Здесь, в верхней части, в текстовых полях задаются название стратегии и ее краткое описание, а специальный движок устанавливает степень минимизации числа переходных отверстий: More Vias (Faster) — больше отверстий (быстрее), Less Vias (Slower) — меньше отверстий (медленнее). В левой нижней части окна приводится список доступных программ процедур трассировки (Available Routing Passes), а в правой — список процедур, включенных в новую стратегию по умолчанию.

Таблица

Процедура	Основное назначение
Adjacent Memory	Соединяет соседние выводы U-образными проводниками
Clean Pad Entries	Чистит подходы к контактным площадкам
Completion	Добивается завершения трассировки, для чего использует методы разрыва и расталкивания препятствий
Fan out Signal	Прорисовывает стрингеры у SMD контактных площадок на сигнальных слоях
Fan out to Plane	Прорисовывает стрингеры у SMD контактных площадок с переходами на внутренние слои питания и заземления.
Hug	Уплотняет проводники
Layer Patterns	Использует шаблоны трассировки с учетом преобладающего направления на слое
Main	Главная процедура топологической трассировки с использованием методов разрыва и расталкивания препятствий
Memory	Использует эвристический алгоритм на основе шаблонов
Spread	Равномерно использует доступное для прокладки проводников место
Straighten	Выполняет общую чистку топологии

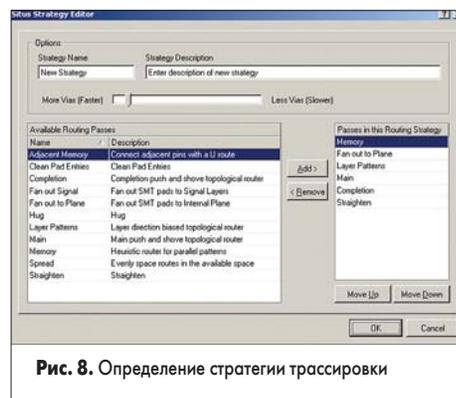


Рис. 8. Определение стратегии трассировки

Подробное описание процедур трассировки в документации отсутствует, равно как и рекомендации по их использованию. Служба технической поддержки компании Altium заявила, что готовит к выходу более полное описание автотрассировщика Situs, поэтому здесь мы ограничимся только кратким описанием (таблица).

Добавим к набору по умолчанию дополнительный проход процедуры Straighten, выполняющей «чистку» проводников (спрямление и удаление небольших сегментов).

4. Щелчком левой кнопкой мышки на любой из процедур в правом списке.
5. Щелчком левой кнопкой мышки на процедуре Straighten в левом списке.
6. Нажмем кнопку Add>, расположенную между списками. В список справа будет добавлен еще один проход процедуры Straighten.
7. Последовательным нажатием кнопки Move Down переместим добавленную процедуру в самый конец списка.
8. Нажатием кнопки ОК закроем окно Situs Strategy Editor и вернемся в окно Situs Routing Strategies.
9. Щелчком левой кнопки мышки выделим только что созданную стратегию New Strategy.
10. Нажатием кнопки Route All запустим автотрассировщик.

Результат трассировки будет мало чем отличаться от полученного ранее, однако легко видеть, что программа попыталась проложить проводники более осмысленно. Если запустить автотрассировщик несколько раз последовательно без удаления проводников, то в конечном итоге будет получена топология, близкая к идеальной (рис. 9).

В общем случае для достижения хорошего результата работы трассировщика надо со-

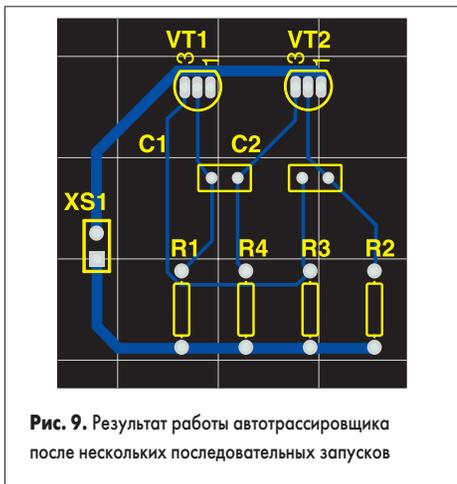


Рис. 9. Результат работы автотрассировщика после нескольких последовательных запусков

блюдать основные десять заповедей, приводимые службой технической поддержки в качестве руководства к действию.

1. Правильное задание правил проектирования согласно используемой технологии производства значительно повышает шансы получить качественную топологию.
2. При использовании компонентов с малым шагом выводов следует вводить дополнительные правила контроля зазоров между наиболее критическими контактными площадками.
3. Перед запуском автотрассировщика рекомендуется выполнить пакетную проверку правил проектирования DRC (подробнее об этом поговорим в следующих публикациях) и устранить выявленные нарушения.
4. Правильное задание приоритетного направления на слоях платы дает возможность значительно облегчить задачу трассировки, так как эта информация используется процедурой Layer Patterns.
5. Задание приоритетов трассировки позволяет сначала развести наиболее критичные цепи (в автоматическом режиме).
6. Прорисовка стрингеров (Fan out) сильно влияет на качество трассировки. Перед выполнением основных процедур рекомендуется выполнить процедуры прорисовки стрингеров, проанализировать результат и при необходимости вручную подправить проблемные места.
7. Наиболее критичные цепи следует развести вручную и заблокировать. Однако не следует слишком увлекаться блокировкой предварительно разведенных цепей, так как все они будут представлять собой дополнительные препятствия при прокладке остальных цепей.
8. Рекомендуется предварительно оценить плотность проводников и выявить проблемные области. Трассировку в этих областях следует выполнять итерационно, с использованием команд обработки отдельных цепей и компонентов.
9. Не надо бояться экспериментировать. Если трассировщик не достигает нужного результата, следует изменить стратегию. Иногда введение промежуточной процедуры чистки платы или смена направления на слое могут значительно улучшить конечную топологию.

10. Ключом к достижению хорошей топологии является качественное размещение компонентов. Система Protel DXP имеет достаточно инструментов для того, чтобы облегчить пользователю и эту задачу.

Ко всей описанной выше бочке меда, справедливости ради, следует добавить ложку дегтя. Попытка внедрить в систему Protel DXP методы топологической трассировки и переход с бессеточной технологии не прошли безболезненно. По оценкам специалистов, производительность автотрассировщика Situs оказалась значительно ниже трассировщика Shape Based, использовавшегося в системе Protel 99 SE. Сравнительный замер производительности на средней (для Запада) сложности 14-слойной плате показал следующее: Protel DXP обрабатывал плату 5 часов и не сделал 40 связей. Protel 99 SE достиг остатка из 8 связей за 3 часа. Программа Spectra фирмы Cadence обработала плату за тридцать минут, но оставила две неразведенных связи. Последний факт дал повод компании Cadence осенью 2002 года почти втрое поднять цену на свой автотрассировщик.

Автотрассировка с помощью программы Spectra

Для тех, кого не устраивают результаты работы встроенного автотрассировщика, авторы системы Protel DXP предлагают интерфейс обмена данными с программой Spectra компании Cadence. Попробуем развести нашу плату с помощью этой программы.

1. Удалим ранее выполненную трассировку с помощью команды меню Tools/Un-Route/All (горячие клавиши U, A).
2. Выполним команду меню File/Save As. На экране появится диалоговое окно, предлагающее сохранить файл в одном из поддерживаемых форматов экспорта.
3. В выпадающем списке в нижней части окна выберем тип файла Export Spectra Design File (*.dsn). Предлагаемое по умолчанию имя файла автоматически получит расширение .dsn.
4. Далее надо указать папку, в которую будет сохранен наш проект. Следует помнить, что программа Spectra не поддерживает имена папок с пробелами, поэтому во избежание возможных затруднений с последующей обработкой файла создадим в корне одного из дисков новую папку с именем Spectra.
5. Оставим имя проекта Multivibrator2.DSN без изменений и закроем окно нажатием кнопки Сохранить. На экране появится диалоговое окно Setup Spectra Router (рис. 10), которое содержит настройки, призванные управлять передачей данных о правилах проектирования и стратегии в программу Spectra. На самом деле это окно никак не влияет на содержимое экспортируемого файла, поэтому просто закроем его. Остается надеяться, что в следующих обновлениях эта ошибка будет исправлена.
6. Подтвердим формирование DSN-файла нажатием кнопки ОК в диалоговом окне Setup Spectra Router.

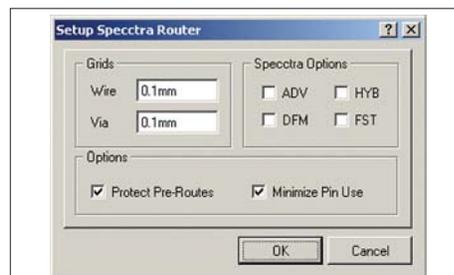


Рис. 10. Настройка экспорта файла для трассировщика Spectra

Обратите внимание, что в указанной папке будут созданы не один, а два файла с одинаковым именем, но разными расширениями. Файл Multivibrator2.dsn будет содержать описание топологии, а файл Multivibrator2.do — описание стратегии трассировки. Последний файл представляет собой не что иное, как шаблон управляющего DO-файла, содержащего минимальные настройки, необходимые и достаточные для трассировки плат. Написание DO-файлов представляет собой достаточно сложную процедуру, выходящую за рамки данного курса, поэтому мы отметим лишь основные моменты, упомянутые в этом файле.

```
# Template Do File For Protel 99 -> Spectra Autorouter
# Protel International Pty Ltd
# 25-Jun-1999
#
unit mil
```

Эта строка определяет единицы измерения, в которых описан проект. Это всегда мили (тысячные доли дюйма), независимо от системы измерения, используемой в редакторе печатных плат. Аналогичная настройка будет и в файле DSN.

```
bestsave on I:\Spectra\Multivibrator2.bst
status_file I:\Spectra\Multivibrator2.sts
grid smart (wire 1) (via 1)
```

Эта строка задает шаг сетки прокладывания проводников и шаг сетки размещения переходных отверстий.

```
smart_route
```

Эта команда собственно и есть описание стратегии трассировки и подразумевает запуск встроенного интеллектуального метода, столь полюбившегося начинающим пользователям программы Spectra. Эквивалентна процедуре Main трассировщика Situs.

```
Critic
```

Эта команда предписывает удалять небольшие сегменты проводников, засоряющие топологию. Эквивалентна процедуре Straighten трассировщика Situs.

```
#enable the spread and miter features if you have the DFM option
#spread
```

Эта команда предписывает раздвигать проводники на максимально допустимое расстояние. Эквивалентна процедуре Spread трассировщика Situs. В данный момент команда заблокирована.

#miter

Эта команда разрешает использовать скосы проводников под углом 45°. В данный момент команда заблокирована.

```
# If you have the DFM module use spread and miter instead of the following.
# Comment these lines out
Center
```

Эта команда предписывает прокладывать проводники строго по середине между двумя препятствиями, например, двумя контактными площадками.

```
Recorner Diagonal 2000 2000 2000
Recorner Diagonal 1000 1000 1000
Recorner Diagonal 500 500 500
Recorner Diagonal 250 250 250
Recorner Diagonal 125 125 125
Recorner Diagonal 100 100 100
Recorner Diagonal 50 50 50
Recorner Diagonal 25 25 25
Recorner Diagonal 10 10 10
# Stop commenting here if you have the DFM module
```

Данный блок задает допустимые размеры скосов проводников.

```
write routes I:\Specetra\Multivibrator2.rte
write wires I:\Specetra\Multivibrator2.w
report conflicts I:\Specetra\Multivibrator2.rcf
report corners I:\Specetra\Multivibrator2.rcn
report rules I:\Specetra\Multivibrator2.rtl
report status I:\Specetra\Multivibrator2.rst
report unconnect I:\Specetra\Multivibrator2.ruc
report vias I:\Specetra\Multivibrator2.rva
quit
```

Эта команда закрывает программу Specetra.

Информация о правилах проектирования, регламентирующих ширины проводников, зазоры между ними, рекомендуемые слои, приоритеты и топологии трассировки, будет передана внутри DSN-файла.

7. Запустим программу Specetra. На экране появится диалоговое окно выбора проекта (рис. 11).

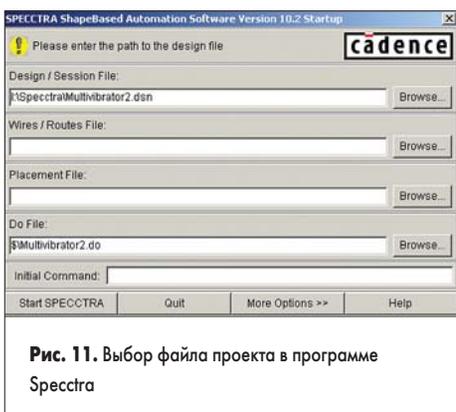


Рис. 11. Выбор файла проекта в программе Specetra

8. Нажмем на кнопку Browse, расположенную справа от строки Design/Sesion File, и выберем файл Multivibrator2.dsn.

9. Нажмем на кнопку Browse, расположенную справа от строки Do File, и выберем файл Multivibrator2.do.

10. Нажмем кнопку Start SPECETRA.

Программа автоматически загрузит оба файла, выполнит трассировку согласно описанной выше стратегии (рис. 12), сохранит результаты и закроется.

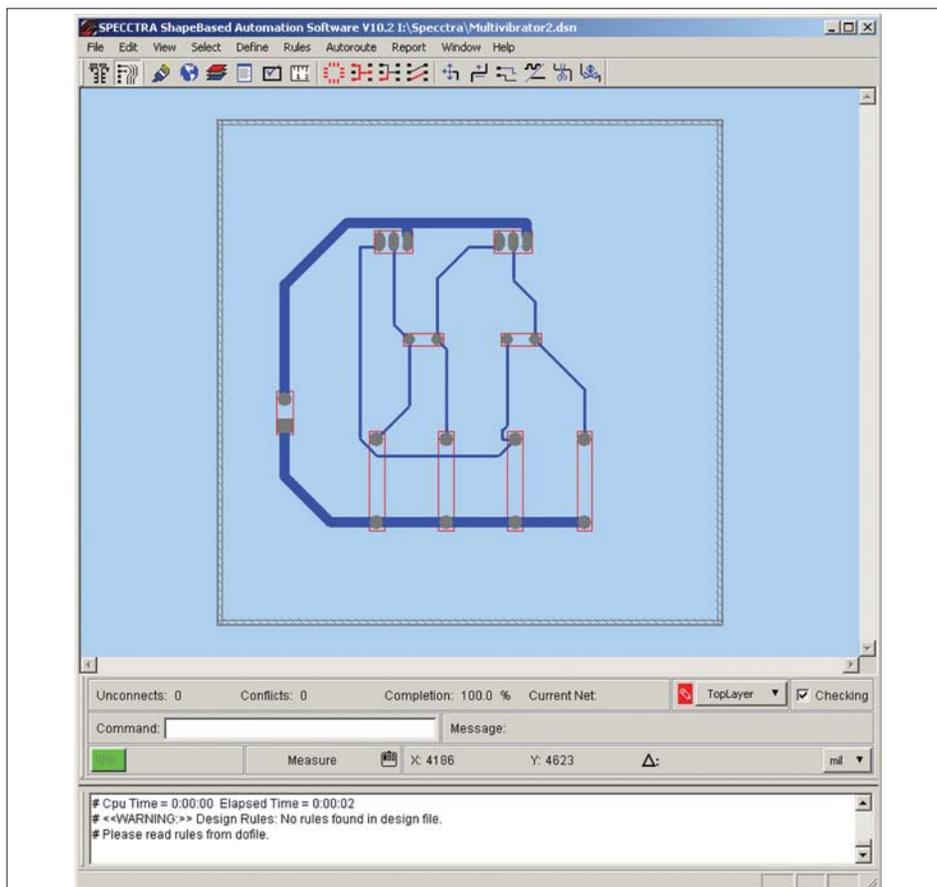


Рис. 12. Процесс трассировки в программе Specetra

В папке Specetra будут созданы файлы отчета, главным из которых является файл Multivibrator2.rte, содержащий описание проложенных проводников. Именно его мы и будем импортировать в Protel DXP.

11. Нажатием клавиши Q в редакторе печатных плат системы Protel DXP переключим систему единиц с метрической на дюймовую. Это упростит импорт RTE-файла, описанного в милах.

12. Выполним команду File/Import и в появившемся окне выберем файл Multivibrator2.rte.

13. Нажмем кнопку Открыть. Программа загрузит нужный файл и одновременно с ним автоматически откроет файл Multivibrator2.sts, содержащий отчет о выполненной трассировке.

14. Щелчком на вкладке с именем файла Multivibrator2.PcbDoc вернемся в редактор печатных плат.

15. Нажатием клавиши Q в редакторе печатных плат системы Protel DXP переключим систему единиц с дюймовой на метрическую.

16. Для обновления линий связи выделим все компоненты в окне охвата и выполним щелчок левой кнопкой мышки на любом из компонентов.

Рассмотрим результат работы программы Specetra. На нашей печатной плате появятся проводники, проложенные, как и следовало, на нижнем слое платы (рис. 13). Цепи 12V и DNG будут иметь ширину 1 мм. В целом результат трассировки будет мало чем отличаться от полученного ранее с помощью встроенного автотрассировщика Situs. Следует, прав-

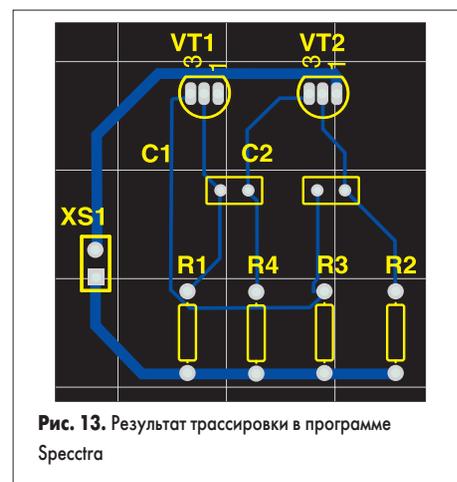


Рис. 13. Результат трассировки в программе Specetra

да, учитывать, что наша плата очень простая и не является показателем.

Отметим, что программа Specetra, как и трассировщик Situs, имеет функцию блокирования предварительно разведенных критических цепей. Следует помнить, что формат DSN-файлов не допускает описания дуг, поэтому все предварительно разведенные и переданные в Specetra проводники с дугами будут испорчены.

Поиск неразведенных цепей

При работе со сложными печатными платами нередки случаи, когда программе автотрассировки не удается полностью завершить прокладку всех без исключения проводников. Соответствующее сообщение появляется на панели Messages, однако в нем приводится лишь указание числа неразведенных связей

и процент завершения. Неразведенные цепи показываются в редакторе печатных плат линиями связи, которые могут быть не заметны на фоне других проводников.

Выявить неразведенные цепи можно с помощью специального правила проектирования Un-Routed Net из категории Electrical. Прделаем следующее упражнение.

- Щелчком левой кнопкой мышки выделим любой из сегментов проводников и удалим его нажатием клавиши Delete.
- С помощью команды меню Design/Rules (горячие клавиши D, R) вызовем окно редактора правил проектирования и проверим, задано ли и включено ли правило проектирования Un-Routed Net с областью действия All (все цепи). Закроем окно.
- Выполним команду меню Tools/Design Rule Check, после чего откроется окно настройки пакетной проверки правил проектирования Design Rule Checker (рис. 14). Позднее мы рассмотрим возможности этого модуля более подробно, а сейчас нас интересует только правило Un-Routed Net.
- Выполним щелчок левой кнопкой мышки на категории Electrical и убедимся, что напротив правила Un-Routed Net в столбце Batch включена «галочка».

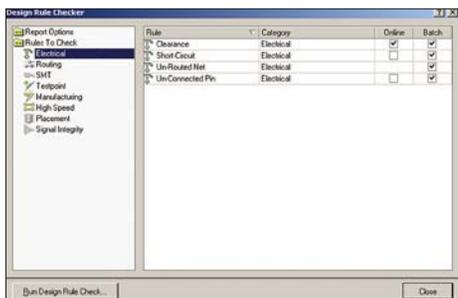


Рис. 14. Настройка пакетной проверки правил проектирования

- Нажатием кнопки Run Design Rule Check запустим процесс проверки. На экране откроется отчет, содержащий описание выполненных проверок, в котором будет содержаться только одно сообщение о выявленном нарушении:

```
Processing Rule : Broken-Net Constraint ( (All) )
Violation Net NetC2_2 is broken into 2 sub-nets. Routed To 50.00%
Subnet : R3-2 C2-2
Subnet : VT1-3
Rule Violations : 1
```

Данная запись сообщает, что выявлена неразведенная цепь NetC2_2, разбитая на две части. Посмотрим, что это за цепь — для этого переключимся в редактор печатных плат.

- Щелчком левой кнопки мышки на вкладке PCB перейдем на панель управления редактором печатных плат.
- В выпадающем списке в верхней части панели укажем тип просматриваемых объектов Rules. В нижней части панели под списком заданных правил будет приведено одно единственное выявленное нарушение.

8. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мышки на данном нарушении.

Появится окно Violation Details с его подробным описанием (рис. 15). Нажатие

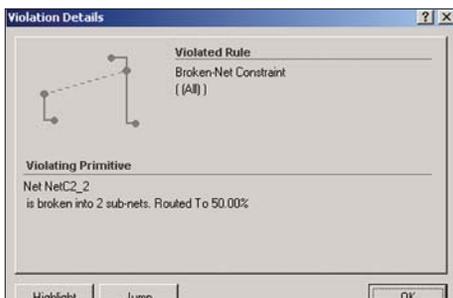


Рис. 15. Просмотр неразведенных цепей

на кнопку Highlight позволяет подсветить нарушение, а нажатие на кнопку Jump — переключить редактор в режим его наиболее оптимального просмотра. Далее нам остается только вспомнить предыдущие уроки и вручную нарисовать недостающий сегмент.

Иногда прокладка такого проводника может оказаться невозможной, например, из-за очень высокой плотности проводников на данном участке платы. В этом случае может потребоваться передвинуть тот или иной компонент. Если сделать это с помощью команд Move, Drag или Drag Track End, то подходящие к компоненту сегменты проводников придется перерисовывать. При большом количестве выводов это может оказаться достаточно трудоемкой операцией, а запуск автотрассировщика не даст хороших результатов, так как все уже проложенные проводники будут излишне усложнять задачу трассировки. В таком случае необходимо выполнять следующую последовательность действий.

- Выполнить команду меню Tool/Un-Route/Component (горячие клавиши U, O) и указать компонент, который вы собираетесь переместить.
 - Нажатием клавиши Esc или щелчком правой кнопки мышки выйти из режима удаления проводников.
 - Захватить и, удерживая левую кнопку мышки, переместить компонент в нужное место.
 - Выполнить команду меню Auto Route/Component (горячие клавиши A, O) и указать компонент. Программа заново выполнит трассировку подходящих к нему цепей.
- Итак, на данном занятии мы рассмотрели основы автотрассировки. На следующем уроке мы изучим вопросы верификации и оформления чертежа печатной платы.

Protel DXP для начинающих

Урок 7

На прошлом занятии мы выполняли поиск неразведенных цепей с помощью пакетной проверки правил проектирования (DRC). В общем случае такая проверка является важным этапом проектирования и служит для верификации платы. Рассмотрим ее подробнее.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Вернемся к нашему изначальному, разведенному вручную проекту Multivibrator.PrjPcb и откроем файл Multivibrator.PcbDoc. Сначала принудительно введем в проект нарушение, которое затем обнаружим.

1. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на одном из проводников, подходящих к выводам транзистора VT1. Откроется окно редактирования параметров линии Track (рис. 1).
2. Изменим ширину проводника, для чего в поле Width введем значение 1mm.
3. Нажмем кнопку ОК.

Ширина проводника изменится, а функция автоматической проверки правил проектирования сразу выявит связанные с этим нарушения и подсветит конфликтующие объекты (рис. 2). Обратите внимание, что редактирование проводника мы выполняли, как изменение параметров обычного объекта. Если бы мы пользовались функцией интерактивной трассировки, то система отследила бы нарушение и не позволила выполнить некорректную операцию. В данном случае проводник воспринимался как обычная линия, поэтому изменение было выполнено.

Так как редактор печатных плат поддерживает очень широкий набор правил проектирования, нарушение некоторых из которых не может быть выявлено в ходе автоматической (on-line) проверки DRC, по завершению разводки платы рекомендуется выполнить пакетную (batch) проверку DRC.

4. Выполним команду меню Tools | Design Rule Check. На экране появится диалоговое окно Design Rule Checker, знакомое нам по предыдущему занятию.

5. Первым откроется набор настроек отчета о проверке DRC. Включим все имеющиеся здесь опции и оставим ограничение на число выявленных нарушений равным 500.

6. Далее проверим, какие из правил проектирования включены в проверку, для чего последовательно щелкнем левой кнопкой мыши по каждой из приведенных в списке справа категорий правил проектирования.

Отметим, что здесь приведены восемь из десяти используемых редактором категорий правил проектирования. Правила Mask и Plane учитываются непосредственно при прорисовке соответствующих объектов, поэтому нет смысла выполнять их проверку.

7. Убедимся, что в ходе пакетной проверки будут учитываться все правила категорий Electrical и Routing. Напротив каждого из этих правил в столбце Batch должна быть включена «галочка».
8. Нажмем кнопку Run Design Rule Check.

На экране откроется отчет, содержащий описание выполненных проверок, в котором будет содержаться два сообщения о выявленных нарушениях:

Processing Rule : Width Constraint (Min=0.3048mm) (Max=0.3048mm) (Preferred=0.3048mm) (All)

Violation Track (18mm,37mm)(19.46mm,28mm) Top Layer Actual Width = 1mm
Rule Violations :1

Processing Rule : Clearance Constraint (Gap=0.2mm) (All),(All)

Violation between Pad VT1-1(19.27mm,37mm) Multi-Layer and Track (18mm,37mm)(19.46mm,28mm) Top Layer
Rule Violations :1

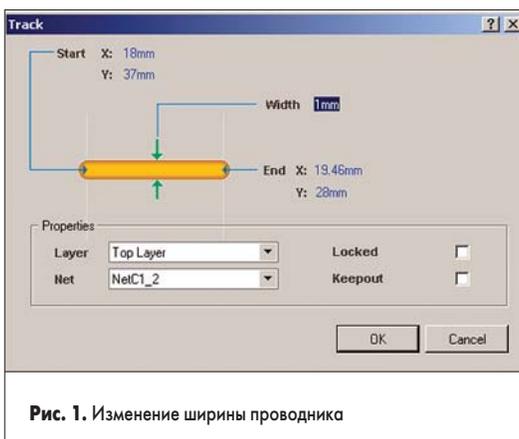


Рис. 1. Изменение ширины проводника

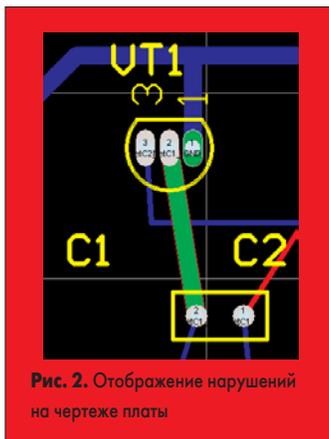


Рис. 2. Отображение нарушений на чертеже платы

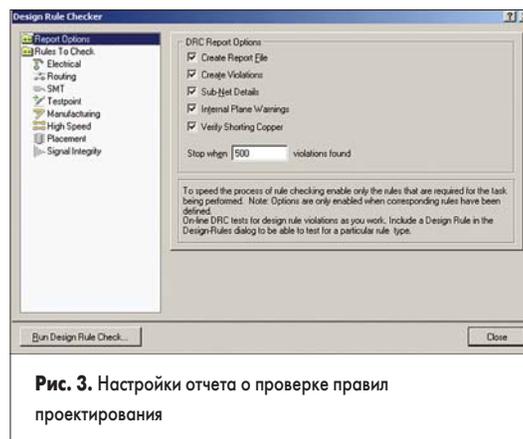


Рис. 3. Настройки отчета о проверке правил проектирования

Первая запись сообщает, что выявлен проводник на верхнем слое, ширина которого равна 1 мм в то время, как правило Width Constraint задает ширину равную 0.3048 мм. Вторая запись сообщает, что нарушено правило контроля зазора между проводниками разных цепей Clearance Constraint, что очень хорошо видно на рисунке 2.

- Щелчком левой кнопки мыши на вкладке РСВ перейдем на панель управления редактором печатных плат.
- В выпадающем списке в верхней части панели укажем тип просматриваемых объектов Rules. В нижней части панели под списком заданных правил будут приведены два описанных выше нарушения.

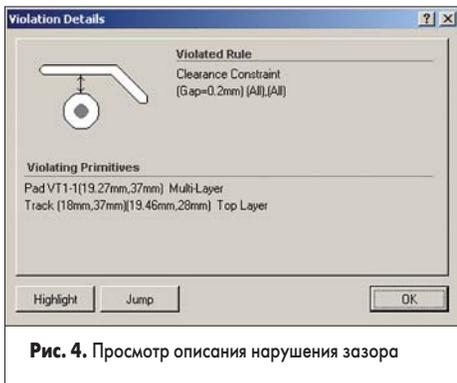


Рис. 4. Просмотр описания нарушения зазора

- Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на нарушении Track/Pad. На экране появится окно Violation Details, показанное на рисунке 4, которое сигнализирует о том, что зазор оказался меньшим 0.2 мм. Но нас интересует точное расстояние между объектами.
- Нажмем на кнопку Jump, после чего редактор переключится в режим оптимального отображения конфликтующих объектов.
- Закроем окно нажатием кнопки ОК.
- Выполним команду меню Reports | Measure Primitives (горячие клавиши R, P). Указатель приобретет вид крестика, а в строке состояния появится подсказка Choose First Primitive (выберите первый объект).
- Наведем указатель мыши на подсвеченный зеленым цветом конфликтный проводник и выполним на нем щелчок левой кнопкой мыши.
- Наведем указатель мыши на второй конфликтный объект — контактную площадку вывода транзистора VT1 — и выполним на ней щелчок левой кнопкой мыши.

На экране появится окно Design Explorer Information с сообщением, что расстояние между указанными линией и контактной площадкой равно 0.1735 мм (рис. 5). Далее разра-

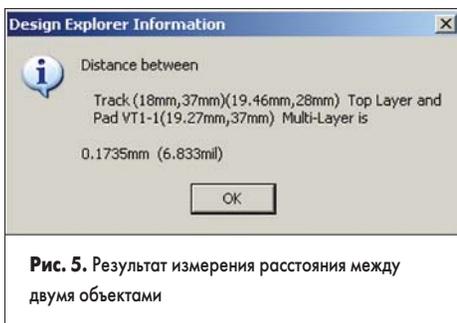


Рис. 5. Результат измерения расстояния между двумя объектами

ботчик должен сам решать, устраивает ли его такой зазор или нет. Если зазор достаточен, то следует изменить имеющееся правило проектирования или создать новое, относящееся только к данным объектам, с меньшим значением допустимого расстояния. Если нет, то следует уменьшить ширину проводника. В нашем случае лучше вернуться к начальному значению ширины.

- Закроем окно нажатием кнопки ОК.
- Выполним несколько раз команду Edit | Undo (горячие клавиши CTRL+Z), пока проект платы не вернется в изначальное состояние.

Мы рассмотрели одно из простейших нарушений, но этого достаточно, чтобы понять, как работает система проверки правил проектирования DRC. В ходе работы над сложными проектами разработчику придется выявлять и исправлять сотни подобных нарушений, но есть один момент, на который следует обратить особое внимание.

Система Protel DXP имеет модуль анализа целостности сигналов, позволяющий оценить искажения сигналов, а также взаимные наводки в проводниках разработанной платы. Аналогичные модули имеются почти во всех системах проектирования печатных плат, но в системе Protel DXP он интегрирован непосредственно в редактор плат и позволяет выполнять первичный анализ на уровне DRC. Критерии оценки качества сигналов задаются специальными правилами проектирования из категории Signal Integrity. При пакетной проверке запускается система моделирования сигналов в проводниках платы и, если паразитный сигнал превышает определенный уровень, генерируется и заносится в отчет информация о нарушении. В дальнейшем выявленное нарушение служит подсказкой при более подробном анализе электромагнитной совместимости.

Отметим, что вопрос анализа целостности сигналов достаточно сложен, поэтому позднее мы посвятим ему отдельное занятие.

Генерация отчетов

Система Protel DXP предоставляет пользователю широкий набор средств генерации различных отчетов, от обычных сообщений, содержащих статистическую информацию, до сложных таблиц и перечней используемых материалов (BOM, Bill of Material). Кроме того, в сложных проектах, содержащих несколько РСВ документов, отчеты могут быть сформированы как для отдельных плат, так и для проекта целиком.

Посмотрим статистику нашего проекта печатной платы.

- Выполним команду меню Reports | Board Information.

На экране появится диалоговое окно PCB Information с кратким отчетом количестве объектов на плате (рис. 6). На вкладке General приводится общая информация, например, габариты платы по контуру Keep-Out, число графических примитивов, контактных площадок, переходных отверстий и нарушений. На вкладках Components и Nets

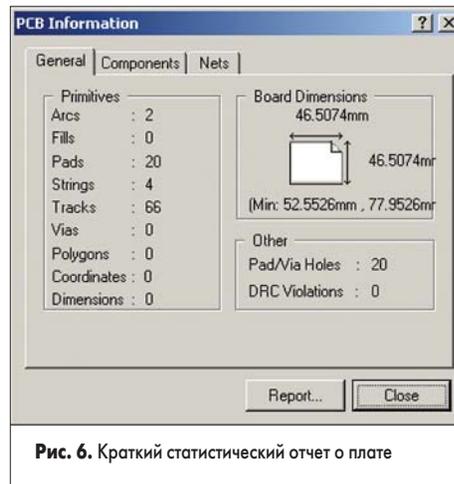


Рис. 6. Краткий статистический отчет о плате



Рис. 7. Настройка генератора статистического отчета

приведены списки компонентов и цепей соответственно.

- Нажмем кнопку Report, расположенную в нижней части окна. Откроется окно Board Report (рис. 7) со списком настроек генератора статистического отчета.
- Нажмем кнопки All On включим все приведенные здесь опции.
- Нажмем кнопку Report. На экране откроется только что сгенерированный отчет Multivibrator.REP, открытый в системе Protel как свободный документ. При необходимости его можно добавить в проект. Формат отчета прост и понятен, а потому не требует дополнительных комментариев. Далее выполним генерацию простого печатного списка используемых материалов BOM, для чего вернемся в редактор печатных плат.

- Выполним команду меню Reports | Simple BOM.

В проект будет автоматически добавлена категория файлов Generated Text Files, в которой будут присутствовать два файла: Multivibrator.BOM и Multivibrator.CSV. На диске же эти файлы будут храниться в специальной папке Project Outputs for Multivibrator. Имя этой папки задается в поле Output Path, расположенном на вкладке Options диалогового окна Options for Project, вызываемом командой меню Project | Project Options.

Файл Multivibrator.BOM будет содержать список компонентов удобным для чтения формате:

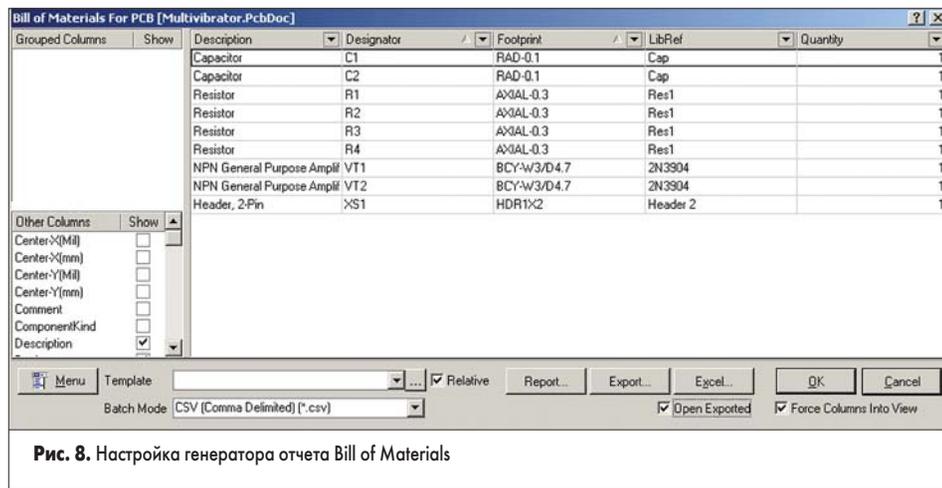


Рис. 8. Настройка генератора отчета Bill of Materials

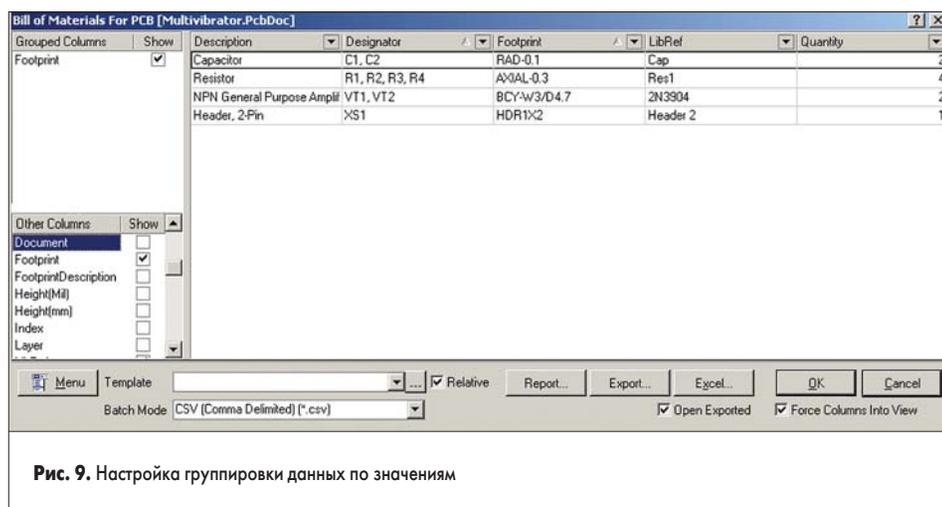


Рис. 9. Настройка группировки данных по значениям

Comment Pattern Quantity Components

0.02 RAD-0.1 2 C1, C2 Capacitor
 100k AXIAL-0.3 2 R1, R2 Resistor
 1k AXIAL-0.3 2 R3, R4 Resistor
 2N3904 BCY-W3/D4.7 2 VT1, VT2 NPN General Purpose Amplifier
 Header 2 HDR1X2 1 XS1 Header, 2-Pin

В файле Multivibrator.CSV будет содержаться та же информация, но в удобном для дальнейшей компьютерной обработки с помощью редакторов электронных таблиц формате с разделителями (Comma Separated Values):

«Comment», «Pattern», «Quantity», «Components»

«0.02», «RAD-0.1», «2», «C1, C2», «Capacitor»
 «100k», «AXIAL-0.3», «2», «R1, R2», «Resistor»
 «1k», «AXIAL-0.3», «2», «R3, R4», «Resistor»
 «2N3904», «BCY-W3/D4.7», «2», «VT1, VT2», «NPN General Purpose Amplifier»
 «Header 2», «HDR1X2», «1», «XS1», «Header, 2-Pin»

Однако, в ряде случаев такой простой формы отчета об используемых материалах может быть недостаточно. Более сложные отчеты строятся с помощью специального модуля.

1. Находясь в редакторе печатных плат, выполним команду меню Reports | Bill of Materials.

Откроется диалоговое окно Bill of Materials for PCB, показанное на рисунке 8. Здесь слева внизу приведен полный список атрибутов, которые могут быть включены в отчет. Все атрибуты, у которых включена опция Show, отображаются в правой части окна в виде таблицы. В заголовке каждого столбца имеется выпадающий список, позволяющий вводить фильтрацию данных.

- Щелкнем на значке выпадающего списка, расположенного заголовке столбца Description и выберем строку Resistor. В таблице останутся записи только о резисторах.
- Щелкнем левой кнопкой мыши на заголовке столбца Designator. Все резисторы будут отсортированы по позиционному обозначению. Повторный щелчок меняет направление сортировки.
- Добавим столбец, содержащий номиналы резисторов, для чего в списке Other Columns поставим «галочку» напротив атрибута Comment.
- Щелкнем на значке выпадающего списка, расположенного заголовке столбца Comment и выберем строку 100k. В таблице останутся записи только о резисторах с номиналом 100 кОм.
- Выключим фильтрацию таблицы, для чего во всех фильтрах выберем строку All. Столбцы с включенным фильтром можно отличить от других по синему цвету значка выпадающего списка.
- Воспользуемся возможностью группировки данных по значениям.
- Щелкнем левой кнопкой мыши на атрибуте, например, Footprint в списке Other Columns и, удерживая ее нажатой, перетащим его в список Grouped Columns. Вид таблицы в правой части изменится (рис. 9). Все компоненты окажутся сгруппированными по имени топологического посадочного места, а в столбце Designator будут показаны списки позиционных обозначений компонентов с одинаковым значением атрибута Footprint.

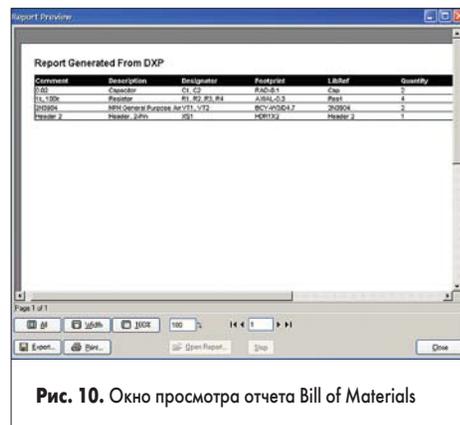


Рис. 10. Окно просмотра отчета Bill of Materials

8. Сформируем отчет в удобной для печати форме, для чего нажмем кнопку Report в нижней части окна. Появится окно предварительного просмотра распечатки отчета Report Preview (рис. 10).

Если нам нужна распечатка отчета, нажмем кнопку Print, расположенную в нижней части этого окна. Появится стандартное окно системы Windows окна выбора и настройки принтера, в котором следует сделать все необходимые установки и нажать кнопку ОК. Но чаще всего требуется сформировать список BOM в виде файла в одном из популярных форматов, например, Rich Text Format или Adobe PDF.

9. Нажмем кнопку Export, после чего на экране появится окно задания имени файла, в котором в поле Тип Файла из списка следует выбрать нужный формат.

10. Выберем в списке строку Rich Text Format (RTF) (*.rtf) и нажмем кнопку ОК.

В указанной на диске будет создан файл Multivibrator.RTF, который можно открыть и отредактировать с помощью программы Microsoft Word.

11. Закроем окно Report Preview нажатием кнопки Close и вернемся в редактор отчетов Bill of Materials for PCB.

Здесь также имеется функция экспорта, ориентированная прежде всего на редактор электронных таблиц Microsoft Excel.

12. Включим опцию Open Exported.

13. Нажмем кнопку Excel. На диске компьютера в папке Project Outputs for Multivibrator будет создан файл Multivibrator.xls, который автоматически откроется с помощью приложения Microsoft Excel.

14. Вернемся и систему Protel DXP и закроем редактор отчетов нажатием кнопки ОК.

15. Выполним команду меню Reports | Netlist Status, чтобы получить еще один отчет для данной платы — отчет о длинах цепей. В среде Design Explorer откроется свободный документ Multivibrator.REP, содержащий информацию о расположении и длинах всех цепей платы.

Все перечисленные отчеты относились только к данной плате. Напомним, что проекты в системе Protel DXP могут быть очень сложными и содержать несколько печатных плат. Для таких проектов можно сформировать четыре типа отчетов, а соответствующие команды находятся в разделе меню Reports | Projects Reports. Помимо описанных выше Simple BOM и Bill of Materials здесь можно получить отчет об иерархической структуре про-

екта (Report Project Hierarchy) и файл перекрестных ссылок (Component Cross Reference).

Формирование листа чертежа печатной платы

Для получения полноценного чертежа печатной платы к нему надо добавить стандартную форматку подходящего размера. Ее можно просто нарисовать, однако, как правило, у разработчиков всегда имеются в наличии какие-либо чертежи в формате DWG или DXF, подготовленные в системе AutoCAD, поэтому форматку можно взять оттуда. Выполним импорт DWG файла.

1. С помощью команды меню File | New | PCB создадим новый PCB документ с настройками по умолчанию. Размеры платы и другие настройки нас сейчас не интересуют.
2. Находясь в редакторе печатных плат, выполним команду меню File | Import. Откроется окно выбора импортируемого файла.

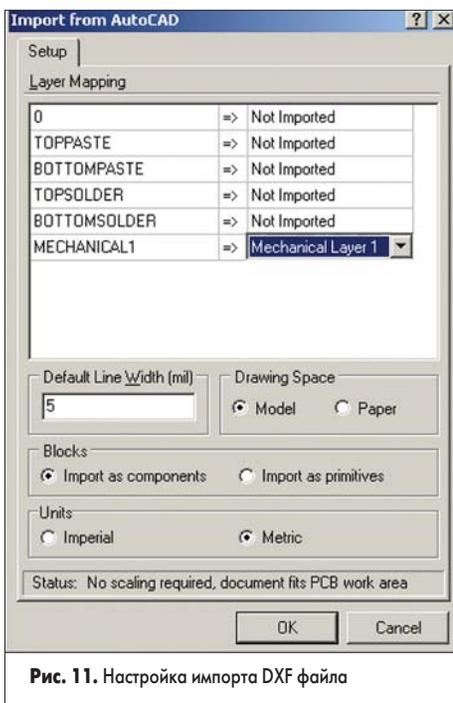


Рис. 11. Настройка импорта DXF файла

3. В выпадающем списке Тип Файла выберем строку AutoCAD (*.DXF; *.DWG), выберем нужный файл и нажмем кнопку Открыть. На экране появится диалоговое окно Import from AutoCAD (рис. 11). Сначала настроим таблицу импорта слоев (маппинг). В импортируемом чертеже рисунок форматки находится на слое MECHANICAL1, и нам надо, чтобы его содержимое было загружено на слой Mechanical Layer 1 заготовки печатной платы. Содержимое остальных слоев можно игнорировать.
4. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на названии слоя, на который система Protel автоматически предлагает импортировать содержимое слоя MECHANICAL1.
5. В появившемся выпадающем списке выберем строку Mechanical Layer 1.
6. Выполним аналогичные действия для других слоев, только в выпадающем списке будем выбирать строку Not Imported.
7. Если импортируемый чертеж был нарисован в метрической системе единиц, в поле

Unit включим опцию Metric. О правильном выборе единиц измерения будет сигнализировать сообщение в нижней части окна «Status: No scaling required, documents fits PCB work area» (масштабирование не требуется).

8. Нажмем кнопку ОК. Содержимое DXF файла будет загружено в проект печатной платы.
9. С помощью мыши выделим в окне охвата ненужные объекты чертежа и нажмем клавишу Delete.
10. Когда на чертеже останется только рамка, выделим все объекты нажатием комбинации клавиш CTRL+A.
11. С помощью команды меню Edit | Copy (горячие клавиши CTRL+C) скопируем выделенные объекты в буфер обмена.
12. После того, как указатель мыши примет вид крестика, выберем точку захвата выделения.
13. Перейдем на нашу плату мультивибратора.
14. Выполним команду меню Edit | Paste (горячие клавиши CTRL+V) вставим в проект содержимое буфера обмена.
15. Форматка окажется приклеенной к указателю мыши. Сдвинем его в нужное место и выполним один щелчок левой кнопкой мыши. Рамка с основной надписью будет вставлена в чертеж, но при первом же изменении масштаба она исчезнет. Это объясняется тем, что она была вставлена на выключенный слой Mechanical Layer 1.
16. Нажатием клавиши L вызовем окно Board Layers and Colors и включим «галочки» в столбцах Show и Linked to Sheet напротив слоя Mechanical Layer 1. Опция Linked to Sheet означает, что содержимое данного слоя будет ассоциироваться с графическим оформлением чертежа и предотвращает случайное его изменение при работе с платой.
17. Закроем окно Board Layers and Colors нажатием кнопки ОК. Рамка отобразится в поле редактора печатных плат.
18. Выполним команду меню Design | Board Options и в появившемся окне Board Options включим опцию Display Sheet, расположенную в поле Sheet Position, чем включим режим отображения листа чертежа платы. Вокруг рисунка платы появится белое поле, имитирующее лист бумаги.
19. Выполним команду меню Design | Board Shape | Auto-Position Sheet. Белое поле примет форму контура рамки.
20. Изменим масштаб просмотра чертежа нажатием горячих клавиш V, D.
21. Переместим чертеж платы в центр рамки или в любое другое подходящее место. Для этого с помощью мыши выделим в окне охвата всю плату, наведем указатель мыши на любой из выделенных объектов, щелчком левой кнопкой мыши и, удерживая ее, переместим плату в новое место (рис. 12).
22. Сохраним документ нажатием комбинации клавиш CTRL+S.

При импорте форматки из DXF файла иногда могут возникнуть проблемы с перекодировкой текстовых надписей, в этом случае их проще сделать заново. Для того, чтобы надписи

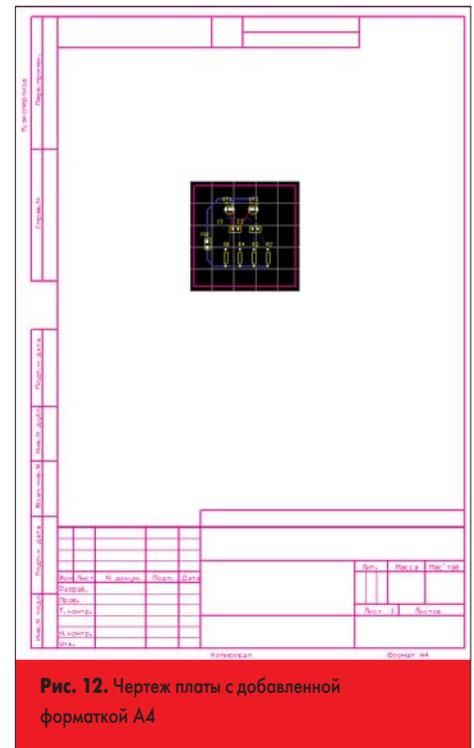


Рис. 12. Чертеж платы с добавленной форматкой А4

на русском языке отображались в редакторе печатных плат правильно, необходимо установить в систему Protel DXP специальные векторные шрифты, которые можно скачать по адресу <http://www.eltm.ru/index.sema?a=demos&pid=22>. Заготовки стандартных форматок чертежей по ГОСТ можно найти по адресу http://www.eltm.ru/store/Protel_Titles_For_PCB.zip.

Простановка размеров

Прежде чем выводить чертеж на печать, проставим габаритные размеры платы.

1. Изменим масштаб просмотра чертежа нажатием горячих клавиш V, F. Чертеж займет все окно редактора печатных плат.
2. Вращением ролика мыши сдвинем чертеж чуть вверх. В обычном режиме вращение ролика сдвигает изображение вверх/вниз. При нажатой клавише SHIFT изображение сдвигается влево/вправо, а при нажатой клавише CTRL — масштабируется ближе/дальше. Если на вашей мыши нет ролика, для сдвига изображения можно воспользоваться клавишами стрелок, а для масштабирования клавишами PageUp и PageDown.
3. Нажатием клавиши L вызовем окно Board Layers and Colors и включим «галочку» в столбце Show напротив слоя Mechanical Layer 2, на котором мы будем проставлять размеры. Закроем окно. Прежде чем проставить линейный размер, изменим его параметры по умолчанию. Эту процедуру можно выполнить для любого объекта редактора печатных плат и избавиться от необходимости его последующего редактирования.
4. Выполним команду меню Tools | Preferences. Откроется диалоговое окно Preferences.
5. Щелкнем левой кнопкой мыши по вкладке Defaults.
6. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на значке +, расположенном слева от строки Dimension в списке Primitive Type.

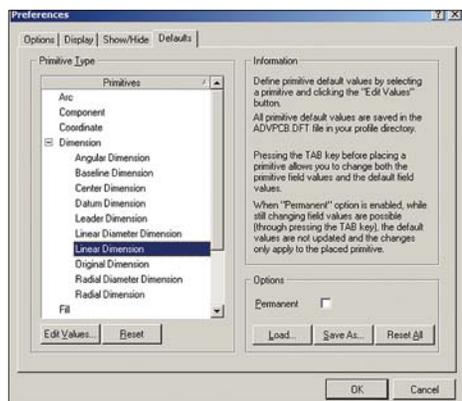


Рис. 13. Вкладка настройки параметров объектов по умолчанию

7. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на строке Linear Dimension (рис. 13). Откроется окно редактирования параметров обозначения линейного размера Linear Dimension (рис. 14). Большинство настроек здесь очевидны и не требуют пояснения.

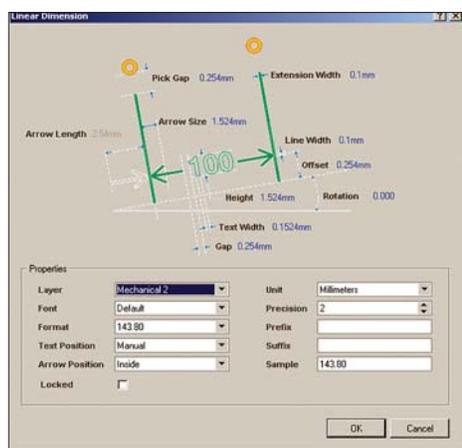


Рис. 14. Настройка параметров обозначения линейного размера

8. В полях Extension Width и Line Width зададим толщину линий размера 0.1mm.
9. В поле Text Position выберем опцию Manual (позднее мы покажем для чего).
10. В поле Unit выберем опцию Millimeters. При желании можно изменить и другие настройки. Поля Prefix и Suffix оставим пустыми. Пример текста размера будет приведен в поле Sample.
11. Сохраним сделанные изменения нажатием кнопки ОК.
12. Закроем окно Preferences нажатием кнопки ОК.

Начнем простановку горизонтального размера платы. Для этого в редакторе имеется специальная панель инструментов, которую можно включить командой меню View | Toolbars | Dimensions.

13. Перейдем на слой Mechanical Layer 2 щелчком левой кнопки мыши на соответствующей закладке в нижней части окна редактора плат.
14. Выполним команду меню Place | Dimension | Linear Dimension (горячие клавиши P, D, L) или нажмем соответствующую кнопку на панели инструментов Dimension. К указателю мыши окажется приклеенным обозначение нулевого размера.

15. Наведем указатель мыши на левый нижний угол платы и щелкнем левой кнопкой мыши, чем зададим первую точку размера (рис. 15a).
16. Наведем указатель мыши на правый нижний угол платы и щелкнем левой кнопкой мыши, чем зададим вторую точку размера (рис. 15b).
17. Сдвинем мышь немного вниз и щелкнем левой кнопкой мыши, чем зададим вертикальное положение обозначения размера (рис. 15c). Система автоматически завершит его прорисовку и предложит начать рисовать следующее (рис. 15d).
18. Нажатием правой кнопки мыши или клавиши Esc выйдем из режима рисования размеров.
19. Размер будет выделенным и поэтому плохо заметным на белом фоне листа. Снимем выделение щелчком левой кнопки мыши в любом пустом месте чертежа платы. Обратите внимание, что текст размера получился вписанным в разрыв между линиями размера, что недопустимо по российским стандартам. Исправим положение надписи.
20. Наведем указатель мыши на текст размера. Нажмем и будем удерживать левую кнопку мыши на нем.

Текст размера приклеится к указателю мыши, как в режиме перемещения обычных текстовых надписей (рис. 15e). Отметим, что это будет возможным только в случае, если опция Text Position задана как Manual, что мы сделали ранее.

21. Переместим текст размера немного вверх, расположив его над линией, и отпустим левую кнопку мыши. Ранее разорванная линия автоматически замкнется (рис. 15f). Заметим, что Protel DXP единственная зарубежная система проектирования печатных плат, где возможны подобные манипуляции над размерами.

Проставим вертикальный размер платы. Изменим масштаб обзора платы так, чтобы было удобно проставлять вертикальный размер слева от платы.

22. Выполним команду меню Place | Dimension | Linear Dimension (горячие клавиши P, D, L) или нажмем соответствующую кнопку на панели инструментов Dimension. К указателю мыши окажется приклеенным обозначение нулевого размера в горизонтальной ориентации.
23. Наведем указатель мыши на правый нижний угол платы и щелкнем левой кнопкой мыши, чем зададим первую точку вертикального размера.
24. Нажмем клавишу Spacebar, чем изменим ориентацию размера на вертикальную. На самом деле будет выполнен поворот размера на заданный в окне Preferences шаг поворота Rotation Step.
25. Наведем указатель мыши на правый верхний угол платы и щелкнем левой кнопкой мыши, чем зададим вторую точку вертикального размера (рис. 15b).
17. Сдвинем мышь немного вправо и щелкнем левой кнопкой мыши.
18. Выйдем из режима рисования размеров.
19. Описанным выше способом изменим положение текстовой надписи.

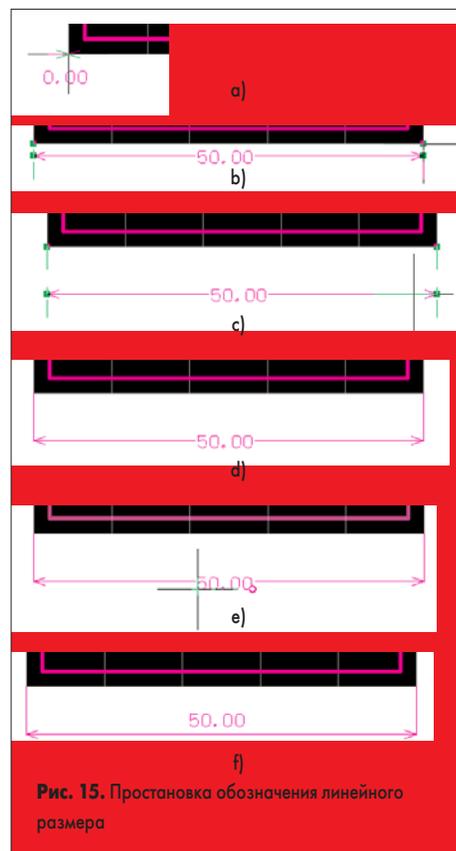


Рис. 15. Простановка обозначения линейного размера

Иногда может возникнуть необходимость изменить положение обозначения размера. Для этого необходимо выполнить щелчок левой кнопкой мыши на любом объекте размера и переместить появившиеся в основных точках маркеры-манипуляторы в нужное место, после чего снять выделение.

Помимо описанных выше линейных размеров в редакторе печатных плат можно проставить размер диаметра, радиуса, линейные размеры от опорной точки, координатные метки, угловые размеры. Все размеры являются объектно-связанными, что означает, что при изменении, например, диаметра окружности обозначение ее диаметра будет меняться автоматически.

Пожалуй, последнее, что нам следует сделать перед выводом чертежа на печать, это нарисовать контур платы. Черное поле, которое мы до сих пор видели в редакторе плат, называется Board Shape (форма платы) и является некоторой абстракцией, которая не может быть выведена на печать, так как не содержит ни каких объектов, прорисованных на одном из слоев. Мы создавали заготовку платы с помощью специального мастера, но в большинстве реальных случаев контур платы импортируется в редактор из механических САПР, например, через DXF формат. Потом форма платы Board Shape формируется по набору выделенных объектов этого контура с помощью команды меню Design | Board Shape | Define from selected objects.

В нашем случае сделаем обратную процедуру: на одном из механических слоев платы нарисуем контур из линий по имеющейся форме платы.

1. Нажатием клавиши L вызовем окно Board Layers and Colors и включим «галочку» в столбце Show напротив слоя Mechanical Layer 3, на котором мы будем рисовать контур платы. Закроем окно.

2. Перейдем на слой Mechanical Layer 3 щелчком левой кнопки мыши на соответствующей закладке в нижней части окна редактора плат.
3. Выполним команду меню Place | Line и войдем в режим рисования линий (именно линий, а не проводников, так как все, что рисуется на механических слоях, является всего лишь графическими примитивами).
4. Наведем указатель на левый нижний угол черного поля формы платы и выполним щелчок левой кнопкой мыши.
5. Последовательным нажатием комбинации клавиш SHIFT+Spacebar включим режим рисования линий под произвольным углом.
6. Переместим указатель мыши в левый верхний угол платы и щелчком левой кнопки мыши завершим рисование первого сегмента контура.
7. Аналогичным образом последовательно нарисуем все остальные сегменты замкнутого контура платы.
8. Нажатием правой кнопки мыши или клавиши Esc выйдем из режима рисования.
9. Нажатием комбинации клавиш CTRL+S сохраним сделанные изменения.

Теперь мы полностью готовы к распечатке чертежа платы, а также к генерации управляющих файлов для производства: Gerber файлов для фотошаблона, NC Drill файла для сверления отверстий, Pick-and-Place файлов для оборудования размещения компонентов и Testpoint файла для автоматизированного электроконтроля. Всем этим мы займемся на следующем занятии. ■

Protel DXP для начинающих

Урок 8

На прошлом занятии мы полностью закончили прорисовку чертежа печатной платы. Следующее, что мы будем изучать — это вывод чертежа и схемы на печать, а также генерацию выходных файлов для производства. Система Protel DXP мощный набор средств вывода на печать, настраиваемый для всего проекта и значительно облегчающий работу пользователя.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Вывод чертежа печатной платы на печать

Все настройки печати графических документов делаются на вкладке Default Prints диалогового окна Options for Project.

1. Выполним команду меню File | Default Prints.

На экране появится окно, показанное на рис. 1.

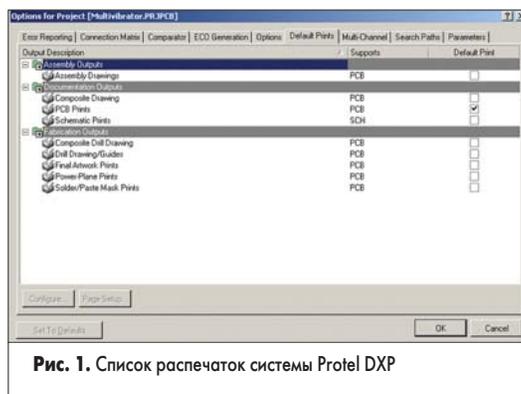


Рис. 1. Список распечаток системы Protel DXP

Здесь приведен список установленных в системе заданий на печать, которые для простоты будем называть распечатками. Все распечатки разбиты на три группы: сборочные чертежи (Assembly Outputs), общая документация (Documentation Outputs) и документация для производства (Fabrication Outputs).

Для принципиальных схем предусмотрена только одна распечатка, ее мы рассмотрим позднее. Сей-

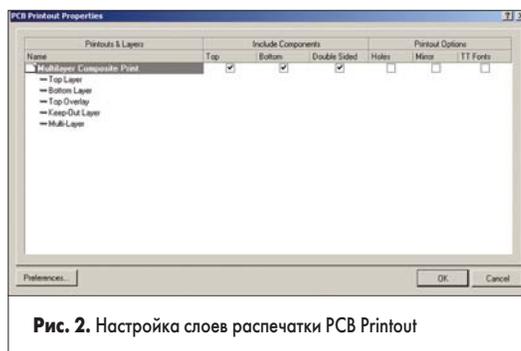


Рис. 2. Настройка слоев распечатки PCB Printout

час нас прежде всего интересует простая распечатка чертежа печатных плат PCB Prints.

2. Щелкнем левой кнопкой мыши на распечатке PCB Print. В нижней части окна станут активными кнопки Configure и Page Setup.
3. Нажмем кнопку Configure. Откроется диалоговое окно PCB Printout Properties (рис. 2), в котором выполняется настройка листов и слоев распечатки. Сейчас данная распечатка содержит один лист, на который будет выведена информация с пяти перечисленных ниже слоев.
4. Щелкнем правой кнопкой мыши на названии листа Multilayer Composite Print и в появившемся контекстном меню выберем команду Properties. Откроется окно Printout Properties (рис. 3).
5. Изменим название листа распечатки, для чего в поле Printout Name введем новое название «Много-слойная распечатка».

В список слоев Layers надо добавить три используемых нами механических слоя.

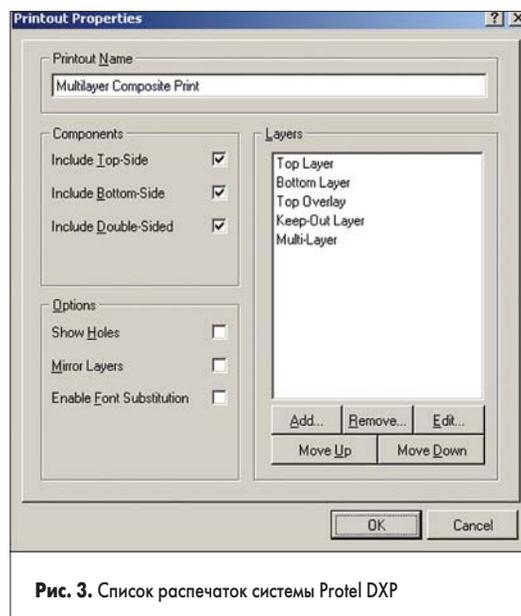


Рис. 3. Список распечаток системы Protel DXP

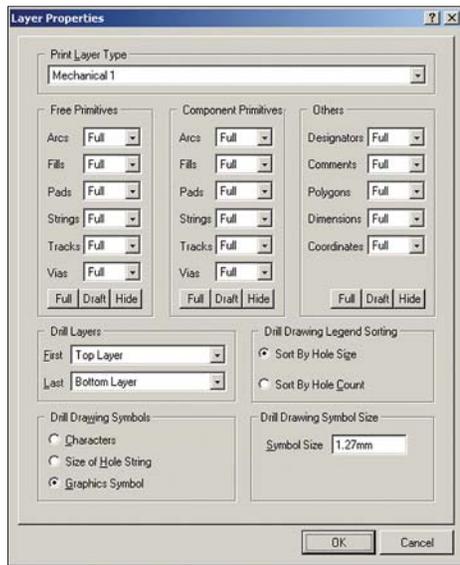


Рис. 4. Настройка отображения объектов слоя

6. Нажмем кнопку Add. Откроется окно Layer Properties (рис. 4), в котором настраивается стиль отображения объектов слоя.

7. В выпадающем списке Print Layer Type выберем слой Mechanical 1.

Настройки отображения отдельных объектов лучше не менять и оставить стиль Full, но при необходимости можно применить стиль Draft (черновик) или вообще запретить их вывод.

8. Закроем окно нажатием кнопки ОК.

В список слоев распечатки добавится слой Mechanical 1.

9. Аналогичным образом добавим в распечатку слой Mechanical 2 и Mechanical 3.

10. Закроем окно Printout Properties.

Обратите внимание, напротив имени листа в окне PCB Printout Properties стоят включенные опции, предписывающие добавлять к изображению объекты компонентов, расположенных на разных сторонах платы (Top, Bottom, Double Sided), а также выключенные опции отображения отверстий (Holes), зеркального отображения (Mirror) и подмены векторных шрифтов. Сами TrueType-шрифты, с помощью которых выполняется подмена, задаются в окне Preferences (рис. 5), вызываемом нажатием кнопки Preferences.

11. Закроем окно настройки распечатки PCB Printout Properties.

12. Убедимся, что на вкладке Default Prints напротив распечатки PCB Print включена опция Default.

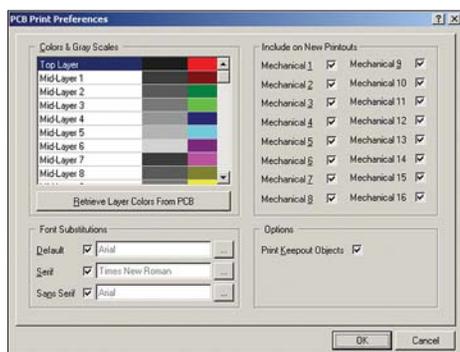


Рис. 5. Настройка подмены шрифтов и цветов при монохромной печати

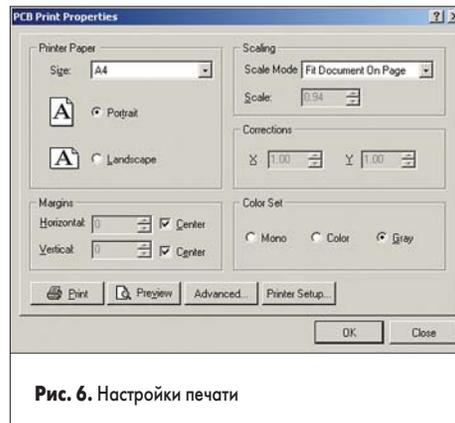


Рис. 6. Настройки печати

13. Нажмем кнопку Page Setup, расположенную в нижней части вкладки. Откроется окно PCB Print Properties (рис. 6).

Здесь в поле Printer Paper задается формат бумаги и ориентация, в поле Scaling — масштаб печати, в поле Corrections — поправочные коэффициенты масштабирования по осям X и Y, в поле Margins — отступы и центровка, а поле Color Set — цветовой набор.

14. Установим автоматическое масштабирование, для чего в выпадающем списке Scale Mode выберем строку Fit Document On Page.

15. Зададим вертикальную (Portrait) ориентацию листа бумаги A4.

Отметим, что доступные форматы листов бумаги определяются установленным в системе Windows драйвером принтера. Проверить настройки принтера можно, нажав кнопку Printer Setup в нижней части окна. Расположенная здесь же кнопка Advanced вернет нас в окно настройки параметров распечатки.

16. Нажмем кнопку Preview, откроется окно Preview PCB Prints (рис. 7).

Здесь слева в мелком масштабе показаны все страницы распечатки (в данном случае одна), а справа — увеличенное изображение выбранной страницы. Для быстрого изменения масштаба просмотра распечатки можно использовать кнопки All, Width и 100%, расположенные

в нижней части окна. Но гораздо удобнее для масштабирования использовать ролик мыши при нажатой клавише CTRL. Простое вращение ролика перемещает обзор вверх-вниз, а при нажатой клавише SHIFT — влево-вправо, как и в редакторе печатных плат.

17. Если предварительный просмотр распечатки нас удовлетворил, то можно нажимать кнопку Print. Появится стандартное окно настройки принтера, в котором следует выбрать необходимый принтер и нажать кнопку ОК. Если требуется вывести чертеж в формате Adobe Acrobat, то в качестве принтера следует выбрать Acrobat Distiller.

18. Нажатием кнопки Close закроем окно предварительного просмотра распечатки и вернемся в окно, показанное на рис. 1.

Рассмотрим пример многолистовой распечатки, например, Final Artwork Print.

1. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени распечатки Final Artwork Print.

2. Нажмем кнопку Page Setup. Откроется уже знакомое нам по рис. 6 окно настроек листа распечатки Final Properties.

3. Нажмем кнопку Preview. Откроется окно предварительного просмотра распечатки, в которой будет присутствовать несколько листов (рис. 8).

Настройки по умолчанию для данной распечатки включают лишь вывод содержимого всех сигнальных и служебных слоев, в том числе чертеж разметки отверстий сверления Drill Guide и чертеж с условными обозначениями отверстий разного диаметра Drill Drawing. Если эти настройки нас не устраивают, их можно быстро изменить здесь же.

4. Выполним щелчок правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выберем команду Configuration. Откроется уже знакомое нам окно PCB Printout Properties с настройками слоев данной распечатки (рис. 9). В качестве упражнения добавим к первому листу содержимое слоя Mechanical 1, содержащего стандартную форматку A4.

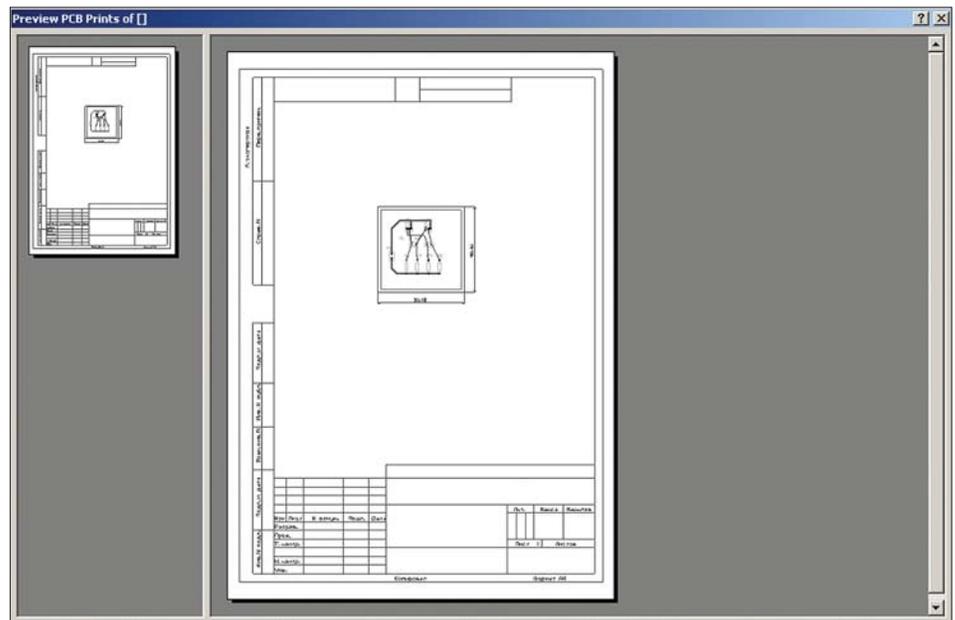


Рис. 7. Предварительный просмотр распечатки

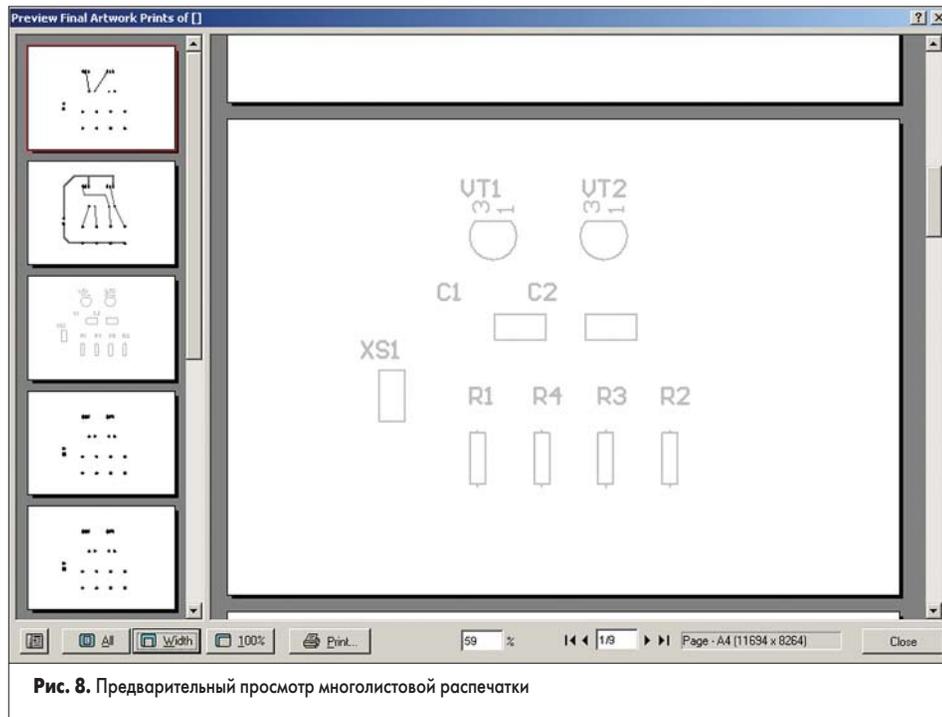


Рис. 8. Предварительный просмотр многострочной распечатки

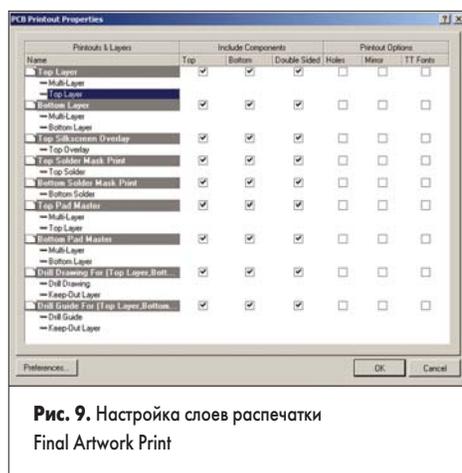


Рис. 9. Настройка слоев распечатки Final Artwork Print

- 5. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на листе Top Layer и в появившемся контекстном меню выберем команду Insert Layer. Появится диалоговое окно Layer Properties, показанное на рис. 4.
- 6. В списке доступных слоев выберем слой Mechanical 1 и нажмем кнопку ОК. В список слоев, выводимых на первом листе, будет добавлен новый слой.
- 7. Нажатием кнопки ОК закроем окно PCB Printout Properties. Содержимое окна предварительного просмотра распечатки автоматически обновится.

Если требуется изменить ориентацию листа или масштаб вывода, то следует выполнить щелчок правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выбрать команду Page Setup. В качестве упражнения попробуйте самостоятельно добавить форматку ко всем листам данной распечатки и изменить ориентацию листа на вертикальную.

На основании проделанных операций можно смело сделать следующий вывод: редактор печатных плат Protel DXP обладает весьма продуманной системой вывода документов на печать. Всего здесь поддерживаются восемь типов распечаток, печать большинства из которых запускается отдельной командой меню:

- Assembly Drawing — сборочный чертеж (команда меню File | Assembly Outputs | Assembly Drawing);
- Composite Drawing — композитная послонная распечатка платы;
- PCB Prints — простая распечатка чертежа платы;
- Composite Drill Drawing — композитный чертеж сверления отверстий (команда меню File | Fabrication Outputs | Composite Drill Drawing);
- Drill Drawing Guides — чертеж разметки сверления (команда меню File | Fabrication Outputs | Drill Drawing);
- Final Artwork Prints — полная распечатка чертежа платы (команда меню File | Fabrication Outputs | Final);
- Power Plane Prints — распечатка слоев питания и заземления (команда меню File | Fabrication Outputs | Power Plane Set);

- Solder/Paste Mask Prints — распечатка слоев маски для пайки и трафарета для нанесения паяльной пасты (команда меню File | Fabrication Outputs | Mask Set);
- Все настройки печати сохраняются внутри проекта платы. Единоразово настроенные распечатки могут быть выведены на принтер в любой момент работы над проектом. Для упрощения получения распечаток в процессе работы над платой в систему введено понятие «распечатка по умолчанию», которая запускается командой меню File | Print. Активация такой распечатки выполняется включением «галочки» в столбце Default Print на вкладке Default Prints диалогового окна Options for Project (рис. 1).
- Заметим, что здесь присутствует единственное описание распечатки листов принципиальных схем, работу которой мы еще не рассмотрели. Восполним данный пробел.

1. Выполним двойной щелчок на документе Multivibrator.SchDoc в дереве проекта. На рабочем столе системы Protel DXP откроется принципиальная схема нашего мультивибратора.
2. Выполним команду меню File | Print Preview. Откроется окно предварительного просмотра распечатки схемы. Если были настроены вертикальная ориентация бумаги и автоматическое масштабирование, то распечатка будет выглядеть, как показано на рис. 10.
3. В некоторых случаях необходимо выполнить распечатку схемы в масштабе 1:1. Напомним, что изначально мы рисовали схему в масштабе 2 дискрета = 1 мм, что требует настройкой масштаба печати 1.968.
3. Выполним щелчок правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выберем команду Page Setup.
4. В поле Printer Paper укажем горизонтальную ориентацию бумаги формата A4.
5. В поле Scaling укажем режим масштабирования Scaled Print и укажем масштаб 1.968.
6. При необходимости в поле Corrections введем поправочные коэффициенты масштабирования по разным осям.

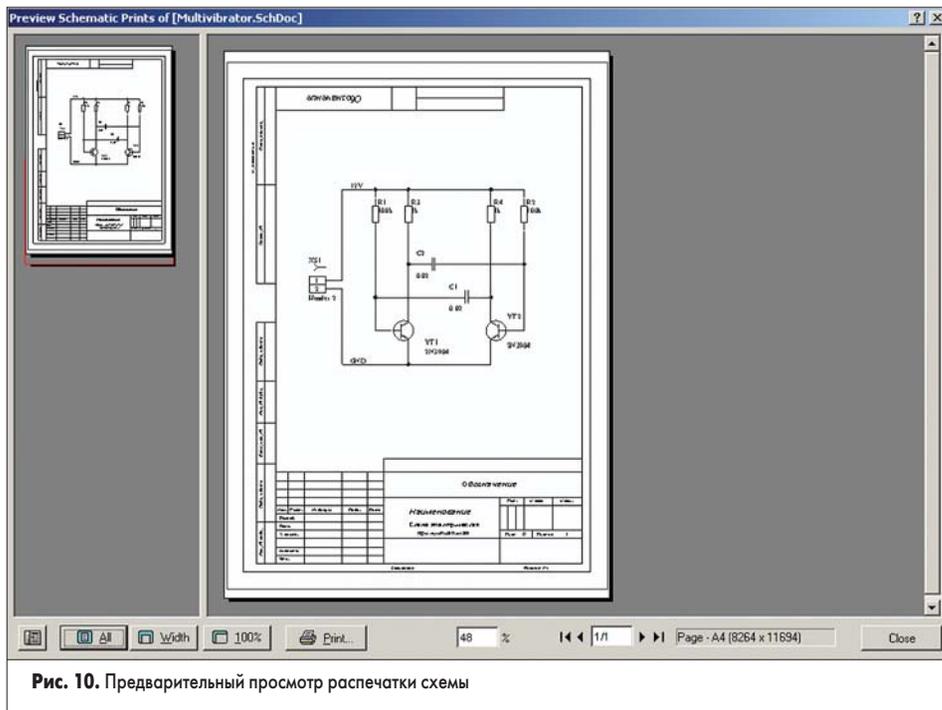


Рис. 10. Предварительный просмотр распечатки схемы

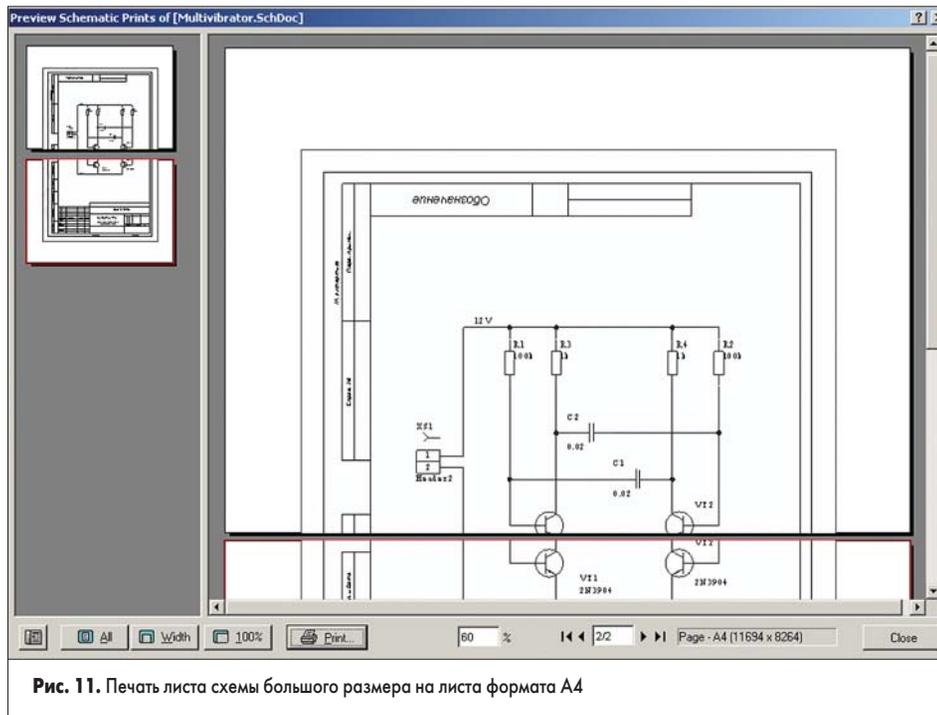


Рис. 11. Печать листа схемы большого размера на листа формата А4

7. Нажатием кнопки ОК закроем окно настроек листа. Вид распечатки в окне просмотра автоматически обновится (рис. 11).

Легко видеть, что схема будет напечатана с некоторым перекрытием, что позволит склеить два листа в один. Иногда при выводе больших листов требуется опытным путем подобрать ориентацию листов формата А4, чтобы распечатка поместилась на минимальном числе листов. Число листов распечатки отображается в нижней части окна просмотра.

8. Если предварительный вид распечатки нас удовлетворил, то можно нажимать кнопку Print. Дальнейшие наши действия не будут отличаться от печати документов в любой другой программе Windows.

Итак, мы научились выводить на печать графические документы системы Protel DXP. Печать простых текстовых документов выполняется очень просто: необходимо лишь выбрать устройство печати.

Далее мы рассмотрим генерацию управляющих файлов для различного производственного и технологического оборудования.

Генерация Gerber-файлов

Для начала следует объяснить, что собой представляют файлы в формате Gerber.

Формат Gerber изначально был разработан для управления векторными фотоплоттерами (по аналогии с векторными графопостроителями) и позднее был адаптирован для современного растрового оборудования. В этих устройствах фотошаблон создается лучом света определенной формы, перемещающимся по фотоленке. Форма светового пятна называется апертурой. Для растровых фотоплоттеров понятие апертуры теряет смысл, так как здесь может быть сформировано пятно любой формы, а у векторных фотоплоттеров набор апертур заранее определен аппаратной частью. Это может быть барабан или линейка с отверстиями различной формы и диаметра. Файл в формате Gerber управляет перемещением

пятна с помощью специальных команд (так называемых D-кодов). То есть в общем случае проводник рисуется так: код на выбор апертуры, код перемещения в точку с заданными координатами, код на включение лампы, код на перемещение в другую точку, код на выключение лампы. Контактные площадки и переходные отверстия рисуются с помощью вспышек (флешей, от английского flash — вспышка): код перемещения в точку с заданными координатами, код на кратковременную вспышку лампы, код на перемещение в другую точку и т. д. В результате всего этого на пленке появляется позитивный или негативный рисунок, который затем будет перенесен на стеклотекстолит и вытравлен.

В настоящее время распространено две основных версии формата Gerber: RS-274D и RS-274X. Формат RS-274X включает в себя таблицу апертур и ряд дополнительных команд для повышения эффективности кода. Он поддерживается почти всем современным оборудованием для производства фотошаблонов. Любой производитель печатных плат сможет преобразовать файл в формате RS-274X в необходимый ему.

Процесс генерации Gerber-файлов в системе Protel DXP максимально прост и нагляден. Дальнейшая доработка полученных файлов выполняется с помощью встроенного САМ (Computer Aided Manufacturing) модуля CAMtastic.

1. Находясь в редакторе печатных плат, выполним команду меню File | Fabrication Outputs | Gerber Files. На экране появится диалоговое окно Gerber Setup (рис. 12).

На вкладке General укажем формат численных данных для вывода в Gerber-файлы.

2. На вкладке General в поле Unit выберем опцию Millimeters, что соответствует метрической системе измерения.

3. В поле Format укажем формат численных данных для вывода в Gerber-файлы. Выберем опцию 4:4, что соответствует записи координат объектов в формате 0000.0000.

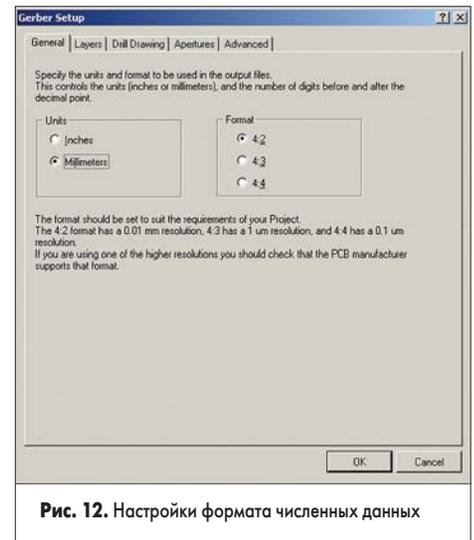


Рис. 12. Настройки формата численных данных

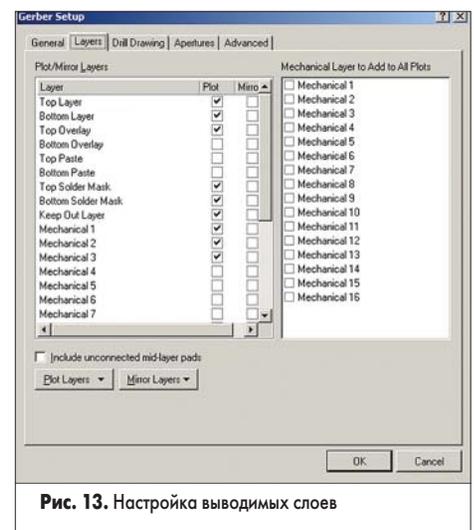


Рис. 13. Настройка выводимых слоев

4. Щелчком левой кнопки мыши перейдем на вкладку Layers (рис. 13).

Здесь в списке Plot/Mirror Layers необходимо выбрать слои, которые будут выведены в Gerber-файлы. Каждый слой выводится в отдельный файл с именем, совпадающим с именем чертежа платы, и уникальным расширением. Таблица соответствия слоев будет приведена в итоговом отчете. В некоторых случаях требуется добавить к каждому слою служебную графическую информацию, приведенную на механических слоях, например, реперные символы. Для этого предназначен список Mechanical Layers to Add to All Plots (механические слои, добавляемые ко всем файлам).

5. Нажмем кнопку Plot Layers и в появившемся меню выберем команду Used On. В левом списке автоматически включатся все непустые слои проекта.

6. Щелчком левой кнопки мыши перейдем на вкладку Drill Drawings и убедимся, что здесь выключены все опции, добавляющие в Gerber-файл разметку для сверления отверстий.

7. Щелчком левой кнопки мыши перейдем на вкладку Apertures и убедимся, что включена опция Embedded Apertures (RS-274X). В этом случае таблица апертур будет автоматически синтезирована по проекту печатной платы и включена в выходные файлы.

8. Щелчком левой кнопки мыши перейдем на вкладку Advanced и убедимся, что в поле

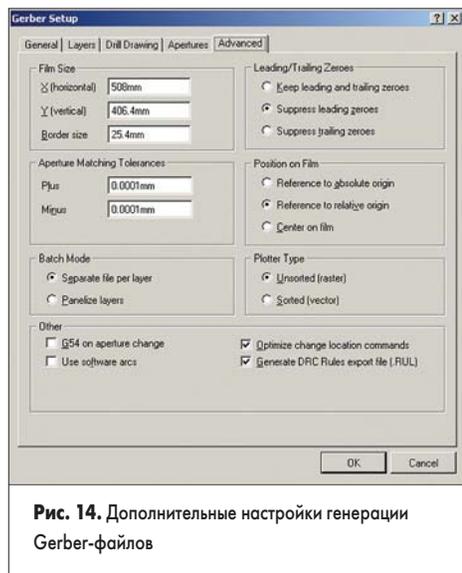


Рис. 14. Дополнительные настройки генерации Gerber-файлов

Batch Mode включена опция Separate file per layer (рис. 14). Здесь также можно настроить размеры пленки, режим сортировки кода, включение в него дополнительных команд, однако сейчас это не требуется.

9. Нажатием кнопки ОК завершим процесс настройки и запустим процесс генерации Gerber-файлов.

Система автоматически создаст три набора файлов, размещенных в разные категории. Отчет о том, что представляет собой каждый из этих файлов, приведен в файле Multivibrator.REP из категории текстовых файлов. В документе Multivibrator.RUL представлен сокращенный список установленных в проекте правил, необходимый для дальнейшей обработки Gerber-файлов. Два других документа Multivibrator.GPB и Multivibrator.GPT будут содержать описание в коде Gerber наборов контактных площадок на нижнем и верхнем слоях платы соответственно.

В категории Generated Documents будут созданы девять файлов в формате Gerber с уникальными расширениями, каждый из которых соответствует своему слою (таблица 1). В некоторые из файлов добавлена информация из слоя Multi-Layer, в котором содержится изображения контактных площадок.

Таблица 1

Файл	Слой
Multivibrator.GBL	Bottom Layer
Multivibrator.GBS	Bottom Solder
Multivibrator.GKO	Keep-Out Layer
Multivibrator.GM1	Mechanical 1
Multivibrator.GM2	Mechanical 2
Multivibrator.GM3	Mechanical 3
Multivibrator.GTL	Top Layer
Multivibrator.GTO	Top Overlay
Multivibrator.GTS	Top Solder

Но главным будет файл CAMtastic1.CAM из категории Documents, представляющий собой проект встроенного в Protel DXP модуля подготовки плат к производству CAMtastic. Именно этот файл будет автоматически открыт на рабочем столе системы.

10. Щелчком левой кнопки мыши на вкладке CAMtastic перейдем на панель управления редактором CAMtastic.

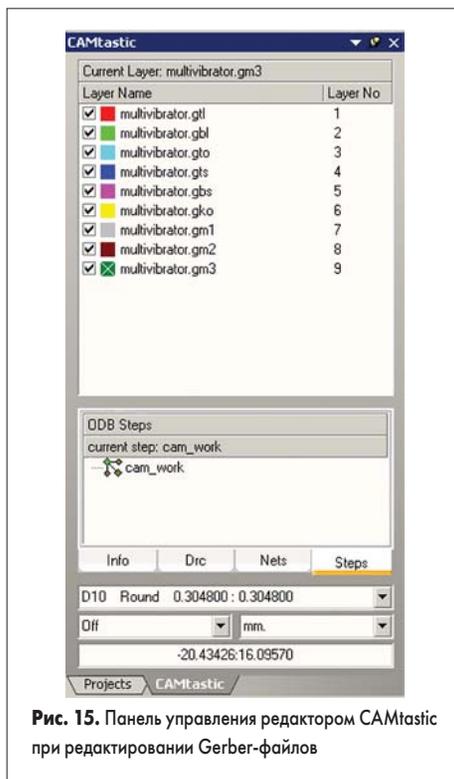


Рис. 15. Панель управления редактором CAMtastic при редактировании Gerber-файлов

В верхней части панели управления расположен список слоев САМ-проекта. Каждый слой отображается своим цветом, активный слой помечен крестиком на цветном поле. Следует помнить, что цветовой набор здесь не совпадает с используемым в редакторе печатных плат.

В нижней части панели расположены выпадающие списки выбора D-кодов, режимов привязки курсора и системы измерения. В центральной части расположено информационное поле отображения результатов запроса и органы управления выводом проекта в формате ODB++.

Редактор CAMtastic имеет все необходимые инструменты для первичной доработки Gerber-файлов и подготовки их к производству. Управление этими инструментами производится с помощью меню команд, панелей управления и горячих клавиш. Отметим, что настройки горячих клавиш и система выбора объектов с помощью мыши в корне отличается от принятой в редакторе печатных плат. Работа в этом редакторе выходит за рамки курса для начинающих, но мы все же выполним ряд простейших упражнений.

Попробуем выяснить, какие из проводников нарисованы определенной апертурой.

1. В списке D-кодов на панели управления выберем код D17, описывающий круглую апертуру диаметром 1 мм.
2. Выполним команду меню View | Views | Highlight Dcode (горячие клавиши Shift+H). На топологии будут подсвечены все объекты, прорисованные данной апертурой.
3. Нажмем клавишу ESC, чтобы снять подсветку.

Иногда стоит обратная задача: выяснить, каким именно кодом прорисован тот или иной объект.

1. Выполним команду меню Analysis | Query | Object (горячая клавиша Q). Указатель мыши примет вид руки с указательным пальцем.

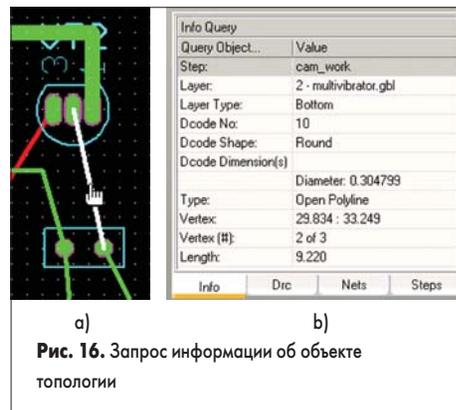


Рис. 16. Запрос информации об объекте топологии

2. Наведем указатель мыши на интересующий нас объект и выполним один щелчок левой кнопкой мыши (рис. 16, a).

Информация об указанном объекте будет отображена на панели управления (рис. 16, b). Легко видеть, что наш объект представляет собой незамкнутую полилинию (Type: Open Polyline), нарисованную апертурой D10 (Dcode No: 10) круглой формы (Dcode Shape: Round) диаметром 0.304799 мм на слое 2 — Multivibrator.gbl типа Bottom.

Выполним измерение расстояния между двумя объектами.

1. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на списке слоев на панели управления и в появившемся контекстном меню выберем команду All Off.
2. Включим на отображение слой 2 Multivibrator.gbl, для чего щелкнем левой кнопкой мыши на квадратике напротив этого слоя в списке.
3. В соответствующем списке на панели управления выберем режим привязки Center, который позволит точно находить центр объекта.
4. Выполним команду меню Analysis | Measure | Point to Point (горячие клавиши SHIFT+M).
5. Наведем указатель на левую контактную площадку одного из транзисторов.
6. При приближении к центру площадки система автоматически найдет цент и покажет его значком, похожим на песочные часы (рис. 17, a). Выполним щелчок левой кнопкой мыши.
7. Аналогичным образом наведем указатель мыши на соседнюю контактную площадку и выполним щелчок левой кнопкой мыши (рис. 17, b).

В поле запросов на панели управления появится информация, что расстояние между центрами контактных площадок составляет 1.27 мм. Но чаще нам требуется измерить зазор между площадками.

8. Выполним команду меню Analysis | Measure | Object to Object.

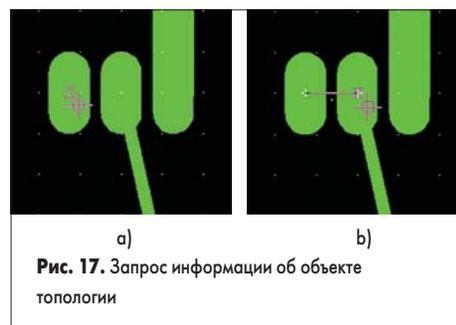


Рис. 17. Запрос информации об объекте топологии

9. Щелчком левой кнопкой мыши на левой площадке транзистора. Площадка при этом подсветится.

10. Щелчком левой кнопкой мыши на соседней площадке.

В поле запросов на панели управления появится информация, что расстояние между краями контактных площадок составляет 0.27 мм.

Оценим суммарную площадь металлизации на данном слое.

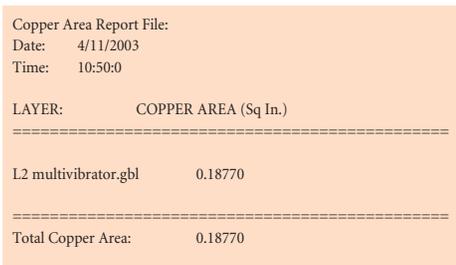
1. Выполним команду меню Tools | Calc. Copper Area. Указатель мыши примет вид квадрата.

2. В окне охвата выделим все объекты данного слоя.

Отметим, что если указывать сначала левый верхний и правый нижний углы, то выделенными окажутся все объекты, попавшие внутрь окна охвата. Если наоборот указать сначала правый нижний, а потом левый верхний углы, то выделенными окажутся еще и все объекты, пересекающие окно охвата.

3. Завершим выполнение команды нажатием правой кнопки мыши.

Будет сформирован и открыт файл отчета Copper Area.RPT, содержащий следующую информацию:



Из этого отчета следует, что площадь металлизации составила 0.1877 кв. дюйма. Умножив это значение на коэффициент 645.16 можно получить значение в квадратных миллиметрах (121.1 кв. мм).

4. Вернемся в редактор CAMtastic.

Иногда для повышения технологичности плат требуется выполнить некоторую доработку топологии. Например, при недостаточной точности оборудования сверления за счет сдвига отверстия относительно геометрического центра контактной площадки возможны дефекты проводников, которые устраняются с помощью формирования каплевидных контактных площадок.

1. Выполним команду меню Tools | Teardrops. Указатель мыши примет вид квадрата.

2. В окне охвата выделим необходимые объекты.

3. Выполним щелчок правой кнопкой мыши. Появится диалоговое окно Add Teardrops, показанное на рис. 18.

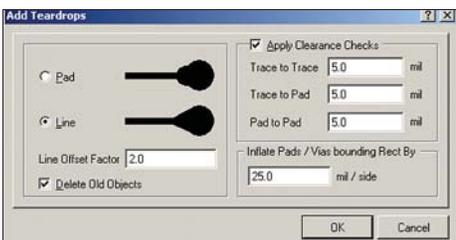


Рис. 18. Формирование каплевидных контактных площадок

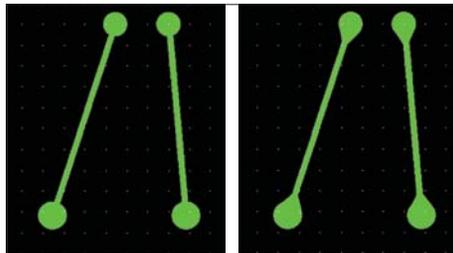


Рис. 19. Контактные площадки до и после доработки

4. Выберем тип «капли» Line, а все остальные параметры оставим без изменения.

5. Нажмем кнопку ОК. Система автоматически изменит вид выделенных контактных площадок (рис. 19).

6. С помощью команды меню File | Save (горячие клавиши Ctrl+S) сохраним изменения в проекте.

Заметим, что все сделанные изменения сохраняются именно в файле CAMtastic1.CAM, куда были импортированы исходные Gerber-файлы. Измененные Gerber-файлы извлекаются из CAM проекта операцией экспорта.

1. Выполним команду меню File | Export | Gerber. Появится диалоговое окно Export Gerber(s) (рис. 20).



Рис. 20. Настройка экспорта Gerber файлов из модуля CAMtastic

Здесь имеются опции управления выводом дуг, упорядоченных массивов объектов, композитных слоев и полигонов, но в нашем проекте таких объектов нет, поэтому данные опции можно не включать.

2. Последовательным нажатием на кнопку в поле Format выберем выходной формат RS-274X.

3. Нажмем кнопку Setting, появится окно Gerber Export Setting (рис. 21).

4. В поле Units укажем метрическую систему единиц (Metric).



Рис. 21. Настройка формата Gerber файлов

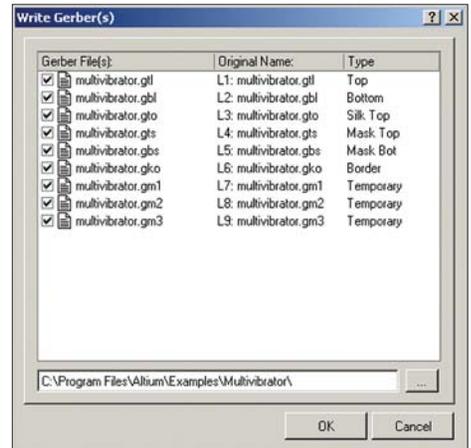


Рис. 22. Назначение слоев на вывод

5. В поле Digits укажем формат численных данных 4:4, для чего зададим переменные Integer и Decimal равные 4.

6. Нажатием кнопки ОК закроем окно Gerber Export Setting.

7. Нажатием кнопки ОК закроем окно Export Gerber(s). Появится окно Write Gerber(s) (рис. 22).

8. Включим «галочки» напротив всех указанных в окне слоев.

9. Укажем папку, куда будут выводиться обработанные Gerber файлы и нажмем кнопку ОК. Если указать папку \Project Outputs for Multivibrator, то исходные файлы будут заменены новыми.

Генерация файлов сверления (NC Drill)

Другая важная операция, которую требуется выполнить в процессе подготовки проекта платы для производства — это генерация управляющих файлов для сверлильных станков с числовым программным управлением (NC Drill).

Процесс генерации файлов сверления также предельно упрощен, а дальнейшая их доработка выполняется в редакторе CAMtastic.

1. Находясь в редакторе печатных плат системы Protel DXP выполним команду меню File | Fabrication Outputs | NC Drill Files. На экране появится диалоговое окно NC Drill Setup (рис. 23).

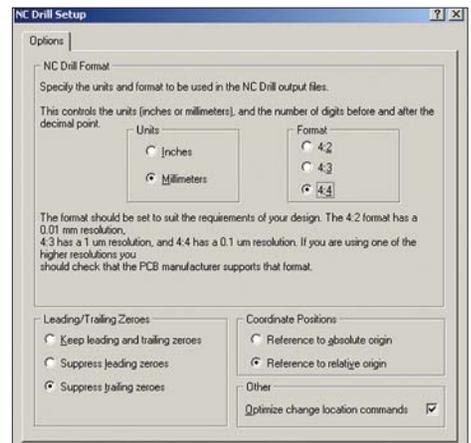


Рис. 23. Настройка формата файлов NC Drill

2. В поле Unit выберем опцию Millimeters, что соответствует метрической системе измерения.
3. В поле Format укажем формат численных данных 4:4, аналогично тому, как это делается при выводе Gerber-файлов.
4. Остальные настройки оставим без изменения и нажмем кнопку ОК.

Система автоматически создаст несколько файлов, которые будут добавлены к ранее созданным Gerber-файлам. В категорию Generated Documents добавится бинарный файл Multivibrator.DRL. В категорию Generated Text Files добавится отчет Multivibrator.DRR (рис. 24).

```

NCDrill File Report For: Multivibrator.PcbDoc 13.04.2003 21:44:42
-----
Layer Pair : Top Layer to Bottom Layer
ASCII File : NCDrillOutput.TXT
EIA File : NCDrillOutput.DRL
-----
Tool      Hole Size      Hole Count Plated      Tool Travel
-----
T1      0.7mm (27.559mil)      4      239.96 mm (9.45 Inch)
T2      0.85mm (33.465mil)      8      272.06 mm (10.71 Inch)
T3      0.9mm (35.433mil)      8      249.07 mm (9.81 Inch)
-----
Totals                20      761.10 mm (29.96 Inch)

Total Processing Time : 0:00:05
    
```

Рис. 24. Отчет Multivibrator.DRR

Здесь же будет расположен файл Multivibrator.LDP, содержащий информацию о назначенных парах слоев сверления, что необходимо для изготовления многослойных печатных плат с глухими и слепыми переходными отверстиями. В нашем случае простой двухсторонней платы этот файл будет иметь вид:

```

Layer Pairs Export File for PCB:
C:\Program Files\Altium\Examples\
Multivibrator\Multivibrator.PcbDoc
LayersSetName=Top_Bot_Thru_Holes\DrillFile=txt\LayerPairs=gtl.gbl
    
```

Еще один файл Multivibrator.TXT из данной категории содержит собственно файл сверления в текстовом формате Excellon. Именно этот файл будет импортирован в новый проект CAMtastic2.CAM, автоматически созданный системой.

```

METRIC,LZ
M48
T1F00S00C0.7000
T2F00S00C0.8500
T3F00S00C0.9000
%
T01
    
```

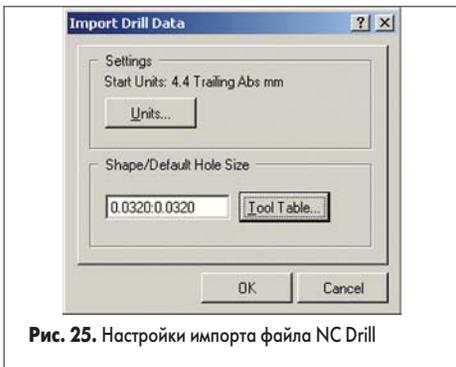


Рис. 25. Настройки импорта файла NC Drill

```

X010626Y02022
X01088
X011526
X01178
T02
X01032542Y018539
X01096282
X01160022
Y019301
X01096282
X01032542
X01223762
Y018539
T03
X00948Y01942
Y019674
X010353Y02112
X01048
X010607
X011453
X01158
X011707
M30
    
```

При импорте файла в САМ-проект появится диалоговое окно Import Drill Data (рис. 25), в котором следует задать все те настройки, которые были сделаны при экспорте файлов.

5. Нажмем кнопку Units и в окне NC Drill Import Setting, аналогичном показанному на рис. 21, укажем метрическую систему единиц и формат численных данных 4:4, после чего нажмем кнопки ОК закроем окно.

6. Нажатием кнопки ОК запустим процедуру импорта. На рабочем столе системы Protel DXF откроется редактор CAMtastic в режиме редактирования NC Drill файлов, о чем свидетельствует вид его панели управления (рис. 26).

Здесь в списке слоев показан только один импортированный файл Multivibrator.TXT, а внизу показан список используемых в нем инструментов.

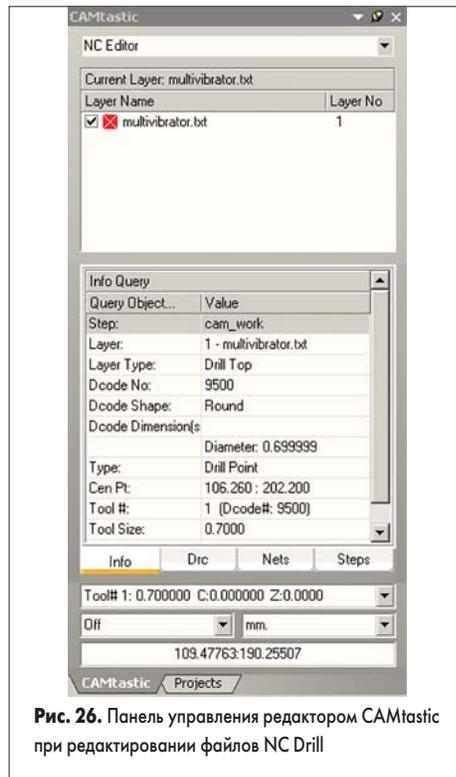


Рис. 26. Панель управления редактором CAMtastic при редактировании файлов NC Drill

Дальнейшая обработка и экспорт файлов NC Drill выполняется аналогично Gerber-файлам.

Помимо файлов форматов Gerber и NC Drill редактор печатных плат позволяет генерировать управляющие файлы для оборудования автоматизированной сборки (Pick and Place) и электроконтроля (Test Point) печатных плат. Данные операции осуществляются с помощью соответствующих команд из меню File, рекомендуем выполнить их самостоятельно в качестве упражнения.

Итак, мы полностью закончили разработку очень простой печатной платы и передали ее на производство. Однако задача разводки печатных плат представляет собой третью часть общей работы над проектом. На этапе разработки принципиальной схемы пользователи могут выполнить ее моделирование. Кроме того, в проекте может быть использована программируемая логика синтеза и моделирования, размещение которой может быть выполнено с помощью соответствующих инструментов редактора схем. Со всеми этими возможностями системы Protel DXF мы познакомимся на следующих занятиях.

Protel DXP для начинающих

Урок 9

На предыдущих занятиях мы изучали основные приемы проектирования печатной платы в системе Protel DXP. Эта программа является сквозной системой проектирования, что означает возможность проектирования электронного устройства от идеи (схемы) до его физического воплощения (на печатной плате) и включает моделирование схемы. Рассмотрим этот этап более подробно.

Юрий Потопов

potapoff@eltn.ru

Следует помнить, что система Protel DXP допускает три вида анализа схем: смешанное аналого-цифровое моделирование с использованием алгоритмов Berkeley SPICE3f5/XSPICE, моделирование цифровых схем, описанных на языке VHDL (модуль PeakFPGA) и на языке CUPL (модуль Advanced PLD). Последний метод достаточно стар и на практике применяется редко, так как требует соответствующим образом подготовленных библиотек ПЛИС, многие из которых не содержат самых последних микросхем Xilinx и Altera. Он вытесняется новым модулем синтеза и моделирования логики с использованием языка VHDL. Основным же является первый метод анализа, который применяется для большинства схем, включающих дискретные аналоговые и цифровые компоненты. Рассмотрим этот метод на примере нашего мультивибратора.

Подготовка схемы к моделированию

Так как программа моделирования базируется на стандартном вычислительном ядре SPICE, здесь не допускается использование русских букв. То есть все параметры, которые будут передаваться в список соединений в формате SPICE, должны содержать только латинские буквы и цифры. Тем не менее, это никак не запрещает использование русского текста в надписях и не используемых в моделировании атрибутах компонентов.

1. Откроем документ Multivibrator.SchDoc, для чего в дереве проекта выполним на нем двойной щелчок левой кнопкой мыши.

Прежде всего, нам следует заменить разъем XS1 на источник питания +12 В, необходимый для моделирования схемы.

2. Щелчком левой кнопкой мыши выделим символ XS1.

3. Нажмем клавишу Delete и удалим разъем.

4. Выполним команду меню View/Toolbars/Simulation Sources, чем включим специальную панель инструментов Simulation Sources, содержащую кнопки вызова наиболее часто применяемых при моделировании источников сигналов.

5. Нажмем на ней кнопку Power Supply +12 Volts, после чего к указателю мыши окажется «приклеенным» символ источника питания.

6. Сдвинем указатель мыши так, чтобы нижний («минусовый») вывод источника соединился с концом сегмента цепи GND, оставшимся после удаления разъема, и щелчком левой кнопкой мыши. На схему будет добавлен новый символ, а система предложит разместить следующий источник.

7. Выйдем из режима размещения символов нажатием клавиши ESC или правой кнопки мыши.

8. Удерживая нажатой клавишу CTRL, с помощью мыши переместим источник так, чтобы его верхний («плюсовой») вывод соединился со свободным концом сегмента цепи 12V.

9. Удерживая нажатой клавишу CTRL, с помощью мыши переместим источник немного вправо, чтобы избавиться от лишних изгибов цепей.

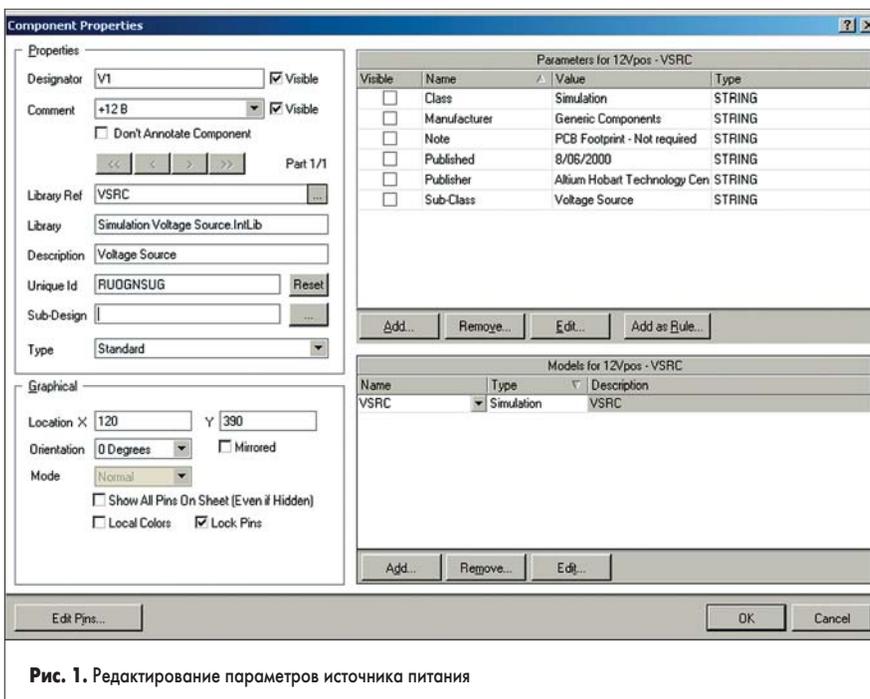


Рис. 1. Редактирование параметров источника питания

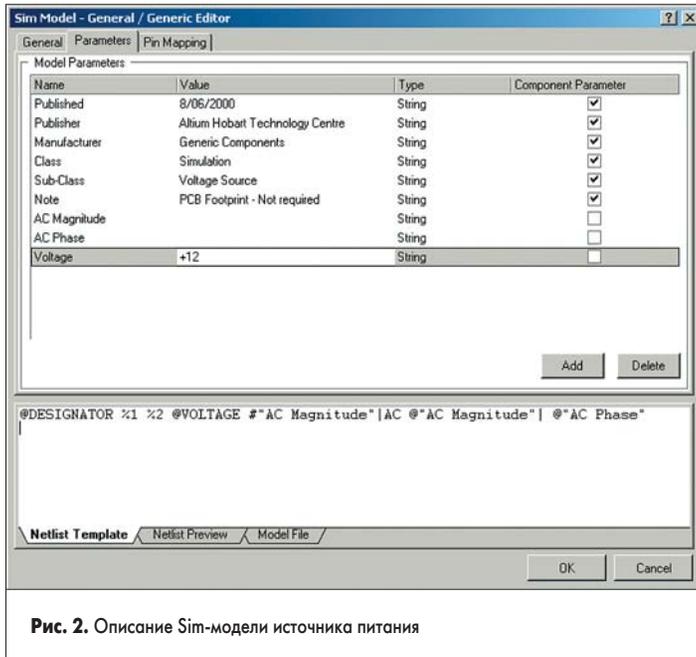


Рис. 2. Описание Sim-модели источника питания

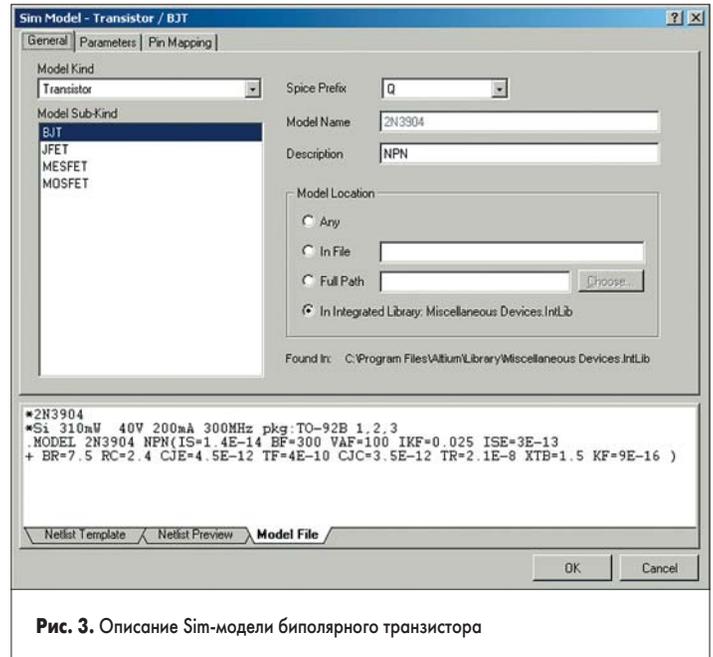


Рис. 3. Описание Sim-модели биполярного транзистора

10. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на источнике и войдем в режим редактирования его параметров (рис. 1).

11. В окне Component Properties введем в поле Designator позиционное обозначение источника V1, а поле Comment — текст «+12 В».

Отметим, что содержимое поля комментария, в отличие от поля обозначения, может содержать русские буквы, так как является вспомогательным и в список соединений SPICE не передается. Резонно задать вопрос: откуда система моделирования узнает, что данный источник формирует постоянное напряжение +12 В, если поле комментария — всего лишь текст? Ответ: из описания модели.

12. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на единственной модели, приведенной справа в списке Models for V1 — VSRC.

Откроется окно Sim Model — General/Generic Editor, в котором имеются три вкладки в верхней части и три в нижней. Здесь на вкладке General задается тип модели. Для данного источника в выпадающем списке Model Kind выбран тип General (базовая) и подтип Generic Editor. В выпадающем списке Spice Prefix справа указана буква V, которая будет автоматически добавлена первой к обозначению элемента при формировании списка соединений в формате SPICE, и будет сигнализировать программе моделирования, что речь идет именно об источнике напряжения.

13. Щелкнем левой кнопкой мыши на верхней вкладке Parameters, где приведен список параметров элемента, в том числе и Voltage, задающий выходное напряжение (рис. 2). В данном случае здесь указано значение +12, что без масштабирующего суффикса (см. Урок 1) будет воспринято как +12 Вольт. Если включить «галочку» напротив этого параметра, то он будет отображаться в списке Parameters for 12V V1 — VSRC предыдущего окна (рис. 1).

14. Щелкнем левой кнопкой мыши на верхней вкладке Pin Mapping. Здесь задается таблица соответствия между номерами выводов символа элемента и его модели. Посмотрим, что отображается на нижних вкладках.

15. Щелкнем левой кнопкой мыши на нижней вкладке Netlist Templates. Здесь показан шаблон описания символа в списке соединений SPICE.

```
@DESIGNATOR %1 %2 @VOLTAGE #*AC Magnitude*|AC @*AC Magnitude*| @*AC Phase*
```

16. Перейдем на нижнюю вкладку Netlist Preview. Здесь показан предварительный вид описания элемента в списке соединений SPICE. Предварительный, потому что в нем не показаны имена цепей, которые будут известны только после компиляции проекта в процессе генерации списка соединений.

```
V1 <1> <2> +12
```

Обратите внимание, что обозначение на схеме источника V1 имеет правильный префикс V и вторая буква V к нему не добавляется. То есть в списке соединений присутствует V1, а не VV1.

17. Щелкнем левой кнопкой мыши на нижней вкладке Model File. Сейчас эта вкладка пуста, так как для описания данного элемента не требуется внешнего файла модели. Позднее мы рассмотрим содержимое этой вкладки на примере другого символа.

18. Закроем окно Sim Model — General/Generic Editor нажатием кнопки ОК.

Посмотрим, как описываются модели использованных в схеме транзисторов 2N3904.

19. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на транзисторе VT1. На экране откроется стандартное окно Component Properties, которое в списке Models for VT1 — 2N3904 будет содержать модели трех типов. Одна из них будет не что иное, как ссылка на топологическое поса-

дочное место (Footprint). Другая, Signal Integrity, является так называемой IBIS (I/O Buffer Information Specification), ее мы рассмотрим на отдельном уроке, посвященном анализу целостности сигналов на платах. Нам сейчас нужна последняя, третья модель типа Simulation.

20. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на строке модели 2N3904 типа Simulation. Откроется окно Sim Model — Transistor/BJT. Легко видеть, что биполярный тип транзистора задается на вкладке General.

21. Щелкнем левой кнопкой мыши на нижней вкладке Model File. В отличие от модели источника питания, эта вкладка не будет пустой. Здесь присутствует описание модели биполярного транзистора, которое впоследствии будет добавлено в SPICE-список соединений (рис. 3). Это описание извлекается из файла, указанного в поле Model Location вкладки General. Легко видеть, что используемая сейчас модель загружена из интегрированной библиотеки Miscellaneous Devices.IntLib.

Обратите внимание, что SPICE-префикс биполярного транзистора задан как Q, и в списке соединений эта буква будет добавлена к привычному для нас обозначению VT1, что легко проверить на вкладке Netlist Preview.

22. Нажатием кнопок Cancel закроем оба окна и вернемся в редактор схем.

Помимо источника питания и транзисторов на нашей схеме присутствуют резисторы и конденсаторы. В качестве самостоятельного упражнения рекомендуем посмотреть, как описываются их SPICE-модели.

В процессе расчета нам необходимо получить сигналы в определенных узлах (цепях) схемы. В общем случае имена цепей присваиваются автоматически, но иногда имеет смысл вручную присвоить им оригинальное запоминающееся название. Именно это мы сейчас и сделаем.

23. Выполним команду Place/Net Label. Редактор перейдет в режим размещения меток цепей.

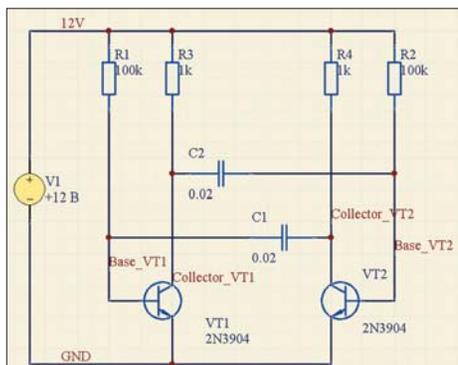


Рис. 4. Подготовленная к моделированию схема мультивибратора

24. Нажмем клавишу Tab и в открывшемся окне введем имя цепи Collector_VT1. Нажмем кнопку ОК.
25. Наведем указатель мыши на любой сегмент цепи, соединенной с коллектором транзистора VT1 и щелкнем левой кнопкой мыши.
На схему будет добавлена новая метка цепи, а редактор останется в режиме размещения символов и автоматически предложит добавить следующую метку с именем Collector_VT2.
26. Наведем указатель мыши на любой сегмент цепи, соединенной с коллектором транзистора VT2, и щелкнем левой кнопкой мыши.
27. Аналогичным образом к соответствующим цепям добавим метки Base_VT1 и Base_VT2.
28. Нажмем клавишу ESC или правую кнопку мыши и выйдем из режима размещения меток цепей.
29. Выполним команду меню File/Save As (горячие клавиши F, A) и сохраним схему под новым именем Multivibrator simulation.SchDoc.

Итак, мы подготовили схему к моделированию.

Настройка анализа переходных процессов

1. Выполним команду меню Design/Simulate/Mixed Sim. Откроется окно Analyses Setup. В списке Analyses/Options слева будут показаны доступные в системе Protel DXP

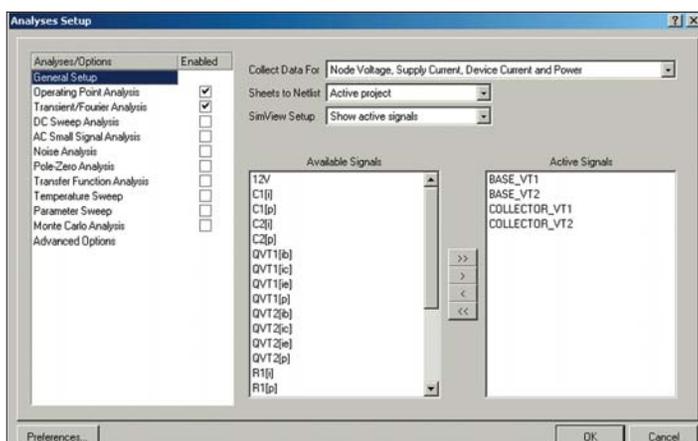


Рис. 5. Основные настройки программы моделирования

виды анализа. Справа будут показаны общие настройки программы моделирования.

2. Проверим, что в выпадающем списке Collect Data For указан необходимый нам набор данных Node Voltage, Supply Current, Device Current and Power (напряжения в узлах, ток питания, протекающие через элементы токи и рассеиваемая ими мощность). Это максимальный набор данных, который можно получить при моделировании смешанной аналого-цифровой схемы с помощью программы SPICE. В ряде случаев для очень больших схем в целях экономии времени расчетов и памяти рекомендуется ограничивать объем выходных данных.
3. Проверим, что в выпадающем списке Sheets to Netlist выбрана опция Active project, предписывающая генерировать список соединений для всего проекта. Наш относительно простой пример имеет всего один лист принципиальной схемы, но в общем случае проект может состоять из большого количества схем и иметь сложную иерархическую структуру. Опция Active sheet применяется в случае, когда требуется промоделировать отдельную часть проекта, представленную на одном листе схемы.
4. В выпадающем списке SimView Setup выберем опцию Show Active Signals, предписывающую модулю отображения результатов анализа показывать их по мере выполнения расчета.

Чуть ниже в окне представлены два списка.

В первом из них приводятся доступные для отображения сигналы (Available Signals) согласно настройке Collect Data For. Ряд сигналов имеет просто имена цепей (узлов), что соответствует напряжению в них. Другие сигналы имеют имена элементов с суффиксами (i), (p) и (z), что означает ток, мощность и импеданс соответственно. Для многовыводных элементов, в нашем случае транзисторов, к суффиксам добавляется обозначение вывода e (эмиттер), b (база) и c (коллектор).

5. Выделим в этом списке сигналы BASE_VT1, BASE_VT2, COLLECTOR_VT1 и COLLECTOR_VT2, для чего, удерживая нажатой клавишу Ctrl, последовательно щелкнем на них левой кнопкой мыши.

6. Нажмем расположенную между списками кнопку >. Выделенные сигналы будут перенесены в правый список Active Signals (рис. 4).

По умолчанию нам будет предложено выполнить два вида анализа: расчет рабочих точек по постоянному току (Operating Point Analysis) и анализ переходных процессов (Transient/Fourier Analysis), о чем свидетельствуют «галочки», включенные в списке Analyses/Options.

7. Щелкнем левой кнопкой мыши на типе анализа Operating Point Analysis. Правая часть окна окажется пустой, что означает, что данный вид анализа специальных настроек не имеет.
8. Щелкнем левой кнопкой мыши на типе анализа Transient/Fourier Analysis, и в правой части окна появятся настройки анализа переходных процессов.
9. Выключим опцию Use Transient Defaults — станут активными текстовые поля задания временных параметров анализа (рис. 6).
10. В поле Transient Stop Time введем значение 10m, что соответствует 10 мс.
11. В поле Transient Step Time введем значение 10u, что соответствует 10 мкс.
12. В поле Transient Max Step Time введем значение 10u, что соответствует 10 мкс. Так как во время моделирования шаг по времени может варьироваться автоматически, данный параметр задает его верхнее ограничение.

Все остальные параметры можно не менять. При таких настройках в ходе анализа будет рассчитано 1000 временных точек.

13. Нажмем кнопку ОК, чем запустим процесс моделирования.

Если вы не сделали ни одной ошибки, система переключится в режим отображения результатов расчета, и на экране появятся четыре временные диаграммы, показывающие назначенные нами четыре сигнала (рис. 7).

Что произошло после нажатия кнопки ОК?

Прежде всего, посмотрим на содержимое панели Projects. Легко видеть, что в проект добавились две новых категории файлов: Generated Mixed Sim Netlist Files с документом Multivibrator.nsx и Generated ViewSim Data Files с документом Multivibrator.sdf, причем последний автоматически открылся и содержит рассчитанные графики.

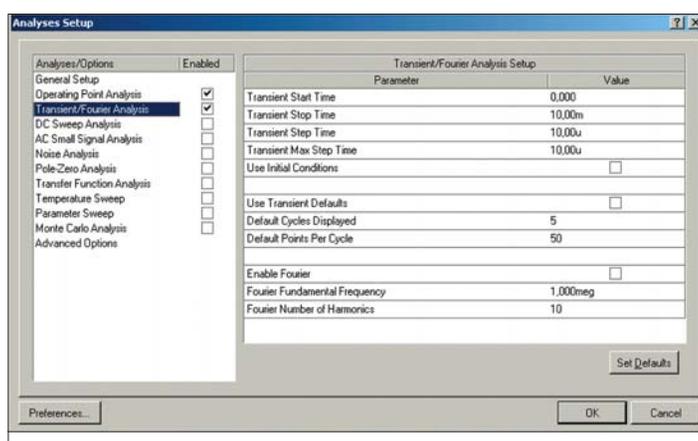


Рис. 6. Настройка анализа переходных процессов

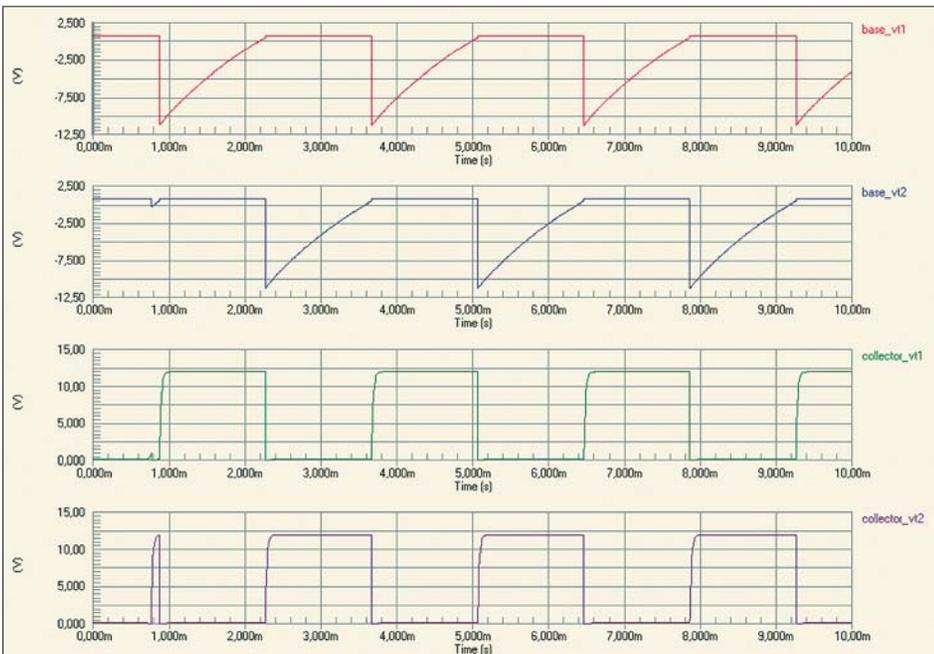


Рис. 7. Временные диаграммы сигналов в узлах схемы мультивибратора

14. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на документе Multivibrator.nsx, который является сгенерированным для нашей схемы списком соединений в формате SPICE. Так как он является обычным текстовым документом, то файл будет открыт встроенным в систему Protel DXP текстовым редактором.

```
Multivibrator
*SPICE Netlist generated by Advanced Sim server on 22.06.2003
2:51:17

*Schematic Netlist:
C1 COLLECTOR_VT2 BASE_VT1 20000pF
C2 BASE_VT2 COLLECTOR_VT1 20000pF
R1 12V BASE_VT1 100k
R2 12V BASE_VT2 100k
R3 12V COLLECTOR_VT1 1k
R4 COLLECTOR_VT2 12V 1k
V1 12V 0 +12
QVT1 COLLECTOR_VT1 BASE_VT1 0 2N3904
QVT2 COLLECTOR_VT2 BASE_VT2 0 2N3904

.SAVE 0 12V BASE_VT1 BASE_VT2 COLLECTOR_VT1 COLLEC-
TOR_VT2 V1#branch @V1[z] @C1[i]
.SAVE @C2[i] @QVT1[ib] @QVT1[ic] @QVT1[ie] @QVT2[ib]
@QVT2[ic] @QVT2[ie] @R1[i] @R2[i]
.SAVE @R3[i] @R4[i] @C1[p] @C2[p] @QVT1[p] @QVT2[p] @R1[p]
@R2[p] @R3[p] @R4[p] @V1[p]

*PLOT TRAN -1 1 A=BASE_VT1 A=BASE_VT2
A=COLLECTOR_VT1 A=COLLECTOR_VT2
*PLOT OP -1 1 A=BASE_VT1 A=BASE_VT2 A=COLLECTOR_VT1
A=COLLECTOR_VT2

.OPTION KeepLastSetup=False
*Selected Circuit Analyses:
.TRAN 1E-5 0.01 0 1E-5
.OP

*Models and Subcircuit:
.MODEL 2N3904 NPN(IS=1.4E-14 BF=300 VAF=100 IKF=0.025
ISE=3E-13 BR=7.5 RC=2.4
+CJE=4.5E-12 TF=4E-10 CJC=3.5E-12 TR=2.1E-8 XTB=1.5 KF=9E-16 )

.END
```

Рассмотрим содержимое данного докумен- та. Синтаксис списков соединений SPICE хо- рошо описан в литературе, поэтому остано- вимся лишь на основных моментах.

Для удобства чтения список разбит на ло- гические блоки, снабженные текстовыми комментариями в строках, начинающихся с символа * («звездочка»).

Сначала идет заголовок согласно имени файла схемы Multivibrator.

Далее следует блок описания схемы. Каж- дый элемент занимает одну строку и содер- жит следующие данные:

< Позиционное обозначение > < узлы подключения (цепи) > < параметры >

Позиционное обозначение, как правило, совпадает с использованным на схеме. Исклю- чение составляют элементы, первая буква обо- значения которых не совпала с назначенным в модели SPICE префиксом, дающим понять программе моделирования, какой именно эле- мент описан в данной строке. В нашем случае это произошло с транзисторами, к обозна- чениям которых была добавлена буква Q.

Далее идет перечисление узлов схемы, к ко- торым данный элемент подключен. Имена узлов совпадают с именами цепей на схеме, за исключением цепи GND, которая в списке соединения SPICE всегда обозначаемой циф- рой «0». Порядок следования узлов описыва- ется в модели элемента в окне Model Sim.

Далее следует список параметров модели. В случае простых элементов, например, кон- денсаторов и резисторов — это номинал, ко- торый может иметь масштабирующий суф- фикс, причем пробел между ними не допус- кается. Буквы, следующие за стандартным масштабирующим множителем, как в случае с конденсаторами, в расчет не принимаются. Для транзисторов в качестве параметра ука- зана ссылка на внешнюю модель 2N3904.

Следующий блок включает три строки, на- чинающихся с директивы .SAVE. За ней сле- дует перечисление данных, которые необхо- димо получить в ходе расчета и сохранить. Так как при настройке моделирования в окне Analyses Setup в выпадающем списке Collect Data For мы указали набор данных Node Voltage, Supply Current, Device Current and Power, то в данном блоке перечисляются все возможные сигналы и характеристики: на-

пряжения в узлах, ток питания, импеданс, протекающие через элементы токи и рассеи- ваемая ими мощность.

Две следующих строки, хоть и начинаются с символа * и являются комментариями, не- ссут в себе служебную информацию для про- граммы SimView и предписывают ей отобра- зить на экране результаты расчета четырех активных сигналов и рабочих точек.

Далее следует блок описания назначенных опций и типов анализа. В строке, начинаю- щейся с директивы .OPTION, перечисляются специальные опции управления программ- ной моделирования. В нашем случае это единственный параметр KeepLastSetup, пред- писывающий в каждом последующем запус- ке использовать результаты предыдущего моделирования. Строка, начинающаяся с .TRAN, назначает выполнение анализа пе- реходных процессов с соответствующими па- раметрами, а с .OP — расчет рабочих точек.

Последним в списке соединений следует блок описания моделей и подсхем. В нашем случае здесь присутствует описание модели транзистора 2N3904, которое мы уже видели в окне Model Sim (рис. 3). Описание начина- ется с директивы .MODEL и занимает две строки, причем знаком переноса служит символ + в начале второй строки.

Завершает список соединений директива .END.

Обработка результатов измерений

Как следует из настроек программы моде- лирования и полученного списка соедине- ний, временные диаграммы сигналов, пока- занные на рис. 7, далеко не все, что было рас- считано в ходе анализа. Рассмотрим полу- ченные результаты более подробно.

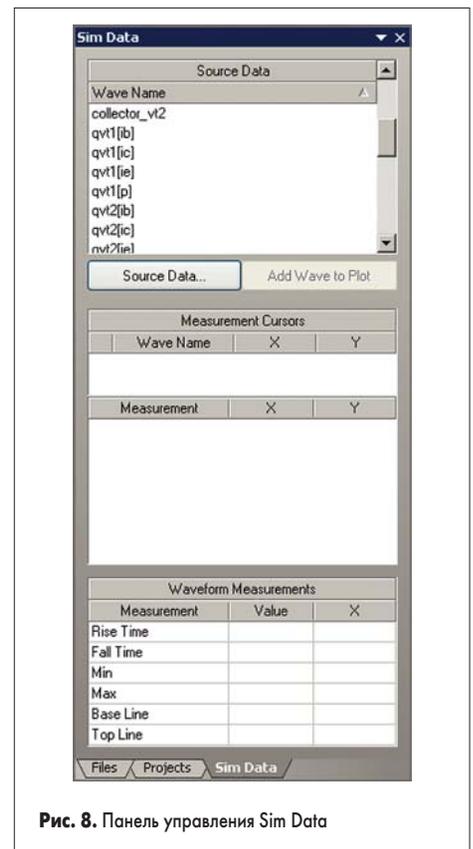


Рис. 8. Панель управления Sim Data

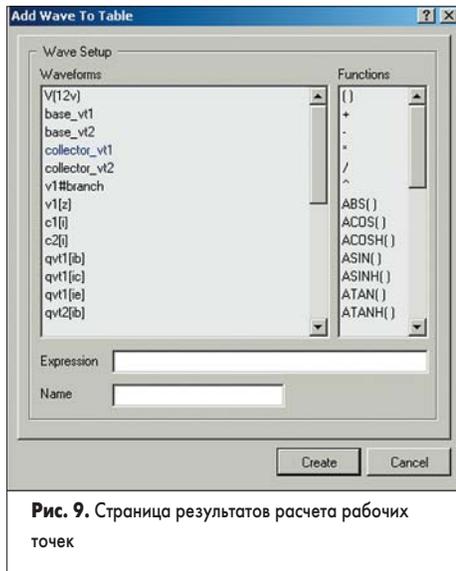


Рис. 9. Страница результатов расчета рабочих точек

- Прежде всего, вернемся в режим просмотра результатов расчета, щелкнув левой кнопкой мыши на вкладке Multivibrator.sdf в верхней части окна проекта. Если этот документ был ранее сохранен и закрыт, то выполним на нем в дереве проектов двойной щелчок левой кнопкой мыши.
- Обратим внимание, что на панели управления появится вкладка Sim Data. Перейдем на эту панель, щелкнув левой кнопкой мыши на этой вкладке (рис. 8).

Вернемся к документу Multivibrator.sdf. Наличие двух закладок в нижней части окна документа говорит о том, что он состоит из двух страниц, причем, как следует из названия, каждая страница соответствует отдельному типу анализа.

- Перейдем на страницу Operating Point, щелкнув на одноименной закладке (рис. 9). Легко видеть, что представленные здесь данные не что иное, как постоянное напряжение рабочей точки в заданных узлах схемы. К показанному списку сигналов можно добавить любой другой из числа рассчитанных и сохраненных в файле Multivibrator.sdf.
- Выполним щелчок правой кнопкой мыши в любом свободном месте страницы и в появившемся контекстном меню выберем команду Add Wave (добавить сигнал). Появится окно Add Wave to Table (рис. 10).
- Посмотрим, какой ток будет потреблять мультивибратор в спокойном состоянии. Для этого в левом списке Waveforms с помощью мыши выделим сигнал v1#branch и нажмем кнопку Create.

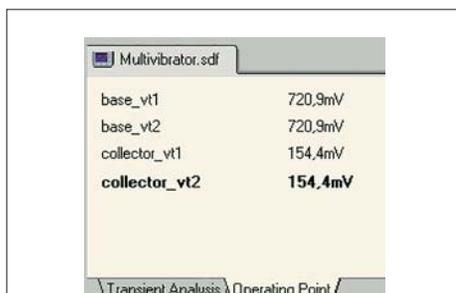


Рис. 10. Добавление нового сигнала к странице результатов расчета рабочих точек

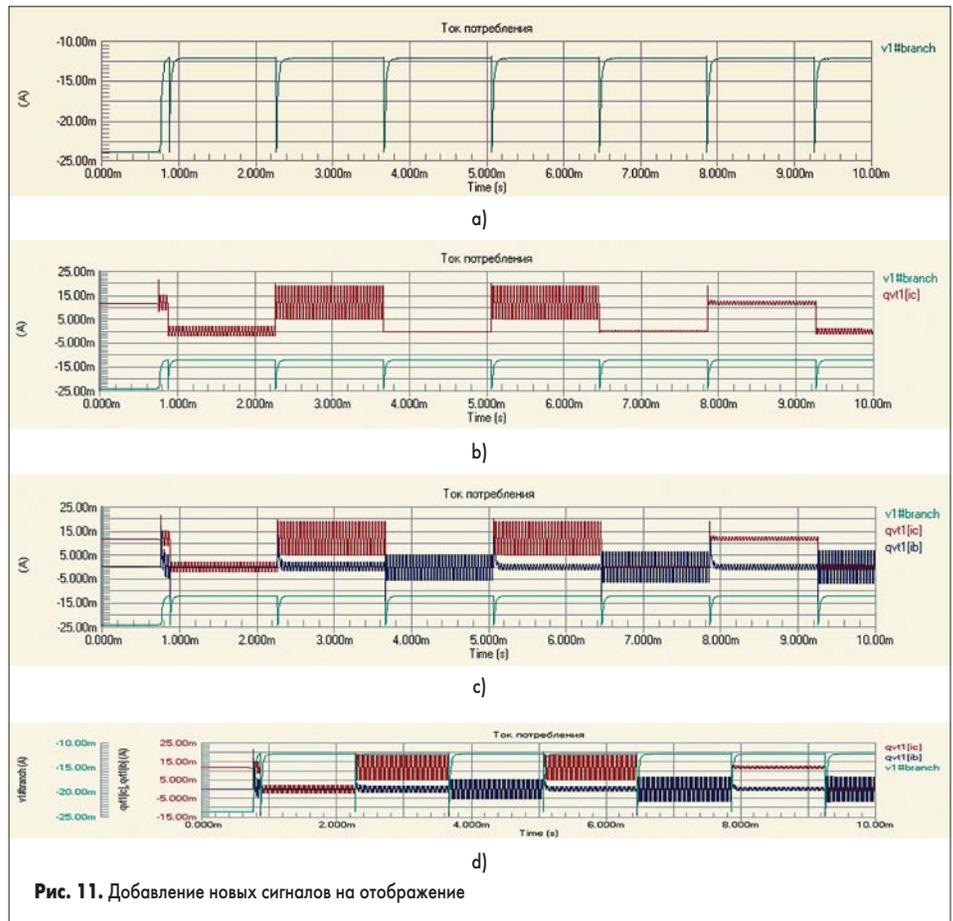


Рис. 11. Добавление новых сигналов на отображение

Заметим, что аналогичное действие можно было выполнить с помощью панели Sim Data: здесь надо лишь выделить нужный сигнал и нажать кнопку Add Wave to Plot.

На странице результатов расчета появится соответствующая строка со значением тока -23,92 мА. «Минус» означает, что ток через источник течет от минусового вывода к плюсовому, то есть, вверх по схеме.

Измерим, например, напряжение между коллектором и базой транзистора VT1.

- Щелчком правой кнопки мыши снова вызовем диалоговое окно Add Wave to Table.
- Щелчком левой кнопкой мыши на сигнале collector_vt1 в левом списке Waveforms.
- Щелчком левой кнопкой мыши на значке «(минус)» в правом списке Functions.
- Щелчком левой кнопкой мыши на сигнале base_vt1 в левом списке Waveforms. В поле Expression будет записано выражение collector_vt1-base_vt1.

В поле Name введем текст «Напряжение К-Б VT1» и нажмем кнопку Create. Заметим, что конструктор выражений на панели Sim Data недоступен.

На странице результатов расчета появится соответствующая строка со значением напряжения 154,4 мВ.

Удалить или изменить отображаемый сигнал можно с помощью команд Edit Wave и Remove Wave из контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши.

Вернемся на страницу результатов анализа переходных процессов.

- Щелкнем левой кнопки мыши на вкладке Transient Analysis.

Здесь присутствуют четыре временные диаграммы, которые по умолчанию по оси X по-

казывают весь временной интервал анализа, а по осям Y имеют автоматическое форматирование. Добавим на страницу новую диаграмму.

- Выполним щелчок правой кнопкой мыши в любом месте страницы и в появившемся контекстном меню выберем команду Add Plot. Запустится мастер создания диаграмм, предлагающий выполнить три последовательных действия.
- На первом шаге введем имя новой диаграммы «Ток потребления» и нажмем кнопку Next.
- На втором шаге оставим все настройки без изменения, при необходимости мы их потом без труда изменим. Нажмем кнопку Next.
- На третьем шаге нам будет предложено выбрать сигнал, который будет отображаться на диаграмме. Нажмем кнопку Add, после чего откроется уже знакомое нам по рис. 10 окно.
- Выберем сигнал v1#branch и нажмем кнопку Create. В списке назначенных на отображение сигналов в окне третьего шага появится указанный сигнал. При желании к диаграмме можно добавить неограниченное число сигналов, но пока мы этого делать не будем, а нажмем кнопку Next.
- Последнее, четвертое окно мастера сообщит нам, что процесс создания диаграммы окончен. Нажмем кнопку Finish. На странице отображения результатов появится пятая диаграмма (рис. 11, a). Отметим, что пока на экране будут показаны только четыре графика. Чтобы посмотреть пятый график, необходимо воспользоваться вертикальной линейкой прокрутки или роликом мыши, если таковой имеется.

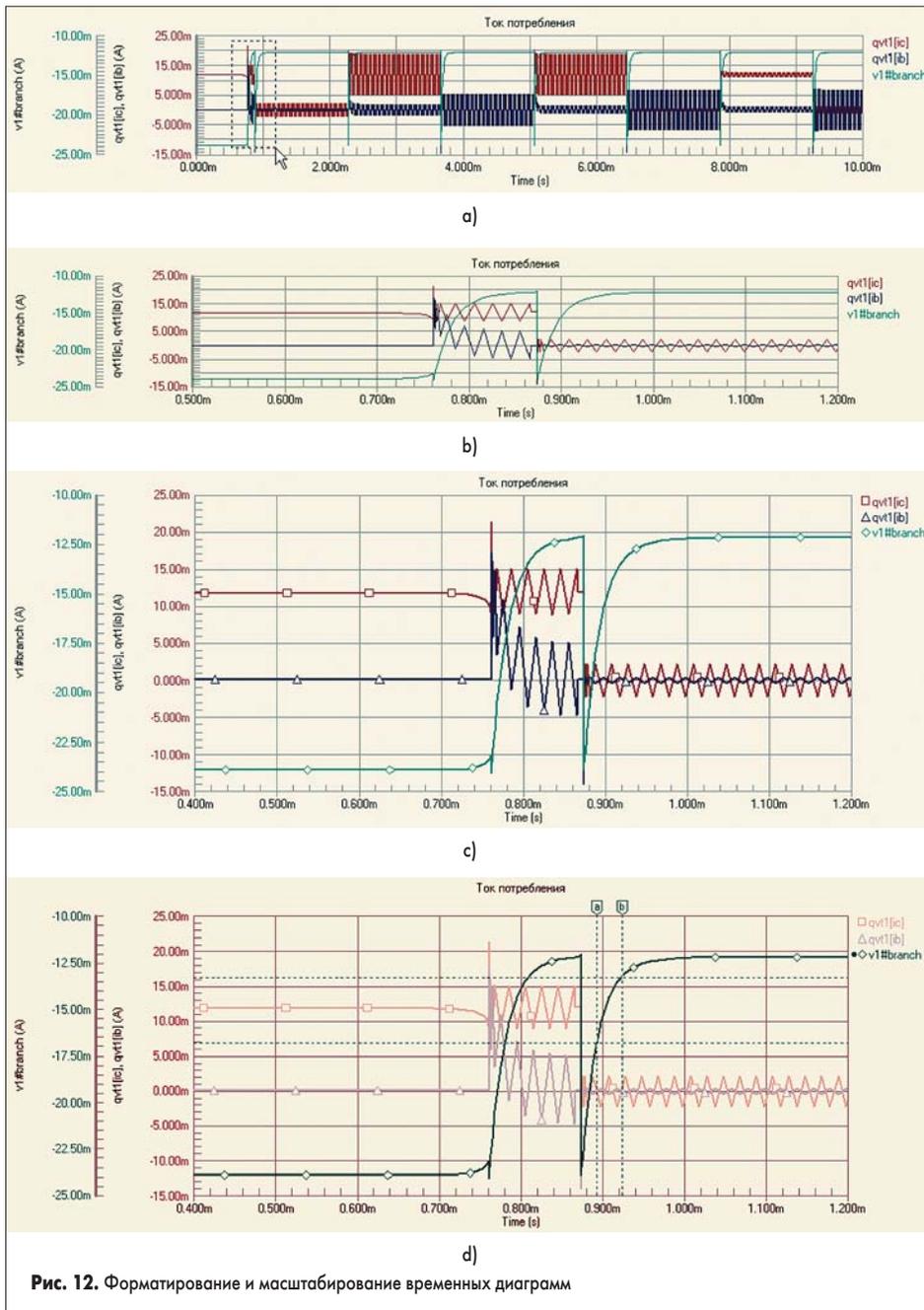


Рис. 12. Форматирование и масштабирование временных диаграмм

Добавим к новой диаграмме второй сигнал.

8. Щелкнув левой кнопкой мыши на копке слева от диаграммы, сделаем ее активной, о чем просигнализирует появившийся на ней треугольник.

9. С помощью мыши в списке Wave Name на панели Sim Data выделим сигнал qv1[ic] и нажмем кнопку Add Wave to Plot. На нашу диаграмму добавится второй сигнал (рис. 11, b).

Добавим к диаграмме третий сигнал, но другим способом.

10. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на диаграмме и в появившемся контекстном меню выберем команду Add Wave to Plot. Появится знакомое нам окно Add Wave to Plot.

11. Укажем сигнал qvt1[ib]. На диаграмму добавится третий сигнал (рис. 11, c).

Для сигналов, значительно отличающихся по значениям от других, имеется возможность введения дополнительных осей Y. На нашей диаграмме сигнал v1#branch лежит

в области отрицательных значений токов, поэтому введем для него вторую ось Y.

12. Щелкнем правой кнопкой мыши на имени сигнала, показанном слева от диаграммы, и в появившемся контекстном меню выберем команду Edit Wave. Откроется окно Add Wave to Plot.

13. Включим имеющуюся здесь опцию Add to new Y axis и нажмем кнопку Create. Вид диаграммы изменится (рис. 11, d). Слева от диаграммы появится новая ось Y с именем соответствующего сигнала и размерности. Масштаб отображения будет подобран автоматически.

Обратите внимание, что выбранный сигнал будет подсвечен, а все остальные графики станут тусклыми согласно настройкам маскирования (кнопка Mask в правом нижнем углу окна документа). Чтобы снять маскирование, следует щелкнуть левой кнопкой на имени сигнала или нажать кнопку Clear, расположенную рядом с кнопкой Mask.

Сейчас, когда на экране отображаются четыре графика, трудно в деталях оценить

форму сигнала из-за маленького масштаба по осям X и Y. Рассмотрим масштабирование диаграмм.

Допустим, нас интересует передний фронт самого первого импульса.

1. С помощью мыши в окне охвата укажем интересующую нас часть сигнала, как показано на рис. 12, a, и отпустим левую кнопку мыши. Горизонтальный масштаб отображения сигналов на всех диаграммах увеличится (рис. 12, b). В нижней части окна документа появится горизонтальная линейка прокрутки, которая позволит перемещать кадр по всему временному интервалу анализа.

2. Выполним щелчок правой кнопкой мыши в любом свободном месте страницы и в появившемся контекстном меню выберем команду Document Option. Появится одноименное окно настроек страницы (рис. 13).

Слева имеются поля настройки цветов сетки (Grid), текста (Foreground) и фона (Background). Кнопка Swap Foreground/Background позволяет обменивать цвет фона и цвет шрифта.

3. В правом нижнем углу окна находится поле Number of Plots Visible, задающее число одновременно отображаемых на странице диаграмм. Введем здесь число 2, включим опции Bold Waveform (толстая линия), Show Designation Symbols (показывать метки для монохромной печати) и нажмем кнопку ОК.

На экране останется всего две диаграммы в удобном для просмотра масштабе (рис. 12, c), но общее число диаграмм на странице не изменится. Просматривать их можно, вращая ролик мыши или используя вертикальную линейку прокрутки.

Для точного измерения значений сигналов на диаграмме могут быть размещены два маркера.

4. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на названии интересующего нас сигнала (например, v1#branch) и в появившемся контекстном меню выберем команду Cursor A. На график добавится маркер с ярлычком с буквой A.

5. Аналогичным образом добавим на график маркер B.

6. Удерживая левую кнопку мыши, перенесем маркеры на фронт импульса так, как показано на рис. 12, d.

Обратите внимание, что вид панели Sim Data изменился, и теперь в таблице Measurement Cursors здесь появились численные данные (рис. 14). Две верхние стро-

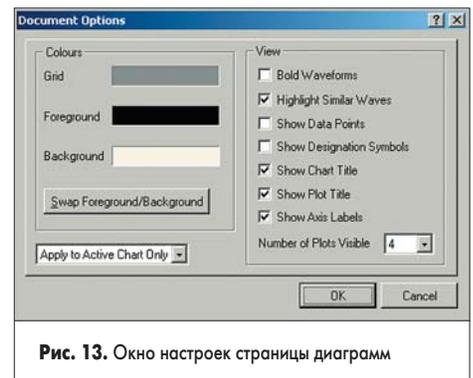


Рис. 13. Окно настроек страницы диаграмм

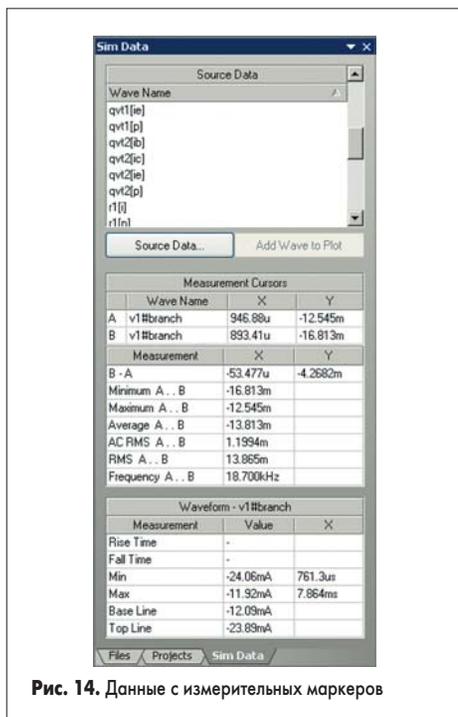


Рис. 14. Данные с измерительных маркеров

ки показывают X и Y координаты маркеров на диаграммах, причем маркеры могут быть размещены на разных сигналах и на разных диаграммах. Далее идут:

- B — A — разность координат маркеров по осям X и Y;
- Minimum A..B — минимальное значение сигнала на отрезке между маркерами;
- Maximum A..B — максимальное значение сигнала на отрезке между маркерами;
- Average A..B — среднее значение сигнала на отрезке между маркерами;
- AC RMS A..B — среднеквадратическое значение переменной составляющей сигнала на отрезке между маркерами;
- RMS A..B — среднеквадратическое значение сигнала на отрезке между маркерами;
- Frequency A..B — величина, обратная разности координат маркеров по оси X и имеющая размерность частоты.

Еще ниже идут результаты измерения на всем временном отрезке анализа:

- Rise Time — время нарастания (определяется для одиночных импульсов);
- Fall Time — время спада (определяется для одиночных импульсов);
- Min — координаты точки минимума;
- Max — координаты точки максимума;
- Base Line — значение логического нуля импульса;

- Top Line — значение логической единицы импульса.

Отметим, что удаление маркера выполняется щелчком на нем правой кнопкой мыши и выбором соответствующей команды из контекстного меню. Аналогичным образом с диаграмм удаляются лишние оси Y и ненужные сигналы.

Имеется возможность изменять последовательность расположения диаграмм на странице. Для этого достаточно с помощью мыши захватить кнопку слева от диаграммы и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, перетащить ее выше или ниже. Небольшой треугольник подскажет вам новое местоположение диаграммы.

Следующее, что мы сделаем — это получим спектры рассчитанных сигналов.

1. Выполним команду меню Chart/Create FFT Chart. Для всех сигналов будет выполнено быстрое преобразование Фурье, результатом которого будет отображен в виде спектров на новой странице Transient Analysis_FFT.

Для удобства отображения гармонических составляющих включим точки данных.

2. Выполним щелчок правой кнопкой мыши в любом свободном месте страницы и в появившемся контекстном меню выберем команду Document Option. В этом окне включим опции Bold Waveform и Show Data Points, после чего закроем окно. Графики спектров сигналов примут вид, как показано на рис. 15.

Иногда требуется передать данные из этого окна в другое приложение Windows. Команды использования Cut, Copy и Paste здесь являются внутренними и не передают данные во внешние приложения. Для передачи информации в буфер обмена Windows в виде метафайла используется команда меню Tools/Copy to Clipboard.

Экспорт данных со страниц данного документа возможен только в файлы CSV (Comma Separated Values) и осуществляется с помощью команд File/Export/Chart (все сигналы) и File/Export/Waveform (выделенный сигнал).

Итак, на данном занятии мы рассмотрели основы работы в программе моделирования электрических схем системы Protel DXP. На следующем занятии мы продолжим рассмотрение ее возможностей.

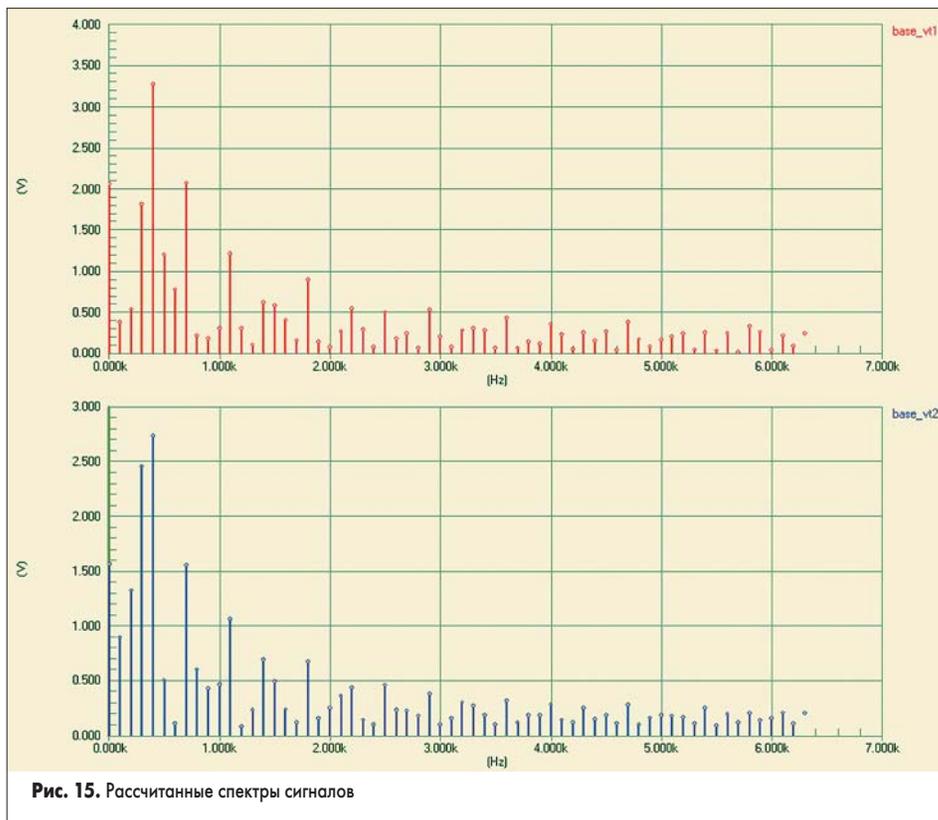


Рис. 15. Рассчитанные спектры сигналов

Protel DXP для начинающих

Урок 10

На предыдущем занятии мы начали изучать основы работы в программе моделирования системы Protel DXP. Продолжим рассмотрение ее возможностей.

Юрий Потопов

potapoff@eltn.ru

Горячая связь с редакторами схем и плат

Рассмотрим еще одну полезную функцию системы моделирования — горячую связь с редакторами схем и плат.

1. Вернемся на страницу Transient Analysis щелчком левой кнопкой мыши на соответствующей закладке.
2. Двойным щелчком левой кнопки мыши в дереве проекта откроем документы Multivibrator simulation.SchDoc и Multivibrator.PcbDoc. Все они будут открыты в одном окне на разных вкладках. Настроим режим одновременного просмотра документов.
3. Щелкнем правой кнопкой мыши на закладке документа Multivibrator.sdf и в появившемся контекстном меню выберем команду Split Horizontal. Окно проекта разделится на две части, в одной из которых будет отображаться документ

Multivibrator.sdf, а в другой — документы Multivibrator simulation.SchDoc и Multivibrator.PcbDoc.

4. Щелкнем правой кнопкой мыши на закладке документа Multivibrator.PcbDoc и в появившемся контекстном меню выберем команду Split Vertical. Верхняя часть окна проекта также разделится на две части.

Настроим оптимальный масштаб просмотра схемы и платы.

5. Щелчком левой кнопкой мыши в поле окна схемы, перейдем в редактор принципиальных схем и нажмем комбинацию горячих клавиш V, F (команда меню View/Fit All Objects).
6. Щелчком левой кнопкой мыши в поле окна платы перейдем в редактор печатных плат и нажмем комбинацию горячих клавиш V, F (команда меню View/Fit All Objects).

Окно проекта примет вид, показанный на рис. 1. Обратное слияние окон выполняется командой Merge All из контекстного меню, вызываемого щелчком правой кнопки мыши на закладке любого из документов. Здесь также работает перетаскивание, которое мы предлагаем исследовать самостоятельно.

7. Выполним команду Project/Compile PCB Project, чем запустим компиляцию проекта. Компиляция нужна из-за того, что мы вносили изменения в схему и меняли ее имя.

8. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала v1#branch на странице графиков и в появившемся контекстном меню выберем команду Cross Probe To Schematic. Вид в окне редактора схем изменится, и в нем будет показан только источник V1, ток через который мы указали (рис. 2, a).

9. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала collector_vt2 на верхнем графике и снова выберем команду Cross Probe To Schematic. Вид в окне редактора схем изменится, и в нем будет показана цепь коллектора транзистора VT2 (рис. 2, b).

8. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала qvt1[ic] на нижнем графике и снова выберем команду Cross Probe To Schematic.

Ничего не произойдет. Почему? Потому указанного элемента, транзистора QVT1, на схеме нет. Префикс Q к обозначению VT1 был добавлен авто-

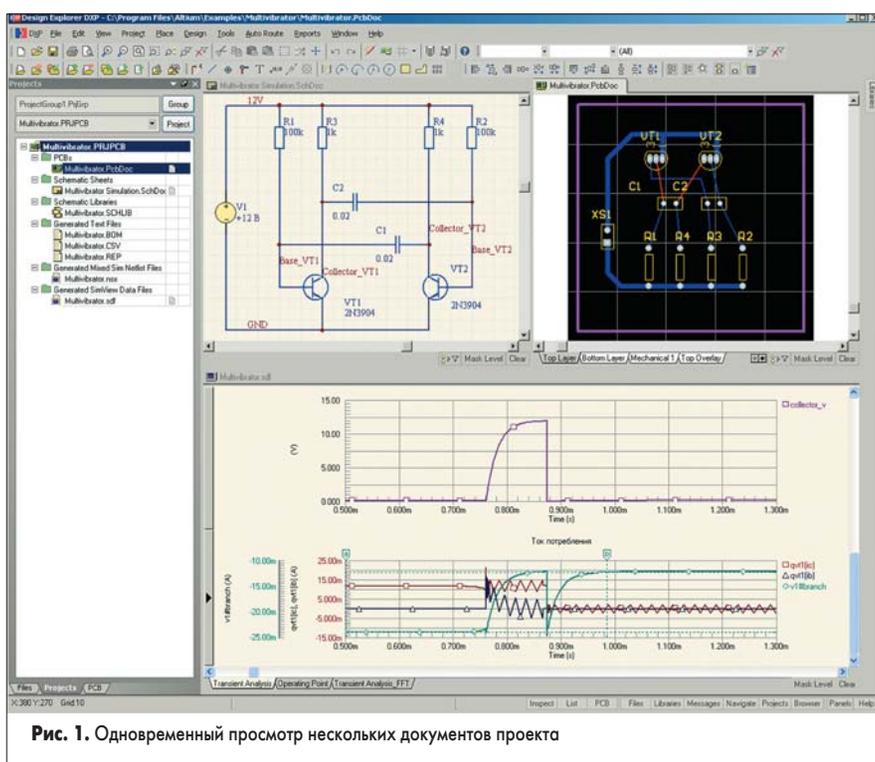


Рис. 1. Одновременный просмотр нескольких документов проекта

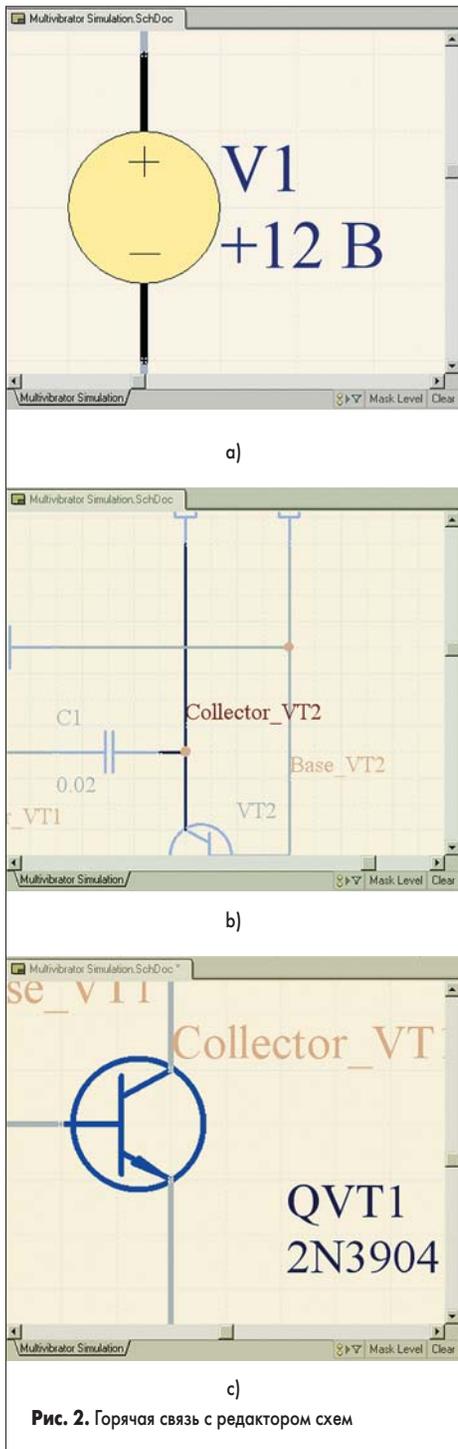


Рис. 2. Горячая связь с редактором схем

матически при генерации списка соединений SPICE, чтобы дать понять программе моделирования, что речь идет о биполярном транзисторе. Чтобы горячая связь заработала, необходимо переименовать транзисторы VT1 и VT2 в QVT1 и QVT2 соответственно.

9. Перейдем в редактор схем, нажатию кнопки Clear в нижней части окна, снимем маскирование и нажмем комбинацию горячих клавиш V, F для изменения масштаба просмотра.

10. Выполним щелчок левой кнопкой мыши на позиционном обозначении транзистора VT1. Транзистор выделится, а текст обозначения подсветится зеленой рамкой.

11. Щелкнем еще раз на позиционном обозначении VT1. Редактор войдет в режим редактирования текстовых полей непосредственно на странице (ранее мы редактировали атрибуты в специальном окне).

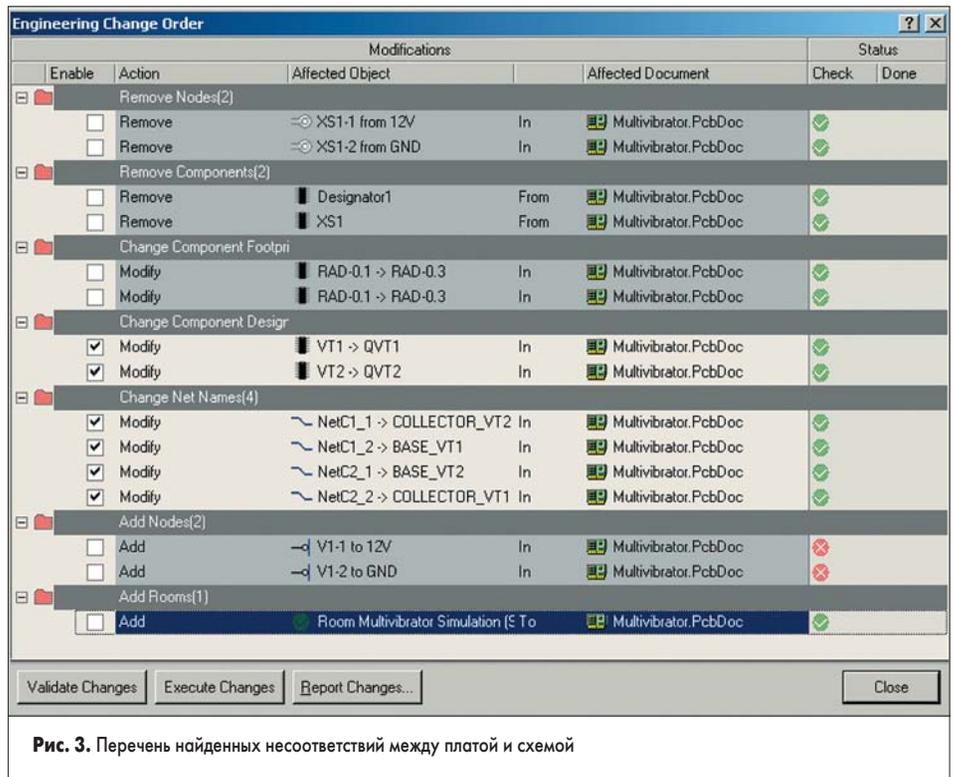


Рис. 3. Перечень найденных несоответствий между платой и схемой

12. Добавим к существующему обозначению букву Q и щелкнем левой кнопкой мыши в любом свободном месте схемы.
 13. Аналогичным образом изменим позиционное обозначение транзистора VT2.
 14. Заново выполним компиляцию проекта (команда Project/Compile PCB Project).
 15. Снова выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала qvt1[ic] на нижнем графике и снова выберем команду Cross Probe To Schematic. В редакторе схем будет показан транзистор QVT1, ток через коллектор которого мы рассчитали (рис. 2, c).
- Разумно предположить, что похожая проблема с обозначениями транзисторов будет присутствовать и на печатной плате. Кроме того, не следует забывать, что перед моделированием мы переименовали четыре цепи на схеме и еще не обновляли проект платы. Выполним это сейчас.
16. Щелчком левой кнопкой мыши в поле окна платы перейдем в редактор печатных плат.
 17. Выполним команду меню Design/Import Changes from [Multiuvibrator.PRJPCB].
 18. На экране появится сообщение о том, что обозначения двух из десяти компонентов были изменены и синхронизатор проекта пытается найти соответствие. Нажмем кнопку Yes для продолжения.
 19. На экране появится следующее сообщение о том, что было найдено 16 различий между имеющимся проектом платы и принципиальной схемой, но только 15 из них могут быть скорректированы. Нажмем кнопку Yes для продолжения.
 20. Откроется окно Engineering Change Order с перечнем найденных несоответствий между платой и схемой. Нажмем кнопку Validate Changes. В столбце Status Check напротив каждого изменения появится значок, сигнализирующий о возможности выполнения данного изменения.

- Легко видеть, что система не может выполнить добавление на плату топологического посадочного места для источника V1, так как в описании источника на схеме отсутствует необходимая ссылка. Но и даже среди остальных 15 «проверенных» изменений выполнять надо далеко не все — нам надо лишь обновить обозначения компонентов и имена цепей. Обратите внимание, что система нашла изменение посадочных мест конденсаторов, которое мы сделали, когда изучали размещение компонентов.
21. Выключим «галочки» напротив всех изменений, кроме перечисленных в разделах Change Component Designators и Change Net Names (рис. 3), и нажмем кнопку Execute Changes. Подсветка покажет ход выполнения изменений.
 22. Нажмем кнопку Close и закроем окно синхронизатора проекта.
 23. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала collector_vt2 на верхнем графике страницы результатов измерений и в контекстном меню выберем команду Cross Probe To Multivibrator.PcbDoc. Вид в окне редактора плат изменится, и в нем будет показана цепь коллектора транзистора QVT2 (рис. 4, a).
 24. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала qvt1[ic] на нижнем графике и снова выберем команду Cross Probe To Schematic. Вид в окне редактора плат изменится, и в нем будет показан транзистор QVT1 (рис. 4, b).
- Из всего сделанного выше следует сделать один важный вывод: если вы хотите максимально использовать функциональность сквозной системы проектирования, следует минимальным образом ориентироваться на ГОСТ, использовать предлагаемые по умолчанию обозначения элементов и цепей, а также следовать принятой в системе методологии проектирования. Такой подход

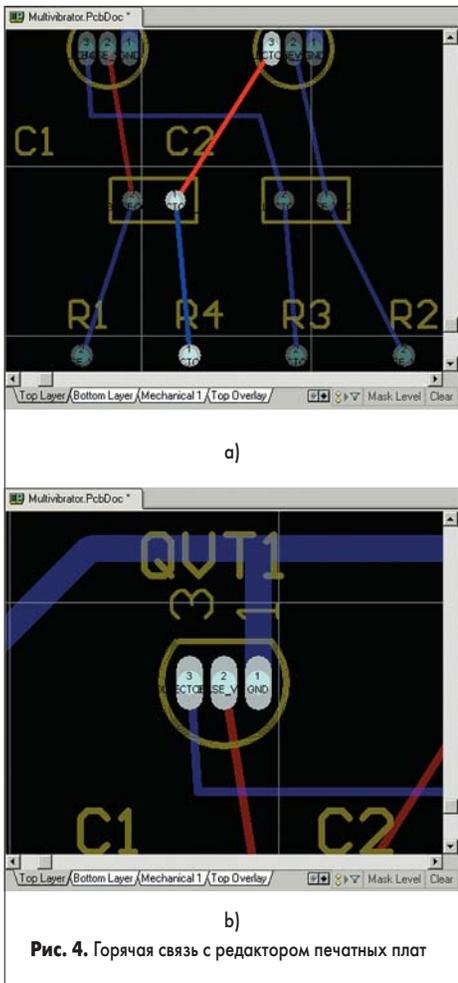


Рис. 4. Горячая связь с редактором печатных плат

позволит избежать большинства проблем в любой современной западной системе проектирования. По завершении разработки проекта следует выполнить его «дооформление» согласно требованиям ЕСКД и вывод документации для бумажных архивов. Система Protel DXP для этого подходит наилучшим образом.

Параметрический анализ

Вернемся к рассмотрению доступных в системе Protel DXP методов анализа.

Часто разработчику требуется оценить, как изменение того или иного параметра влияет на функционирование всей схемы. Такой анализ называется параметрическим или, иначе, анализом чувствительности.

Рассмотрим, как отразится на работе схемы разрабатываемого нами мультивибратора изменение емкости конденсаторов C1 и C2.

- Щелкнем правой кнопкой мыши на вкладке любого из открытых документов и в появившемся контекстном меню выберем команду Merge All, чем выключим отображение документов в разных окнах.
- Щелчком на вкладке документа Multivibrator simulation.SchDoc, расположенной в верхней части окна проекта, вернемся в редактор схем.
- С помощью команды меню View/Toolbars/Mixed Sim включим панель инструментов Mixed Sim (рис. 5). В отличие от окна Design/Simulate/Mixed Sim расположенные здесь кнопки позволяют независимо выполнять три этапа подготовки к моделированию: на-

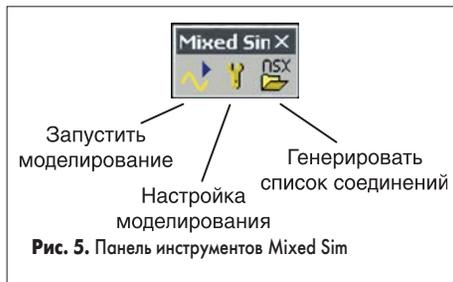


Рис. 5. Панель инструментов Mixed Sim

стройку видов анализа, генерацию списка соединений и запуск процесса моделирования.

- Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation, откроется уже знакомое нам по предыдущему уроку окно настройки моделирования Analyses Setup.
- Щелкнем левой кнопкой мыши на строке Parameter Sweep в списке Analyses/Options слева. В правой части окна появятся настройки этого вида анализа (рис. 6). В общем случае система Protel DXP позволяет независимо варьировать два параметра, но для начала мы ограничимся только одним из них.
- Щелкнем левой кнопкой мыши на клетке в столбце Value напротив строки Primary Sweep Variable и появившемся выпадающем списке выберем параметр C1(capacitance).
- Зададим начальное значение диапазона изменения параметра (Primary Start Value) равным 20п.
- Зададим конечное значение диапазона изменения параметра (Primary Stop Value) равным 30п.
- Зададим шаг изменения параметра (Primary Step Value) равным 1п.
- В клетке Primary Sweep Type оставим значение Absolute Value.

При таких настройках емкость конденсатора C1 примет 11 значений в диапазоне от 20 до 30 нФ.

- Включим «галочку» напротив строки Parameter Sweep в списке слева и закроем окно нажатием кнопки ОК.
- Сформируем заново список соединений, для чего на панели инструментов Mixed Sim нажмем кнопку Generate XSPICE Netlist. В окне проекта автоматически откроется отчет Status Report.txt.

- Щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке документа Multivibrator.nsx.

Легко видеть, что полученный список соединений почти не отличается от существовавшего ранее. Единственное изменение произошло в блоке описания назначенных опций и типов анализа.

```
.OPTION KeepLastSetup=False
*Selected Circuit Analyses:
.TRAN 1E-5 0.01 0 1E-5
.OP
.CONTROL
SWEEP C1[capacitance] 2E-8 3E-8 1E-9
.ENDC
```

Добавленные последние три строки данного блока предписывают выполнить вариацию параметра C1 в заданном диапазоне.

- Находясь в режиме просмотра списка соединений, выполним команду меню Simulate/Run, чем запустим процесс моделирования.

Система переключится в режим отображения документа Multivibrator.sdf, в котором будут отображаться результаты расчета по мере их поступления.

- Наибольший интерес для нас будут представлять результаты анализа переходных процессов, поэтому по завершению процесса анализа щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке Transient Analysis, в нижней части экрана.

- Вращением ролика мыши или с помощью линейки прокрутки добьемся, чтобы на экране отображалась временная диаграмма сигнала collector_vt2.

Ранее на вкладке Transient Analysis присутствовало четыре графика согласно установкам отображения четырех рассчитанных сигналов: BASE_VT1, BASE_VT2, COLLECTOR_VT1 и COLLECTOR_VT2. Теперь их будет восемь, так как для каждого из этих сигналов будет прорисовано по два отдельных графика. Первый из них, как и ранее, будет отображать результаты анализа переходных процессов, а второй будет содержать набор кривых, полученных в ходе параметрического анализа. Число кривых будет равно числу вариаций значения параметра. На рис. 7, а показаны сигналы

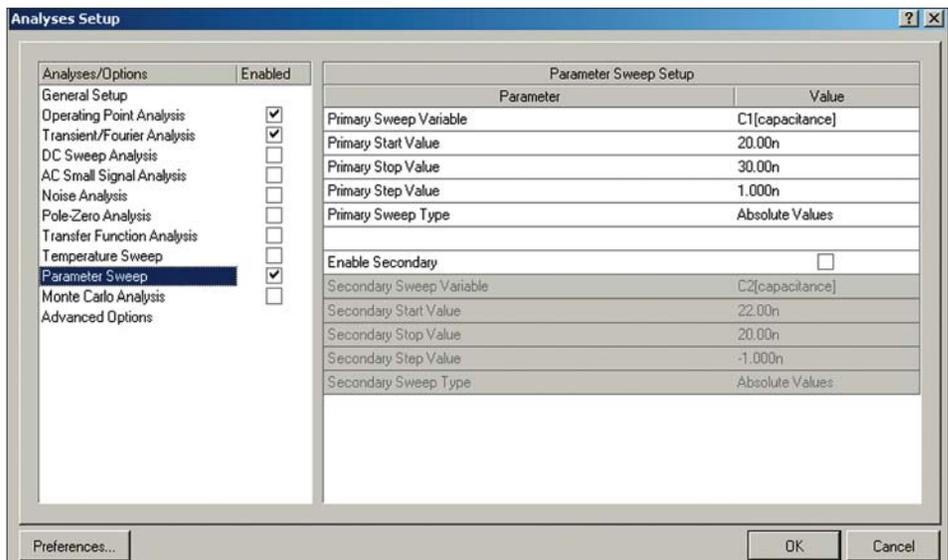


Рис. 6. Настройка параметрического анализа

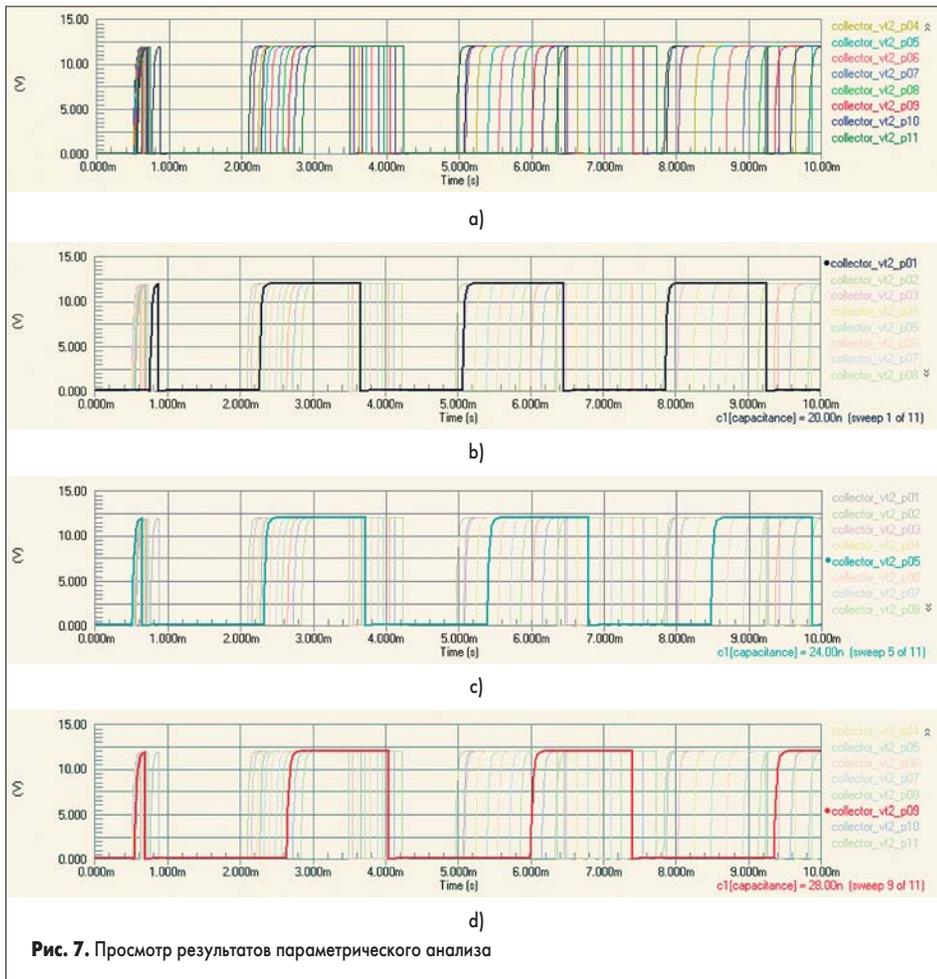


Рис. 7. Просмотр результатов параметрического анализа

на коллекторе транзистора VT2 при разных значениях емкости конденсатора C1.

17. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени сигнала collector_vt2_p01, показанном справа от графика. Выбранный сигнал подсветится, а остальные потускнеют согласно настройкам маскирования (рис. 7, b). В правом нижнем углу графика появится описание выбранного сигнала: «c1(capacitance) = 20.00n (sweep 1 of 11)».

18. Щелчком левой кнопки мыши или вращением ролика мыши активируем следующий сигнал и так далее (рис. 7, c и d). Если ролик у мыши отсутствует, то для просмотра большого списков используется расположенная здесь же линейка прокрутки.

Легко видеть, что с ростом емкости увеличивается период колебаний мультивибратора. Но так как емкость меняется только в одном его плече, то это приводит к изменению скважности импульсов, что очень наглядно показано на рисунках 7, b, c и d.

Для изменения периода колебаний с сохранением скважности, равной 1, необходимо менять емкость обоих конденсаторов. Как уже говорилось ранее, система Protel DXP позволяет выполнять одновременную вариацию двух параметров. Рассмотрим, как это делается.

19. Щелкнем на вкладке документа Multivibrator simulation.SchDoc и вернемся в редактор схем.
20. Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation, откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.
21. В списке Parameter Sweep Setup включим «галочку» в строке Enable Secondary.

22. Щелкнем левой кнопкой мыши на клетке в столбце Value напротив строки Secondary Sweep Variable и появившемся выпадающем списке выберем параметр C2(capacitance).

Значения изменяемого параметра могут быть заданы абсолютными, как в случае конденсатора C1, так и относительными, когда задается отклонение от номинального значения. Рассмотрим эту возможность.

23. В клетке Secondary Sweep Type оставим значение Relative Value (рис. 8).

24. Зададим начальное значение диапазона изменения параметра (Secondary Start Value) равным 0n.

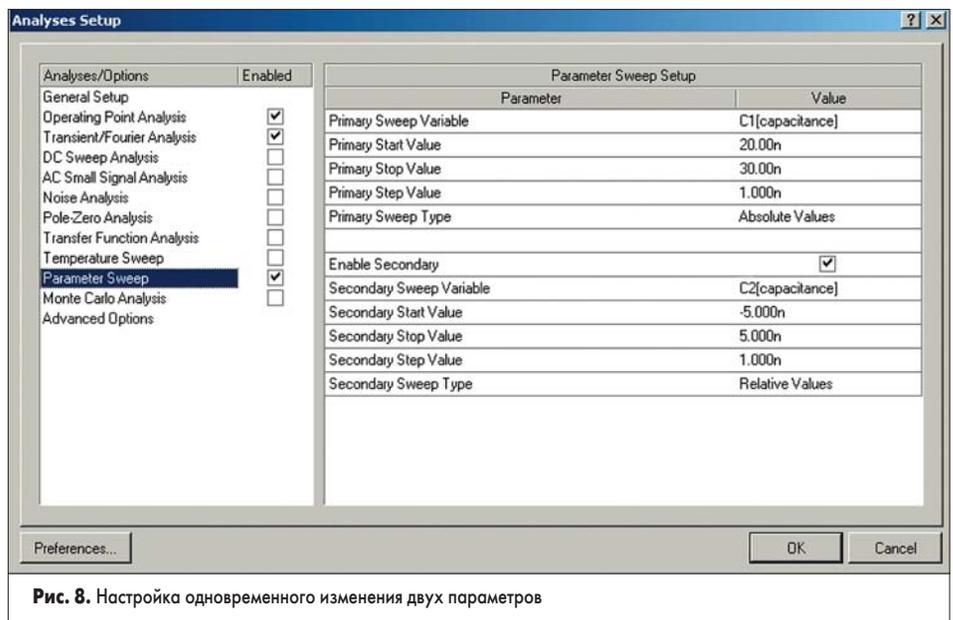


Рис. 8. Настройка одновременного изменения двух параметров

25. Зададим конечное значение диапазона изменения параметра (Secondary Stop Value) равным 10n.

26. Зададим шаг изменения параметра (Secondary Step Value) равным 1n.

При таких настройках емкость конденсатора C2 примет 11 значений в диапазоне от 20 до 30 нФ. Не следует забывать, что изменение значений будет выполняться для каждого значения первичного параметра, а значит, программа выполнит 121 проход, что само по себе может занять значительное время. Кроме того, в ходе такого расчета будет получен 121 набор данных для токов, напряжений, мощностей и т. д. (согласно настройкам General Setup), обработка которых может потребовать значительных вычислительных ресурсов.

27. Для сокращения времени вычисления откажемся от расчета рабочих точек, для чего уберем «галочку» напротив вида анализа Operating Point Analysis и закроем окно нажатием кнопки ОК.

28. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования. Отметим, что перед запуском анализа будет автоматически выполнено формирование списка соединений.

Система переключится в режим отображения документа Multivibrator.sdf.

29. По окончании расчета щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке Transient Analysis.

30. Вращением ролика мыши или с помощью линейки прокрутки добьемся, чтобы на экране отображалась временная диаграмма сигнала collector_vt2.

31. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени сигнала collector_vt2_p001, показанном справа от графика. В правом нижнем углу графика появится описание выбранного сигнала: «c1(capacitance) = 20.00n c2(capacitance) = 20.00n (sweep 1 of 121)» (рис. 9, a). Это же описание будет продублировано в строке состояния.

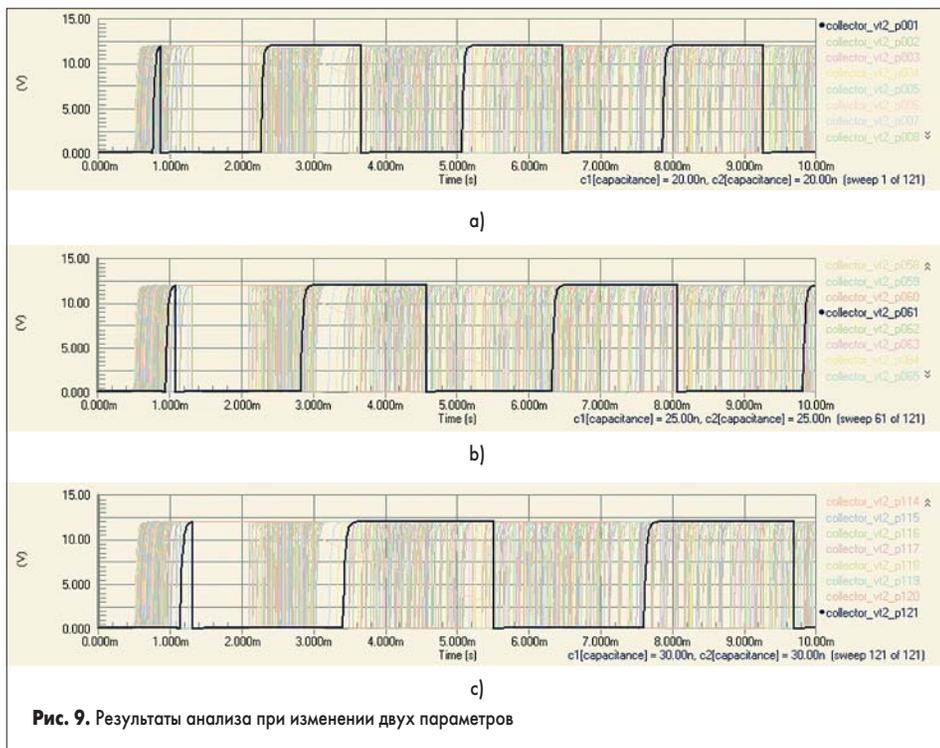


Рис. 9. Результаты анализа при изменении двух параметров

32. Наведем указатель мыши на название следующего сигнала. Его описание появится в строке состояния «c1(capacitance) = 21.00n c2(capacitance) = 20.00n (sweep 1 of 121)».
 33. Нас интересуют сигналы, полученные при одинаковых значениях емкости конденсаторов C1 и C2, поэтому найдем такой сигнал в списке (например, collector_vt2_p061) и щелкнем на его названии. В правом нижнем углу графика появится описание: «c1(capacitance) = 25.00n c2(capacitance) = 25.00n (sweep 61 of 121)» (рис. 9, б).
- Легко видеть, что период колебаний, как и ранее, с ростом емкости конденсаторов увеличился, но так как значения емкости одинаковые, скважность импульсов осталась равна 1. Максимальное увеличение периода колебаний можно наблюдать на диаграмме последнего сигнала collector_vt2_p121 (рис. 9, в).

Следует также знать, протокол именования точек записывается в файл Multivibrator.swd, автоматически создаваемый в папке Project Outputs for Multivibrator. Этот файл понадобится нам для анализа в режиме изменения температуры.

Режим свипирования температуры

Существует вид параметрического анализа, выделенный в отдельный — это режим свипирования температуры. В общем случае фактическая температура в градусах Цельсия, при которой проводится анализ схемы, задается в переменной TEMP раздела Advanced Options окна Analyses Setup (рис. 10). Не следует путать эту переменную с расположенной здесь же переменной TNOM, задающей программе SPICE номинальную температуру, для которой определены модели устройств. Эту переменную лучше всего оставить заданной по умолчанию (27 °C).

В случаях, когда требуется оценить динамику изменения работы схемы при изменении температуры, используется режим анализа Temperature Sweep. Рассмотрим его подробнее.

1. Щелкнем на вкладке документа Multivibrator simulation.SchDoc и вернемся в редактор схем.
2. Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation, откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.
3. Щелкнем левой кнопкой мыши на строке Advanced Options в списке Analyses/Options

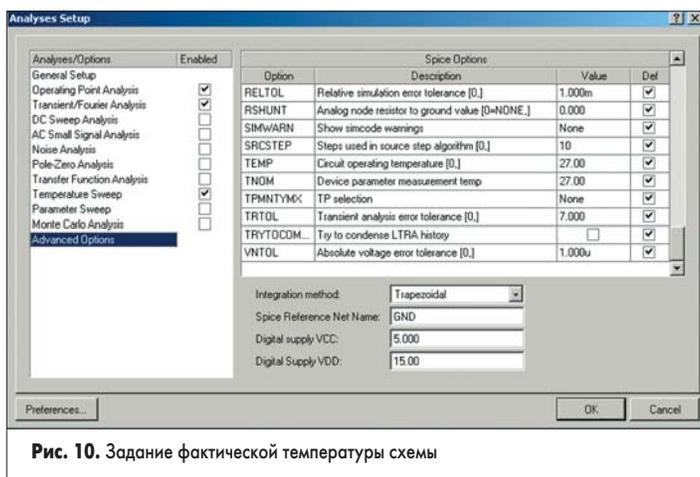


Рис. 10. Задание фактической температуры схемы

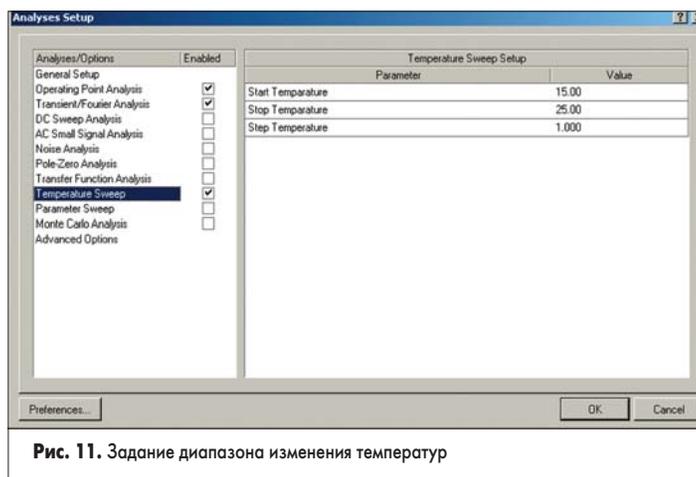


Рис. 11. Задание диапазона изменения температур

слева. В правой части окна появится список переменных и опций программы моделирования SPICE (рис. 10).

4. С помощью линейки прокрутки найдем в этом списке переменную TEMP, в столбце Value напротив нее введем значение 20 и нажмем клавишу Enter. Обратите внимание, что расположенная рядом в столбце Def «галочка» выключится.
5. Щелкнем левой кнопкой мыши на строке Temperature Sweep в списке Analyses/Options слева. В правой части окна появятся настройки этого вида анализа (рис. 11).
6. Зададим начальное значение диапазона изменения температуры (Start Temperature) равным 15.
7. Зададим конечное значение диапазона изменения температуры (Stop Temperature) равным 25.
8. Зададим шаг изменения температуры (Step Temperature) равным 1.
9. Включим «галочку» напротив строки Temperature Sweep в списке слева и закроем окно нажатием кнопки OK.
10. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавишей F9 запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения документа Multivibrator.swd.
11. По окончании расчета щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке Transient Analysis.
12. Вращением ролика мыши или с помощью линейки прокрутки добьемся, чтобы на экране отображалась временная диаграмма сигнала collector_vt2.
13. С помощью мыши выделим участок графика, как показано на рис. 12, а. Масштаб отображения по шкале времени изменится.
14. К сожалению, в отличие от параметрического анализа при наведении указателя мыши на название сигнала расшифровка этого названия в строке состояния появляться не будет. Поэтому откроем расположенный в папке Project Outputs for Multivibrator файл Multivibrator.swd, содержащий протокол именования графиков:

```
*TRAN sweep option[temp] run 1 of 11 (t1)
option[temp] 20 -> 15
*TRAN sweep option[temp] run 2 of 11 (t2)
option[temp] 20 -> 16
*TRAN sweep option[temp] run 3 of 11 (t3)
option[temp] 20 -> 17
```

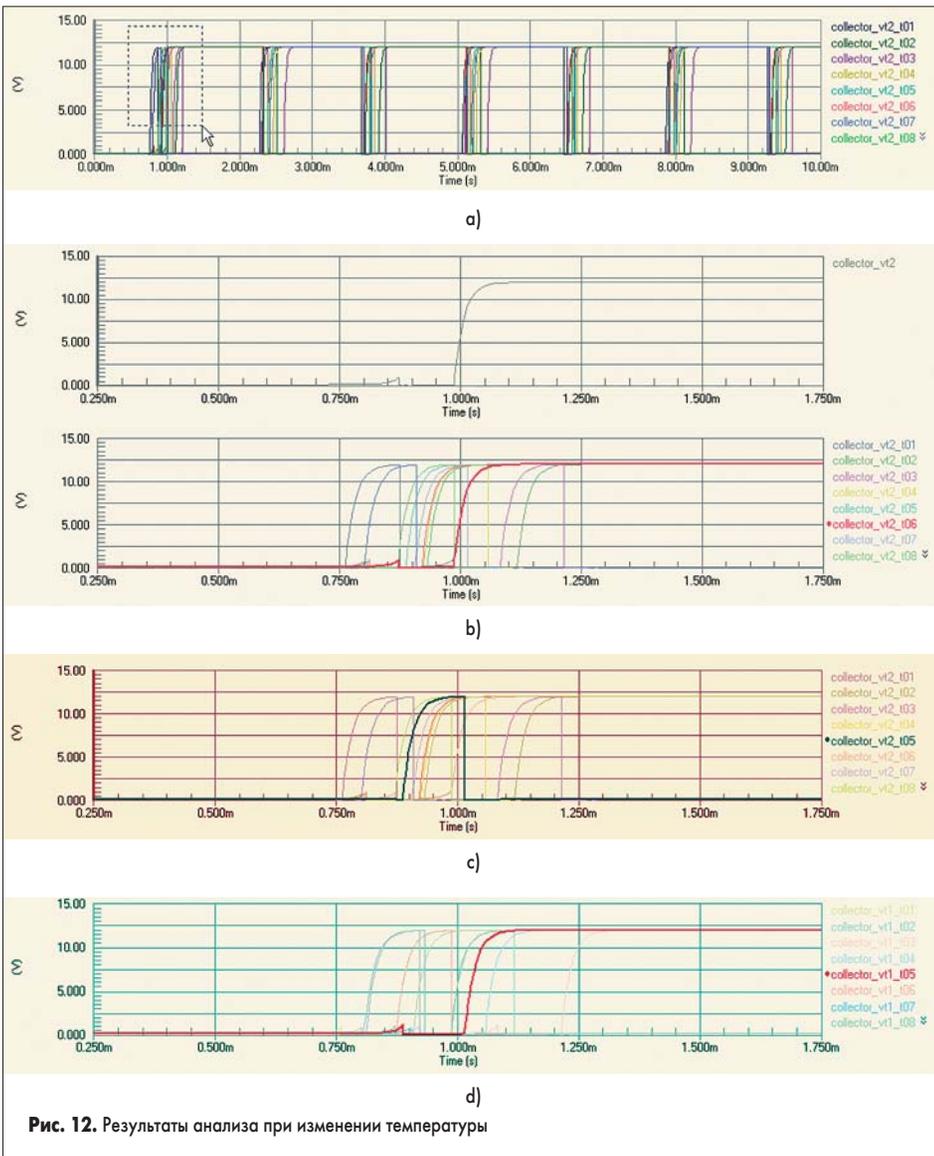


Рис. 12. Результаты анализа при изменении температуры

```
*TRAN sweep option[temp] run 4 of 11 (t4)
option[temp] 20 -> 18
*TRAN sweep option[temp] run 5 of 11 (t5)
option[temp] 20 -> 19
*TRAN sweep option[temp] run 6 of 11 (t6)
option[temp] 20 -> 20
*TRAN sweep option[temp] run 7 of 11 (t7)
option[temp] 20 -> 21
*TRAN sweep option[temp] run 8 of 11 (t8)
option[temp] 20 -> 22
*TRAN sweep option[temp] run 9 of 11 (t9)
option[temp] 20 -> 23
*TRAN sweep option[temp] run 10 of 11 (t10)
option[temp] 20 -> 24
*TRAN sweep option[temp] run 11 of 11 (t11)
option[temp] 20 -> 25
```

Легко видеть, что температуре в 20 °C будет соответствовать сигнал с суффиксом t6, то есть collector_vt2_t6.

15. Щелкнем левой кнопкой мыши на названии сигнала collector_vt2_t6 справа от графика.

Выделенный нами из набора сигнал в точности совпадает с сигналом, представленным на верхней диаграмме для фиксированной температуры (рис. 12, b).

18. Щелчком левой кнопки мыши или вращением ролика мыши активируем сигналы, полученные для других значений температуры.

Легко видеть, что вид даже соседнего сигнала collector_vt2_t5, полученного при темпера-

туре 19 градусов, будет сильно отличаться от сигнала collector_vt2_t6 (рис. 12, c). В чем ошибка? На самом деле, никакой ошибки нет, а полученный эффект — это всего лишь результат одной из особенностей численного моделирования, которую надо знать и учитывать.

Дело в том, что моделируемый нами мультивибратор является симметричным устройством. В реальном устройстве симметричные компоненты схемы никогда не будут одинаковыми, и это приведет к тому, что один из транзисторов откроется раньше. А значит, сколько бы раз мы не включали питание, начальная фаза колебаний мультивибратора будет приблизительно одинакова.

При моделировании же мы используем идеальные одинаковые компоненты, взятые из одинаковых библиотек и имеющих абсолютно одинаковые параметры. Схема при этом является абсолютно симметричной, а начальная фаза колебаний является случайной и определяется цифровым шумом, возникающим вследствие представления чисел в формате с плавающей точкой. Таким образом, сигнал collector_vt2_t5 был получен в ходе многократного запуска программы моделирования при других случайных начальных условиях и оказался инвертированным по фазе, что подтверждает вид сигнала collector_vt1_t5 (рис. 12, d).

Отсюда следует простой вывод: чтобы добиться повторяемости результатов, полученных при множественных запусках анализа переходных процессов, необходимо контролировать начальные условия. Система Protel DXP предоставляет такую возможность с помощью специальных объектов. Рассмотрим, как это делается, а заодно рассмотрим функцию подключения библиотек к системе.

Учет начальных условий

1. Щелкнем на вкладке документа Multivibrator simulation.SchDoc и вернемся в редактор схем.
2. Выполним команду меню Design/Add/Remove Library.
3. В открывшемся окне Available Libraries нажмем кнопку Install.
4. Откроется стандартное окно выбора файла, в котором укажем библиотеку Simulation Sources.IntLib, размещенную в папке C:\Program Files\Altium\Library\Simulation, и нажмем кнопку Открыть. Указанная библиотека окажется в списке подключенных на вкладке Installed диалогового окна Available Libraries (рис. 13).

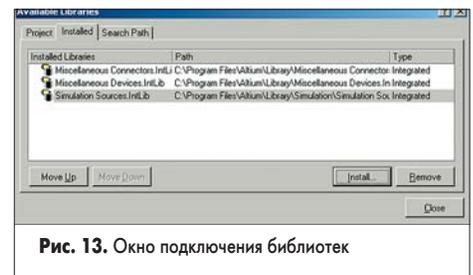


Рис. 13. Окно подключения библиотек

5. Нажмем кнопку Close, чтобы закрыть окно.
6. Выполним команду меню Place/Part.
7. В открывшемся окне Place Part нажмем кнопку, расположенную справа от текстового поля Lib Ref.
8. В открывшемся окне Browse Library в списке подключенных библиотек выберем строку Simulation Sources.IntLib.
9. В списке Component Name выберем компонент .IC (рис. 14).

Обратите внимание, что это та самая библиотека, в которой хранится используемый нами в схеме источник питания VSRC. Ис-

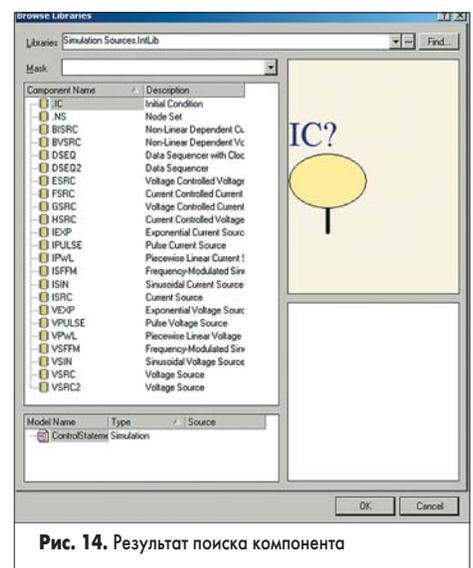
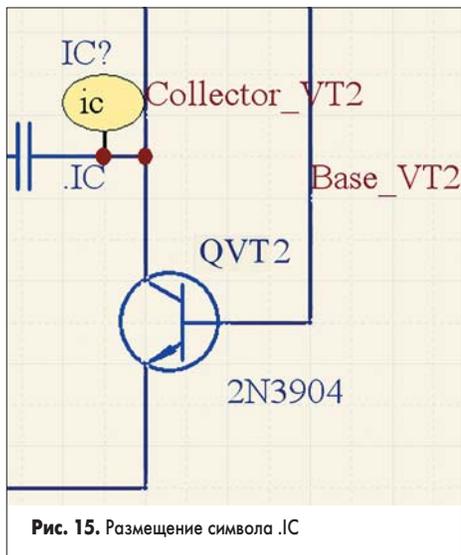


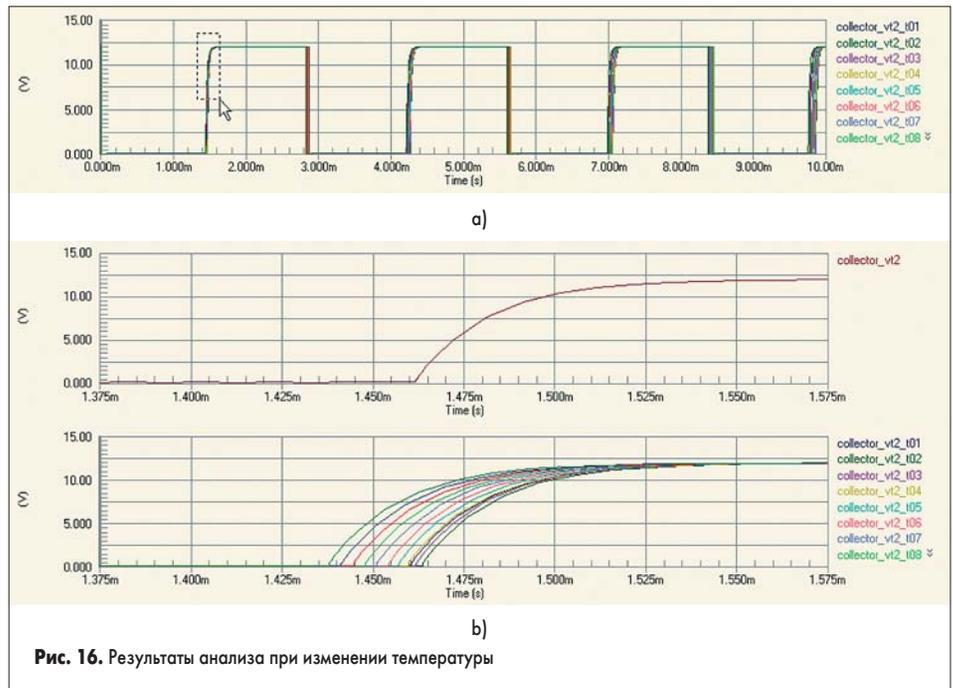
Рис. 14. Результат поиска компонента

пользование специальной панели инструментов избавило нас от необходимости искать и подключать данную библиотеку. Компонент вызывался из нее нажатием всего одной кнопки и приобретал заданные параметры благодаря специфическим настройкам ресурсов среды проектирования. Позднее мы рассмотрим и эти возможности системы Protel DXP.

10. Нажатием кнопки ОК закроем окно Browse Library.
11. В окне Place Part будет указан компонент .IC. Закроем это окно нажатием кнопки ОК. Редактор схем перейдет в режим размещения компонентов, и к указателю мыши будет «приклеен» символ задания начальных условий.
12. Переместим указатель мыши таким образом, чтобы единственный вывод символа .IC касался цепи коллектора транзистора QVT2, и щелкнем левой кнопкой мыши. Компонент окажется размещенным на схеме (рис. 15), а система предложит разместить следующий символ.



13. Нажатием правой кнопки мыши или клавиши Esc выйдем из режима размещения.
14. Нажатием кнопки Cancel закроем появившееся окно Place Part, предлагающее выбрать новый компонент.
15. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на символе .IC. Откроется знакомое нам окно Component Properties.
16. Прежде всего, в поле Designator введем позиционное обозначение IC1.
17. Выключим опцию Visible напротив поля Comment.



18. Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на имени модели для моделирования (тип Simulation) в списке Models for IC.

19. В открывшемся окне Sim Model — Initial Condition на вкладке Parameters включим опцию Component Parameter, введем в поле Initial Voltage значение 12 и нажатию кнопки ОК закроем окно. Параметр Initial Voltage появится в списке Parameters for IC.
20. Нажатием кнопки ОК закроем окно Component Properties.

Теперь нам остается лишь включить учет начальных условий при анализе переходных процессов.

21. Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim, чтобы открыть окно настройки моделирования Analyses Setup.
22. Щелкнем левой кнопкой мыши на строке Transient Analysis в списке Analyses/Options слева.
23. Включим «галочку» в строке Use Initial Condition (учитывать начальные условия) в списке в правой части окна нажмем кнопку ОК.
24. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9, запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения документа Multivibrator.sdf.

25. Вращением ролика мыши или с помощью линейки прокрутки добьемся, чтобы на экране отображалась временная диаграмма сигнала collector_vt2.

Теперь начальная фаза колебаний строго зафиксирована, а изменение температуры сейчас влияет на период колебаний, что хорошо заметно на четвертом импульсе в правой части графика.

26. С помощью мыши выделим участок графика, как показано на рис. 12, а.

Сдвиг переднего фронта импульса теперь монотонно зависит от изменения температуры и не противоречит здравому смыслу (рис. 16, b). В данной схеме присутствуют только два температурно-зависимых устройства — это транзисторы QVT1 и QVT2. Резисторы и конденсаторы описаны идеальными моделями, не зависящими от температуры.

Отметим, что в системе Protel DXP предусмотрен еще один служебный компонент .NS, позволяющий задавать начальное напряжение в узле схемы, которое будет учитываться при предварительном проходе расчета рабочих точек (Operating Point Analysis). Этот компонент также хранится в библиотеке Simulation Sources.IntLib.

Итак, на данном занятии основное внимание было уделено параметрическому анализу. На следующем уроке мы продолжим рассмотрение возможностей системы моделирования на новых примерах.

Protel DXP для начинающих

Урок 11

Два предыдущих занятия были посвящены моделированию схем с помощью системы Protel DXP. Продолжим рассмотрение ее возможностей.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Частотный анализ схемы в режиме малого сигнала

Одним из стандартных видов анализа по методу SPICE является анализ частотных характеристик схемы в режиме малого сигнала. Для его рассмотрения нам потребуется новая схема, которую мы построим из компонентов имеющихся у нас библиотек.

1. Выполним команду меню File/New/PCB Project. На панели Projects появится новый пустой проект PCB Project1.PrjPCB.
2. Наведем указатель мыши на имя проекта, щелкнем правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выберем команду Save Project. Откроется стандартное окно системы Windows, предлагающее указать имя сохраняемого файла. Для облегчения работы с файлами проекта их рекомендуется хранить в отдельной папке с соответствующим именем. Создадим такую папку.
3. В окне Save As укажем место на диске, где будет храниться наш новый проект. Пусть это будет папка Examples. Щелкнем правой кнопкой мыши в окне списка файлов и в появившемся контекстном меню выберем команду Создать/Папку. Появится новая папка, которую здесь же переименуем в Filter.
4. Откроем новую папку двойным щелчком левой кнопкой мыши на ее имени, в поле «Имя файла» окна Save As введем имя Filter.PrjPCB и нажмем кнопку «Сохранить».
5. Щелкнем правой кнопкой мыши на имени проекта и в появившемся контекстном меню выберем команду New/Schematic. В окне проекта откроется чистый лист схемы Sheet1.SchDoc с заданным по умолчанию шаблоном.
6. Нажатием кнопки Libraries в нижней части экрана откроем одноименную панель.
7. Включим опцию Components и в списке подключенных библиотек выберем имя интегрированной библиотеки Miscellaneous Devices.IntLib.
8. В поле фильтра введем маску поиска компонента ind, после чего в списке останутся только те компоненты, имена которых содержат этот текст.
9. Выберем компонент Inductor и нажмем кнопку Place Inductor. Редактор схемы перейдет в режим размещения элементов, а к указателю мыши ока-

жется «приклеенным» символ катушки индуктивности.

10. Нажмем клавишу Tab, откроется окно Component Properties, в котором в поле Designator укажем позиционное обозначение L1, в поле Value списка Parameters for введем значение индуктивности 15nH, выключим галочку Visible у поля Comment и нажмем кнопку ОК.
11. Сдвинем указатель мыши в центр листа схемы таким образом, чтобы слева и справа от размещаемой катушки могло поместиться несколько элементов, и щелкнем левой кнопкой мыши. На схеме появится символ катушки индуктивности, а редактор предложит разместить вторую катушку.
12. Нажмем клавишу Tab и в окне Component Properties в поле Value списка Parameters for введем значение индуктивности 33nH, после чего нажмем кнопку ОК. Размещаемая катушка автоматически получит позиционное обозначение L2.
13. Сдвинем указатель мыши немного вправо от катушки L1 и щелкнем левой кнопкой мыши. На схеме появится второй символ катушки индуктивности, а редактор предложит разместить катушку L3 с тем же номиналом.
13. Сдвинем указатель мыши немного вправо от катушки L2 и щелкнем левой кнопкой мыши. На схеме появится второй символ катушки индуктивности, а редактор предложит разместить катушку L4.
14. Нажмем клавишу Tab и в окне Component Properties в поле Value списка Parameters for введем значение индуктивности 15nH, после чего нажмем кнопку ОК.
15. Разместим последнюю катушку и выйдем из режима размещения нажатием клавиши Esc или щелчком правой кнопки мыши.
16. Вернемся на панель Libraries и в поле фильтра введем маску поиска компонента «cap».
17. Выберем компонент Cap и нажмем кнопку Place Cap. Редактор схемы перейдет в режим размещения элементов, а к указателю мыши окажется «приклеенным» символ конденсатора.
18. Нажмем клавишу Tab, откроется окно Component Properties, в котором в поле Designator укажем по-

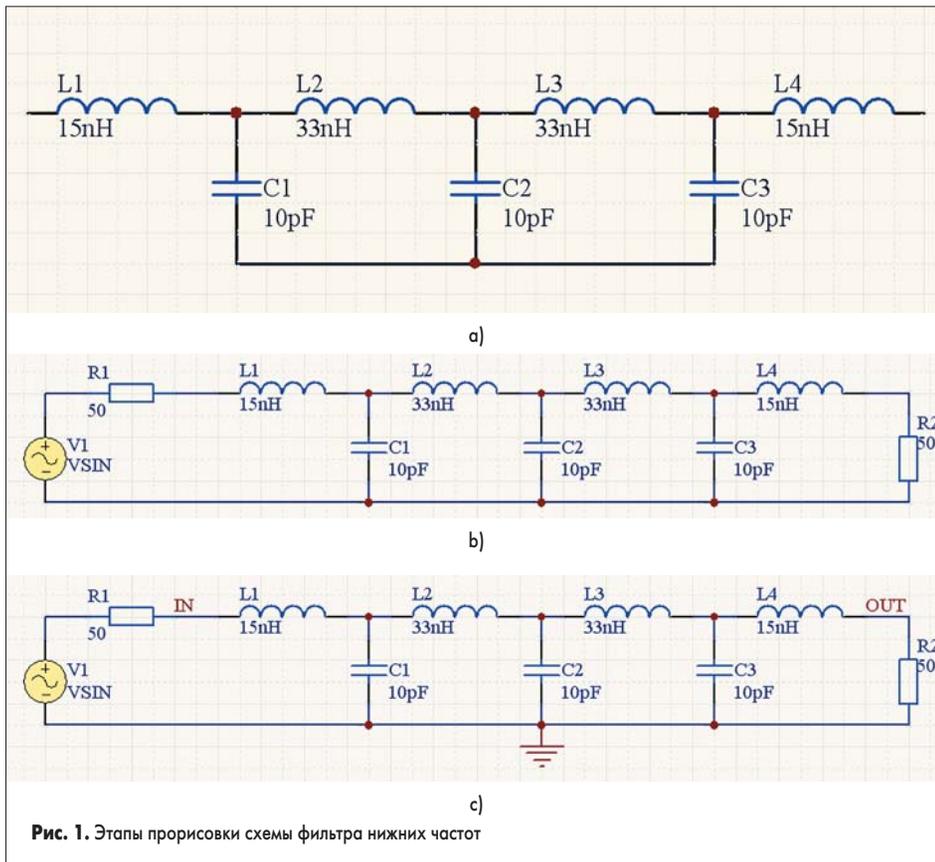


Рис. 1. Этапы прорисовки схемы фильтра нижних частот

- зиционное обозначение C1, в поле Value списка Parameters for введем значение емкости 10pF, выключим галочку Visible у поля Comment и нажмем кнопку ОК.
- Нажмем клавишу «Пробел», чтобы изменить ориентацию символа на вертикальную (нижний вывод будет соединен с «землей»), и разместим символ конденсатора C1 между катушками L1 и L2.
 - Аналогичным образом разместим конденсаторы C2 и C3 между катушками L2, L3 и L3, L4 соответственно. Клавишу Tab при этом нажимать не надо, так как номинал конденсаторов менять не надо. У всех конденсаторов емкость должна быть равна 10pF. Позиционное обозначение будет присваиваться автоматически.
 - Выйдем из режима размещения нажатием клавиши Esc или щелчком правой кнопки мыши.
 - Выполним команду меню Place/Wire (горячие клавиши P, W) и прорисуем связи между компонентами, как показано на рис. 1, а. Собственно схема фильтра готова, но для правильного моделирования ее частотных характеристик необходимо добавить еще несколько элементов: входную и выходную нагрузки, источник сигнала и метки цепей. В качестве нагрузки будем использовать обычные резисторы номиналом 50 Ом. Можно взять резисторы Res1, сохраненные в библиотеке Miscellaneous Devices.IntLib, но их начертание отличается от принятого в России, поэтому мы воспользуемся исправленными символами резисторов, которые мы нарисовали при создании схемы мультивибратора и сохранили в проекте на одном из первых занятий.
 - Нажмем кнопку Libraries в верхней части панели Libraries. Откроется окно Available

- Libraries со списком подключенных в настоящий момент библиотек (рис. 2).
- Нажмем кнопку Install, в появившемся окне Открыть укажем файл Multivibrator.SCHLIB, сохраненный нами ранее в папке проекта Multivibrator, и закроем окно. В списке Installed Libraries окна Available Libraries добавится новая библиотека.
 - Нажмем кнопку Close и закроем это окно.
 - Вернемся на панель Libraries и в выпадающем списке укажем имя библиотеки Multivibrator.SCHLIB. В списке компонентов библиотеки появятся четыре исправленных нами элемента.
 - Выберем компонент Res1 и нажмем кнопку Place Res1. Редактор схемы перейдет в режим размещения элементов, а к указателю мыши окажется «приклеенным» символ резистора.
 - Нажмем клавишу Tab, откроется окно Component Properties, в котором в поле Designator укажем позиционное обозначение R1, в поле Value списка Parameters for введем значение сопротивления 50, выключим галочку Visible у поля Comment и нажмем кнопку ОК.
 - Разместим символ резистора R1 в горизонтальной ориентации немного левее катушки L1 и щелкнем левой кнопкой мыши. Редактор предложит разместить резистор R2.
 - Нажмем клавишу «Пробел», чтобы изменить ориентацию символа на вертикальную (нижний вывод будет соединен с «землей»), и разместим резистор R2 правее катушки L4, после чего выйдем из режима размещения нажатием клавиши Esc или щелчком правой кнопки мыши.
 - Вернемся на панель Libraries и в выпадающем списке укажем имя библиотеки

- Simulation Sources.IntLib. В списке компонентов библиотеки появятся четыре исправленных нами элемента.
- Выберем компонент VSIN и нажмем кнопку Place VSIN. Редактор схемы перейдет в режим размещения элементов, а к указателю мыши окажется «приклеенным» символ источника синусоидального напряжения.
 - Нажмем клавишу Tab и в окне Component Properties в поле Designator укажем позиционное обозначение V1.
 - Выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на модели источника VSIN в списке Models for.
 - Откроется окно Sim Model — Voltage Source/Sinusoidal, в котором на вкладке Parameters изменим значение в поле Amplitude на 0. Частоту колебаний обнулять необязательно. В данный момент для нас важно значение 1 в поле AC Amplitude, задающее напряжение 1 В для анализа в режиме малого сигнала. Нажатием кнопки ОК сохраним сделанные изменения.
 - Закроем окно Component Properties.
 - Разместим источник напряжения V1 в вертикальной ориентации немного левее резистора R1 и выйдем из режима размещения нажатием клавиши Esc или щелчком правой кнопки мыши.
 - Выполним команду меню Place/Wire (горячие клавиши P, W) и прорисуем связи между компонентами, как показано на рис. 1, b.
 - Теперь нам остается только добавить на схему метки цепей.
 - Выполним команду меню Place/Power Port (горячие клавиши P, O). Редактор предложит разместить порт питания.
 - Нажмем клавишу Tab и в окне Power Port зададим стиль порта (Style) Power Ground. Здесь же в поле Net введем имя цепи GND и закроем окно.
 - Разместим символ заземления, как показано на рис. 1, с.
 - Выполним команду меню Place/Net Label (горячие клавиши P, N). Редактор предложит разместить метку цепи.
 - Нажмем клавишу Tab, в окне Net Label зададим имя IN и закроем окно.
 - Разместим метку цепи IN на связи между резистором R1 и катушкой L1 (рис. 1, c).
 - Аналогичным образом создадим метку OUT и разместим ее между катушкой L4 и резистором R2 (рис. 1, c).
 - Выполним команду меню File/Save As (горячие клавиши F, A) и сохраним схему под именем Filter.SchDoc. Наша схема полностью готова к моделированию. Выполним настройку анализа частотных характеристик.
 - Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation, откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.
 - В списке Analysis/Option включим «галочку» в строке AC Small Signal Analysis. Все остальные виды анализа должны быть выключены.
 - В списке справа зададим параметры этого вида анализа (рис. 2): в поле Start Frequency

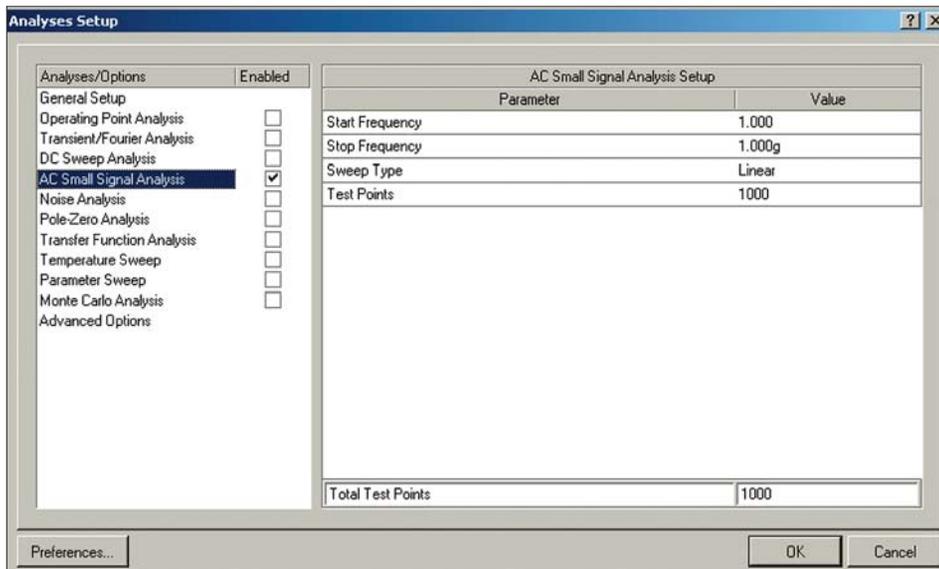


Рис. 2. Настройка анализа частотных характеристик

введем значение 1 (это будет соответствовать 1 Гц, так как число 0 здесь не допускается); в поле Stop Frequency введем значение 1g (это будет соответствовать 1 ГГц); параметр Sweep Type оставим Linear; в поле Test Points введем число точек анализа 1000.

- В списке Analysis/Option щелкнем левой кнопкой мыши на строке General Setup. Справа появятся основные настройки программы моделирования.
- В выпадающем списке Collect Data For зададим необходимый нам набор данных Node Voltage, Supply Current, Device Current and Power (напряжения в узлах, ток питания, протекающие через элементы токи и рассеиваемая ими мощность).
- В выпадающем списке Sheets to Netlist выбрана опция Active project, предписывающая генерировать список соединений для всего проекта.
- В выпадающем списке SimView Setup выберем опцию Show Active Signals, предписывающую модулю отображения результатов анализа показывать их по мере выполнения расчета.
- Выделим в списке Available Signals сигналы OUT и V1[z] для чего, удерживая нажатой клавишу CTRL, последовательно щелкнем на них левой кнопкой мыши, после чего нажмем расположенную между списками кнопку >. Выделенные сигналы будут перенесены в правый список Active Signals.
- Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения документа Filter.sdf с единственной вкладкой AC Analysis, на которой появятся два графика (рис. 3).

Рассмотрим полученные результаты. На графике (рис. 3) показана зависимость напряжения в узле OUT от частоты. Она очень напоминает амплитудно-частотную характеристику фильтра нижних частот, но имеет размерность напряжения. Область минимальных потерь (приблизительно до 500 МГц) имеет значения 500 мВ, что связано с наличием резистивного делителя из двух резисторов номина-

лом 50 Ом (входного R1 и выходного R2), подключенного к источнику сигнала 1 В на низких частотах. Наличие этих резисторов в схемах высокочастотных устройств обязательно, поэтому, чтобы компенсировать влияние делителя, следует наблюдать удвоенный сигнал.

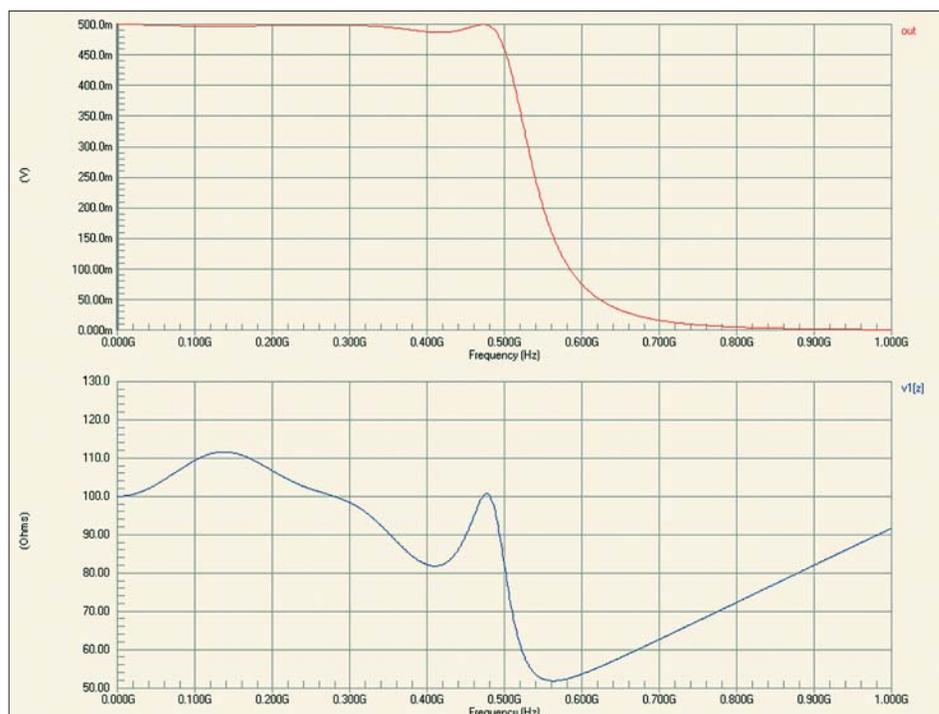


Рис. 3. Первичные результаты анализа частотных характеристик

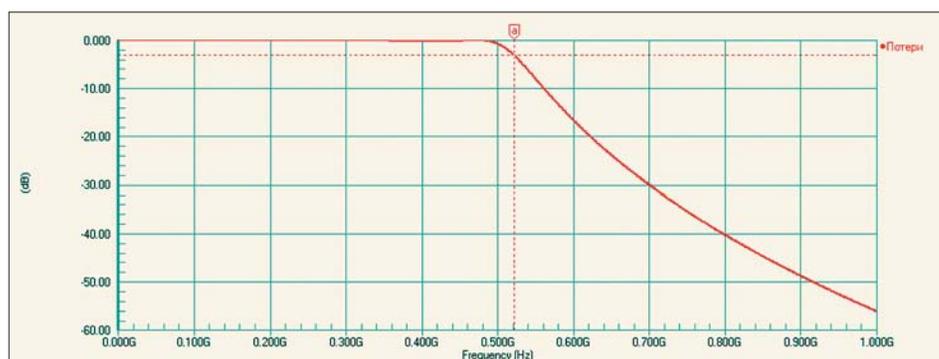


Рис. 4. АЧХ фильтра нижних частот в децибелах

- Щелкнем правой кнопкой мыши на имени сигнала OUT и в появившемся контекстном меню выберем команду Edit Wave.
- В окне Edit Waveform в поле Complex Functions включим опцию отображения амплитуды сигнала в децибелах Magnitude (dB), в текстовое поле Expression введем «2*out», в поле Name введем «Потери» и нажмем кнопку Create. Вид графика АЧХ-фильтра изменится (рис. 4).

Измерим полосу пропускания фильтра по уровню -3 дБ.

- Щелкнем правой кнопкой мыши на имени сигнала «Потери» и в появившемся контекстном меню выберем команду Cursor A. На графике появится маркер A.
- С помощью мыши захватим маркер и начнем перемещать его вправо, одновременно контролируя значение маркера по оси Y в поле Measurement Cursors на панели Sim Data. Как только значение маркера станет равным -3, отпустим левую кнопку мыши. Значение маркера по оси X будет соответствовать полосе пропускания 521,53 МГц.

Отметим, что маркер не интерполирует характеристику, а лишь перебирает рассчитанные точки и поэтому не может точно по-

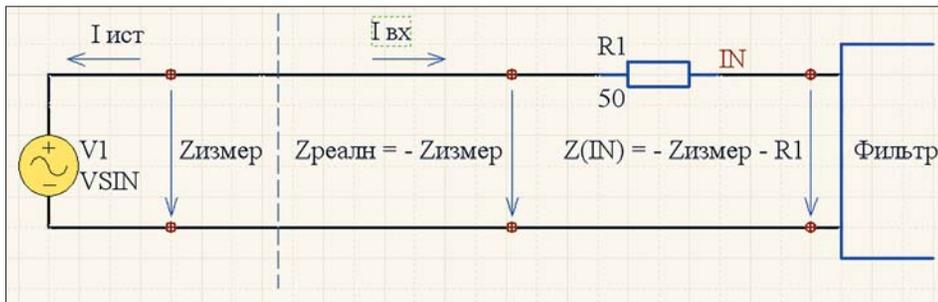


Рис. 5. Пересчет входного импеданса фильтра

пасть в значение -3 дБ (например, в нашем случае ближайшая точка имела значение $-3,0964$), но в большинстве случаев этой точности вполне достаточно.

В случае анализа полосовых фильтров для оценки полосы пропускания следует использовать два маркера, разность между частотами которых будет также отображаться на панели Sim Data.

Вернемся ко второму графику, на котором изображена частотная зависимость модуля импеданса схемы со стороны подключенного источника сигнала. Для нас сама по себе эта характеристика не интересна, но она позволит получить нам частотную зависимость коэффициента отражения на входе фильтра в узле IN.

Прежде всего следует отметить, что импеданс представляет собой комплексную величину, рассчитанную для цепи источника, имеющую действительную и мнимую составляющие. Кроме того, как мы уже говорили ранее, ток в схему через источник течет снизу вверх по схеме (Iвх на рис. 5), в то время как программа SPICE выдает данные для направления тока от вывода «+» к выводу «-» внутри элемента (Iист на рис. 5). Значит истинное значение импеданса Zреалн будет представлять обратное по знаку значение от Zизмер.

Далее, для расчета коэффициента отражения в узле IN нас интересует импеданс именно в этой точке, а не в точке включения источника. Легко видеть, для того чтобы получить значение импеданса Z(IN), необходимо вычесть из Zреалн значение сопротивления R1 (рис. 5).

Отформатируем второй график таким образом, чтобы на нем отображалась именно частотная зависимость коэффициента отражения в узле IN, который рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{Z(IN) - Z_0}{Z(IN) + Z_0} \quad (1)$$

где Z_0 — характеристическое сопротивление линии, в нашем случае равное R1 (50 Ом).

В нашем случае эта формула преобразуется в вид:

$$K = \frac{(-Z_{измер} - R1) - R1}{(-Z_{измер} - R1) + R1} = \frac{(-v1[z] - 50) - 50}{(-v1[z] - 50) + 50} = \frac{-v1[z] - 2 * 50}{-v1[z]} \quad (2)$$

14. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала v1[z] и в появившемся контекстном меню выберем команду Edit Wave.

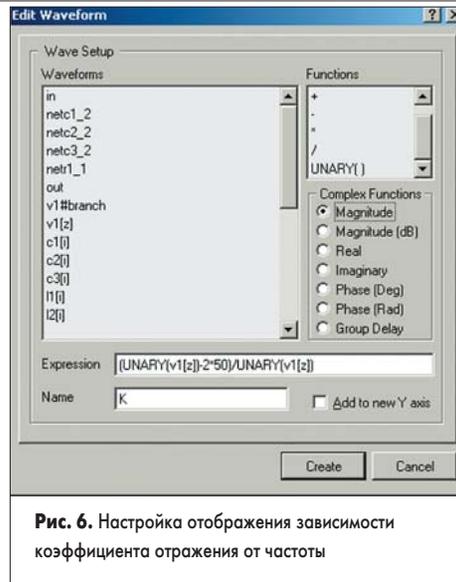


Рис. 6. Настройка отображения зависимости коэффициента отражения от частоты

15. В окне Edit Waveform (рис. 6) в поле Complex Functions включим опцию отображения амплитуды сигнала Magnitude, в поле Name введем «K», текстовое поле Expression введем «(UNARY(v1[z])-2*50)/UNARY(v1[z])» и нажмем кнопку Create. Вид графика изменится (рис. 7).

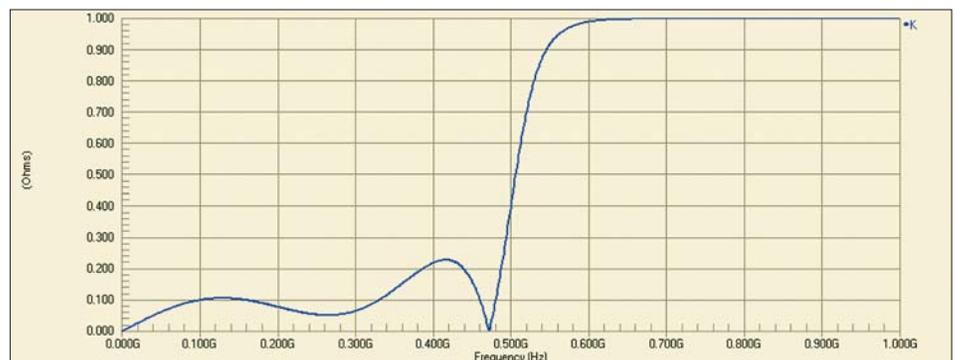


Рис. 7. Зависимость коэффициента отражения по входу фильтра от частоты

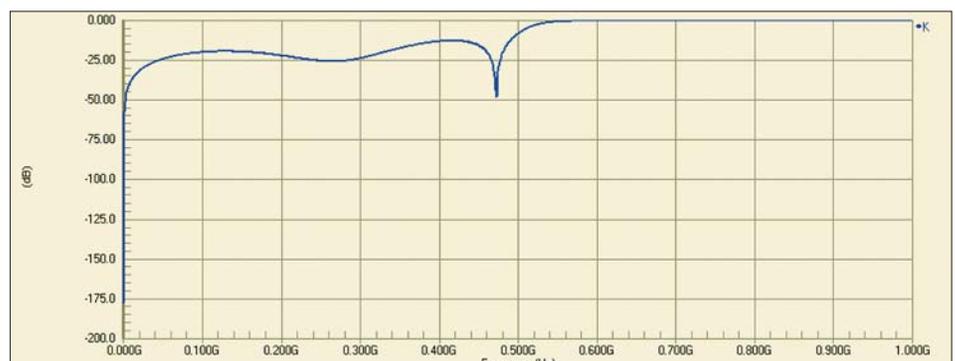


Рис. 8. Зависимость возвратных потерь фильтра от частоты

К сожалению, система Protel DXP в настоящий момент не позволяет использовать в формулах расчета характеристик номиналы элементов или глобальные переменные, поэтому в приведенной выше формуле рекомендуется оставить именно $2 * 50$, а не 100. В случае изменения номинала резистора R1, например, на 75 Ом, аналогичное изменение необходимо будет сделать в формуле расчета коэффициента отражения.

Другое неудобство программы моделирования состоит в том, что она не допускает применения к результатам частотного анализа различных математических функций, как в случае с временными характеристиками. Это делает невозможным расчет привычной российским инженерам характеристики КСВ, которая считается по формуле:

$$K = \frac{1 + |K|}{1 - |K|} \quad (3)$$

Вместо КСВ мы рекомендуем использовать другую характеристику, наиболее распространенную на Западе и ничуть не хуже описывающую согласованность цепей — возвратные потери (Return Loss), представляющую собой не что иное, как величину модуля коэффициента отражения в децибелах, рассчитываемую по формуле:

$$K(\text{дБ}) = 20 \cdot \lg(K) \quad (4)$$

16. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на имени сигнала K и в появившемся контекстном меню выберем команду Edit Wave.
17. В окне Edit Waveform (рис. 6) в поле Complex Functions включим опцию отображения амплитуды сигнала в децибелах Magnitude (dB) и нажмем кнопку Create. Вид характеристики изменится (рис. 8).

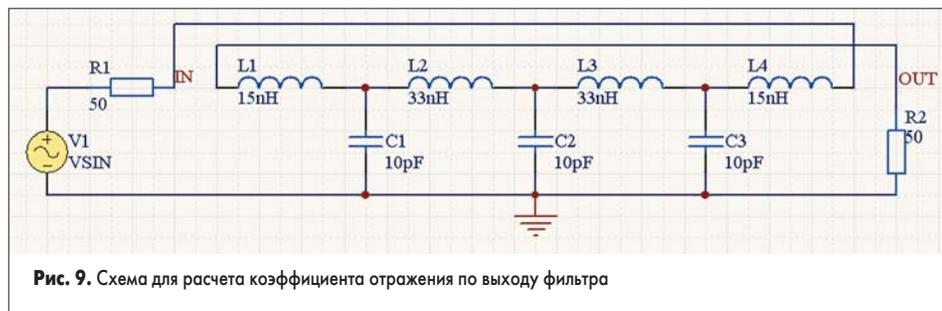


Рис. 9. Схема для расчета коэффициента отражения по выходу фильтра

Пользоваться этой характеристикой очень легко. Чем хуже согласование фильтра (коэффициент отражения стремится к 1), тем выше КСВ. В большинстве случаев при анализе фильтров КСВ в полосе пропускания, как правило, значение не должно превышать 2. Это значение КСВ соответствует значению возвратных потерь приблизительно -10 дБ, а значит, если рассчитанные возвратные потери больше (по модулю, то есть -11, -15, -20 и т. д.) этого значения, то КСВ будет всегда меньше 2.

На практике, если требуется обеспечить КСВ лучше 2, то полезно воспользоваться таблицей пересчета возвратных потерь в КСВ (см. таблицу), которую очень легко запомнить.

Таблица

К, дБ	КСВ
-5.00	3.57
-10.00	1.92
-14.00	1.50
-15.00	1.43
-17.00	1.33
-21.00	1.20
-27.00	1.09
-30.00	1.07

Если все же требуется получить полную характеристику КСВ фильтра, то ее можно рассчитать в электронных таблицах Microsoft Excel, куда можно загрузить зависимость модуля коэффициента отражения от частоты, сохраненную в файл в формате CSV. Мы рекомендуем проделать это самостоятельно в качестве упражнения.

Для расчета коэффициента отражения по выходу фильтра следует перерисовать схему, как показано на рис. 9. Это позволит выполнить моделирование с минимальными изменениями в настройках модуля просмотра результатов расчета. Следует помнить, что опция SimView Setup в окне Analyses Setup при этом должна быть установлена как Keep Last Setup (сохранить последние установки). Так как схема нашего фильтра абсолютно симметрична (включая нагрузки), то входные и выходные характеристики не должны отличаться.

Статистический анализ методом Монте-Карло

При проектировании электронных устройств не следует забывать, что мы живем в реальном мире, а используемые нами компоненты имеют некоторый разброс параметров, четко оговоренный в технической документации. Например, номиналы резисторов или конденсаторов из так называемого

10-процентного ряда могут отклоняться в диапазоне $\pm 5\%$ от номинального значения. Разумно предположить, что такие вариации не лучшим образом отразятся на работе схемы, а значит необходимо иметь инструмент, позволяющий оценить их последствия. Система Protel DXP использует для этих целей стандартную методику, называемую методом Монте-Карло.

Вернемся к схеме, изображенной на рис. 1, с. 1. Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation и откроем окно настройки моделирования Analyses Setup.

2. В списке Analysis/Option включим «галочку» в строке Monte Carlo Analysis.

В списке справа задаются параметры этого вида анализа (рис. 10): допуски по умолчанию для компонентов различных типов, число запусков, вид распределения Distribution (Uniform — равномерное, Gaussian — Гауссовское, Worst Case — худший случай), начальное значение генератора случайных чисел (Seed).

Самый последний параметр Specific Tolerances служит для задания специальных видов распределения для отдельных компонентов и групп. Выполним небольшое упражнение.

3. Щелкнем левой кнопкой мыши на ячейке со значением параметра Specific Tolerances, где по умолчанию присутствует текст «0 defined».

4. В правой части ячейки появится небольшая кнопка, которую мы и нажмем.

5. Откроется пустое окно Monte Carlo — Specific Tolerances, в котором нажмем кнопку Add. В окне появится строка табли-

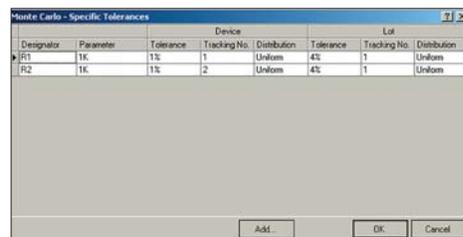


Рис. 11. Задание специальных видов распределения отдельных компонентов

цы, в которой следует задать значения для резистора R1 (рис. 11).

6. Еще раз нажмем кнопку Add и зададим значения для резистора R2.

Что означают заданные значения? Мы имеем два резистора R1 и R2 с номиналом 1к. Для каждого из резисторов заданы два вида допусков: индивидуальные (Device) и групповые (Lot). Индивидуальные допуски имеют значения 1% при равномерном распределении случайных величин (Uniform). Разные трековые номера (Tracking No.) в столбце Device имеют разные значения (1 и 2), что говорит об отсутствии корреляции между значениями номиналов резисторов для индивидуального допуска. В столбце Lot у обоих резисторов одинаковый трековый номер 1, что означает, что резисторы входят в одну группу, допуск для которой задан 4% (при том же равномерном распределении случайных величин).

При каждом запуске процесса моделирования методом Монте-Карло резисторам сначала назначается одинаковое отклонение от номинального значения в диапазоне $\pm 4\%$, а затем от полученного значения каждому резистору назначается индивидуальный допуск в диапазоне $\pm 1\%$. В итоге суммарный допуск будет равен 5% (1% + 4%).

Все это кажется излишне запутанным, но описывает типовую ситуацию использования резистивных сборок, когда номиналы резисторов внутри одной сборки отличаются максимум на 2% друг от друга, а наиболее вероятные значения номиналов между сборками могут отличаться друг от друга на 8%. В итоге номиналы отдельных резисторов

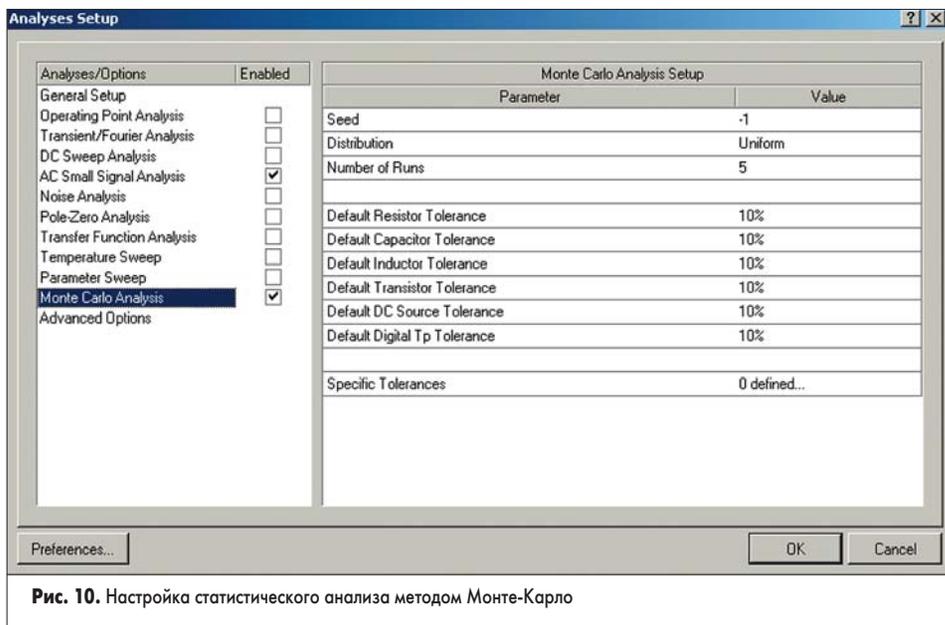


Рис. 10. Настройка статистического анализа методом Монте-Карло

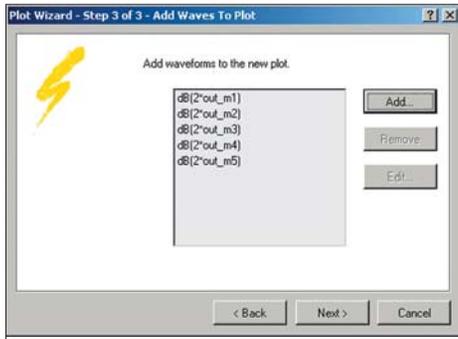
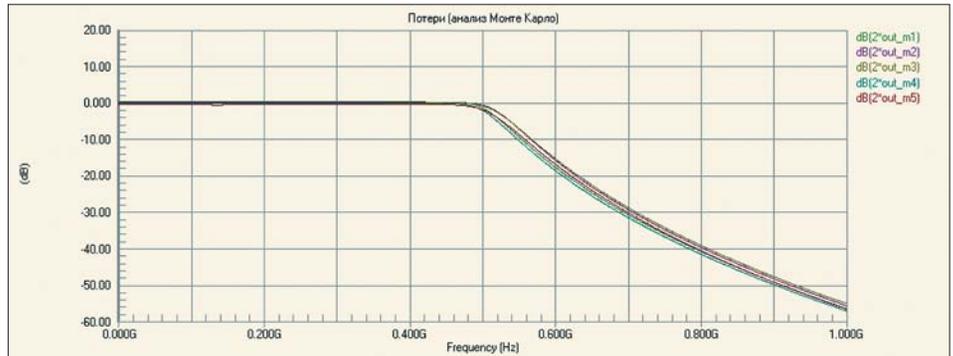


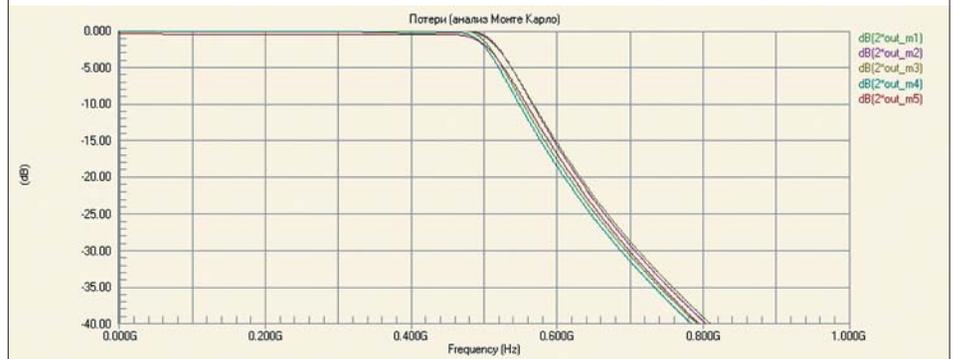
Рис. 12. Создание графика для отображения результатов расчета методом Монте-Карло

разных сборок могут отличаться максимум на 10% друг от друга.

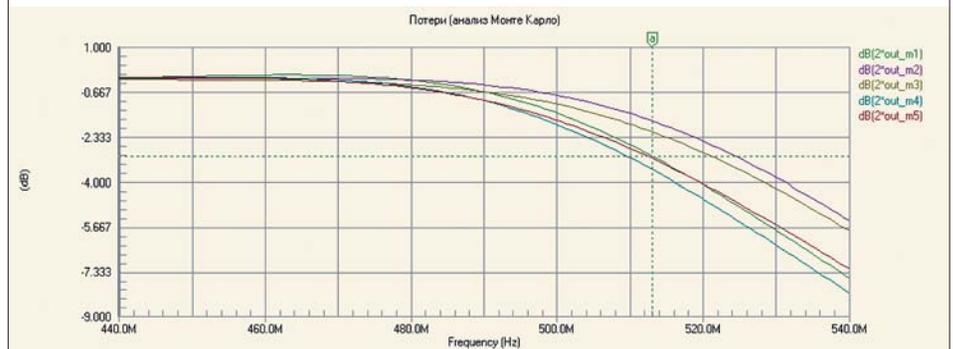
7. В нашем примере все компоненты являются дискретными, а резисторы вообще представляют собой идеальный эквивалент характеристического сопротивления линии. Все значения номиналов являются некоррелированными, то есть независимыми друг от друга. Поэтому откажемся от сделанных настроек и закроем окно Monte Carlo — Specific Tolerances, для чего нажмем кнопку Cancel.
8. Так как резисторы идеальные, зададим для них допуск Default Resistor Tolerance равным 0%. Для всех остальных элементов допуски оставим равными 10%.
9. Тип распределения (Distribution) зададим как Uniform (равномерное). Число запусков (Number of Runs) сделаем равным 5, а параметр Seed оставим равным -1.
10. В списке Analysis/Option щелкнем левой кнопкой мыши на строке General Setup и в списке справа для сохранения ранее сделанных настроек отображения результатов анализа опцию SimView Setup зададим как Keep Last Setup, после чего закроем окно нажатием кнопки ОК.
11. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim (горячая клавиша F9) запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения документа Filter.sdf с единственной вкладкой AC Analysis. Вид графиков на ней не изменится, хотя строка состояния будет показывать ход многократных запусков моделирования схемы. Чтобы посмотреть результаты статистического анализа, создадим новый график.
12. Выполним щелчок правой кнопкой мыши в любом месте документа Filter.sdf и в появившемся контекстном меню выберем команду Add Plot.
13. Запустится мастер создания графиков, который на первом шаге предложит задать его имя. В текстовое поле введем «Потери (анализ Монте-Карло)» и нажмем кнопку Next.
14. На следующем шаге настройки осей менять не будем, поэтому просто нажмем кнопку Next.
15. На третьем шаге мастер предложит указать сигналы, которые будут отображаться на графике. Нажмем кнопку Add и в окне Add Wave to Plot в поле



a)



b)



c)

Рис. 13. Результаты анализа методом Монте-Карло

Expression введем текст 2*out_m1. В поле Complex Functions включим опцию Magnitude (dB) и нажмем кнопку Create.

16. Аналогичным образом добавим на данный график отображение удвоенной амплитуды сигналов out_m2, out_m3, out_m4 и out_m5 (рис. 12) и нажмем кнопку Next. Легко догадаться, что сигналы с суффиксом m1... m5 есть не что иное, как сигналы, рассчитанные в ходе соответствующего запуска моделирования схемы методом Монте-Карло.

17. Нажатием кнопки Finish в последнем окне завершим работу мастера Plot Wizard. На вкладке AC Analysis появится новый график с пятью кривыми (рис. 13, a). Масштаб по оси Y выбран автоматически и не позволяет ясно наблюдать разницу между полученными кривыми, поэтому изменим его.

18. Выполним щелчок правой кнопкой мыши на оси Y и в появившемся контекстном меню выберем команду Format Axis. Появится окно Y Axis Settings (рис. 14).

19. В поле Scale выключим автоматическое определение масштаба, для чего уберем «галочки» Auto напротив текстовых полей Minimum и Maximum.

20. В поле Minimum введем значение -40, а в поле Maximum — 0, после чего закроем окно нажатием кнопки ОК. Вид графика изменится (рис. 13, b).

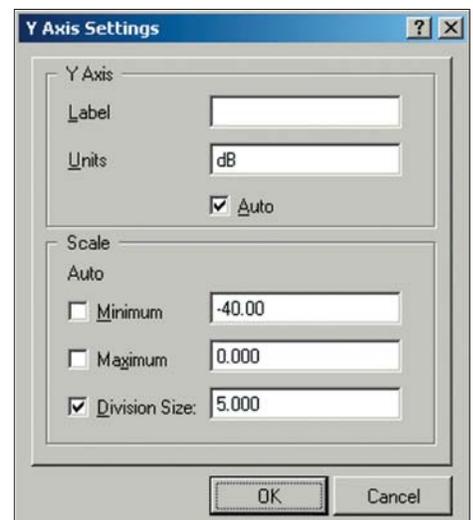


Рис. 14. Настройка формата оси Y

21. С помощью мыши в окне охвата выделим некоторую область вокруг точки изгиба кривой. Масштаб изображения снова изменится (рис. 13, с). Обратите внимание, что теперь, когда автоматическое масштабирование выключено, выбор окном охвата изменяет масштаб не только по оси X, но и Y.

Теперь на график можно добавить маркеры и измерить полосу пропускания по уровню -3 дБ для разных случайных реализаций. Точные значения параметров компонентов каждой реализации записываются в уже знакомый нам файл Filter.swd, расположенный в папке Project Outputs for Filter. Этот файл будет содержать блоки данных с указанием имени элемента, заданного для него допуска, вида распределения, номинального и случайного значения параметров:

```
*AC Monte Carlo run 1 of 5 (m1)
v1 dev=10% uniform : 0    -> 0
r2 dev=0% uniform  : 50   -> 50
r1 dev=0% uniform  : 50   -> 50
l4 dev=10% uniform : 15n  -> 16.2n
l3 dev=10% uniform : 33n  -> 32.2n
l2 dev=10% uniform : 33n  -> 34n
l1 dev=10% uniform : 15n  -> 13.7n
c3 dev=10% uniform : 10p  -> 10.4p
c2 dev=10% uniform : 10p  -> 10.3p
c1 dev=10% uniform : 10p  -> 9.76p
```

```
*AC Monte Carlo run 2 of 5 (m2)
v1 dev=10% uniform : 0    -> 0
r2 dev=0% uniform  : 50   -> 50
r1 dev=0% uniform  : 50   -> 50
l4 dev=10% uniform : 15n  -> 15.4n
l3 dev=10% uniform : 33n  -> 31.2n
l2 dev=10% uniform : 33n  -> 31.4n
l1 dev=10% uniform : 15n  -> 15.7n
c3 dev=10% uniform : 10p  -> 10.5p
c2 dev=10% uniform : 10p  -> 10.8p
c1 dev=10% uniform : 10p  -> 9.14p
```

```
*AC Monte Carlo run 3 of 5 (m3)
v1 dev=10% uniform : 0    -> 0
r2 dev=0% uniform  : 50   -> 50
r1 dev=0% uniform  : 50   -> 50
```

```
l4 dev=10% uniform : 15n  -> 15n
l3 dev=10% uniform : 33n  -> 32n
l2 dev=10% uniform : 33n  -> 31.3n
l1 dev=10% uniform : 15n  -> 14.9n
c3 dev=10% uniform : 10p  -> 10.6p
c2 dev=10% uniform : 10p  -> 10.6p
c1 dev=10% uniform : 10p  -> 9.06p
```

```
*AC Monte Carlo run 4 of 5 (m4)
v1 dev=10% uniform : 0    -> 0
r2 dev=0% uniform  : 50   -> 50
r1 dev=0% uniform  : 50   -> 50
l4 dev=10% uniform : 15n  -> 13.6n
l3 dev=10% uniform : 33n  -> 32.2n
l2 dev=10% uniform : 33n  -> 32.8n
l1 dev=10% uniform : 15n  -> 16.3n
c3 dev=10% uniform : 10p  -> 10.8p
c2 dev=10% uniform : 10p  -> 10.8p
c1 dev=10% uniform : 10p  -> 9.63p
```

```
*AC Monte Carlo run 5 of 5 (m5)
v1 dev=10% uniform : 0    -> 0
r2 dev=0% uniform  : 50   -> 50
r1 dev=0% uniform  : 50   -> 50
l4 dev=10% uniform : 15n  -> 14.3n
l3 dev=10% uniform : 33n  -> 36.2n
l2 dev=10% uniform : 33n  -> 31.5n
l1 dev=10% uniform : 15n  -> 15.3n
c3 dev=10% uniform : 10p  -> 9.33p
c2 dev=10% uniform : 10p  -> 10.4p
c1 dev=10% uniform : 10p  -> 9.87p
```

Разумно предположить, что наиболее неблагоприятный для схемы вариант будет получен, когда значения параметров будут иметь максимальное отклонение от номинала, то есть примут крайние значения границ диапазонов. Такой вид анализа называется анализом худшего случая. Проведем его.

22. Вернемся в редактор схем и нажатием кнопки Setup Mixed-Signal Simulation вызовем окно Analyses Setup.

23. В списке Analysis/Option щелчком левой кнопкой мыши на строке Monte Carlo Analysis.

24. В списке справа параметр Distribution (вид распределения) зададим как Worst Case (худший случай) и нажатием кнопки ОК закроем окно.

25. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim (горячая клавиша F9) запустим процесс моделирования.

Если опция SimView Setup была задана как Keep Last Setup, то масштабирование графиков не изменится, но все зависимости будут намного сильнее отличаться от кривой, полученной при номинальных значениях.

Как правило, анализ худшего случая правильно показывает наиболее неблагоприятный результат, но при резких параметрических зависимостях (например, резонансах) он может пропустить наиболее критическую комбинацию параметров. Поэтому в общем случае сначала рекомендуется выполнить статистический анализ при равномерном или Гауссовом распределении случайных значений параметров, а уже затем, когда будут ясны тенденции изменения искомым зависимостей, проводить анализ худшего случая.

Следует отметить, что система Protel DXP не имеет средств постобработки результатов статистического анализа. Здесь нет возможности построить гистограммы, показывающие вероятность статистического распределения, например, максимума частотной характеристики или полосы пропускания по уровню -3 дБ. Поэтому рекомендуется выполнить экспорт полученных зависимостей во внешний файл в формате Comma Separated Value (CSV) и продолжить их обработку с помощью специальных программ, таких, как Statistica.

Итак, на данном занятии мы рассмотрели малосигнальный частотный и статистический анализ. Следующий урок будет посвящен оставшимся четырем видам анализа: анализу схем при изменяющемся постоянном напряжении (DC Sweep Analysis), анализу шумов (Noise Analysis), анализу нулей и полюсов (Pole-Zero Analysis) и анализу передаточных функций (Transfer Function Analysis).

Protel DXP для начинающих

Урок 12

Три предыдущих занятия были посвящены моделированию схем с помощью системы Protel DXP. Сегодня мы завершаем рассмотрение ее возможностей.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Анализ схем при изменяющемся постоянном напряжении

Анализ схем при изменяющемся постоянном напряжении (DC Sweep Analysis) является одним из стандартных видов анализа по методу SPICE и позволяет получать зависимости интересующих нас сигналов не от времени, как при анализе переходных процессов, или от частоты, как при мало-сигнальном частотном анализе, а от напряжения. Для его рассмотрения нам потребуется новая схема, которую мы построим из компонентов имеющихся у нас библиотек. С помощью данной схемы мы получим семейство выходных характеристик транзистора 2N3904, ранее примененного в проекте мультивибратора.

1. Выполним команду меню File/New/PCB Project. На панели Projects появится новый пустой проект PCB Project1.PrjPCB.
2. Наведем указатель мыши на имя проекта, выполним щелчок правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выберем команду Save Project. Откроется стандартное окно системы Windows, предлагающее задать имя сохраняемого файла.
Для облегчения работы с файлами проекта их рекомендуется хранить в отдельной папке с соответствующим именем. Создадим такую папку.
3. В окне Save As укажем место на диске, где будет храниться наш новый проект. Пусть это будет папка Examples. Щелкнем правой кнопкой мыши в окне списка файлов и в появившемся контекстном меню выберем команду «Создать/Папку». Появится новая папка, которую здесь же переименуем в DC Sweep.
4. Откроем новую папку двойным щелчком левой кнопкой мыши на ее имени, в поле «Имя Файла» окна Save As введем имя DC Sweep.PrjPCB и нажмем кнопку «Сохранить».
5. Наведем указатель мыши на имя проекта, щелкнем правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выберем команду New/Schematic. В окне проекта откроется чистый лист схемы Sheet1.SchDoc с заданным по умолчанию шаблоном.

6. Откроем проект Multivibrator.PRJPCB, для чего щелкнем правой кнопкой мыши на панели Projects и в появившемся контекстном меню выберем команду Open Project.
7. Откроем документ Multivibrator Simulation.SchDoc двойным щелчком левой кнопкой мыши.
8. С помощью мыши в окне охвата выделим часть схемы мультивибратора, содержащую транзистор VT1, метки цепей GND, Base_VT1 и Collector_VT1 (рис. 1, a).
9. Отпустим левую кнопку мыши. Все указанные выше объекты, а также несколько сегментов прилегающих к ним цепей окажутся выделенными, о чем просигнализирует их зеленая подсветка.
10. Так как в новой схеме нам потребуется источник +12 В, добавим его к существующему набору выделенных объектов, для чего нажмем клавишу SHIFT и щелкнем на нем левой кнопкой мыши.
11. Аналогичным образом добавим к выделению сегменты цепи GND и Base_VT1 (рис. 1, b).
12. Выполним команду меню Edit/Copy (горячие клавиши CTRL+C). Редактор предложит выбрать точку захвата для группы копируемых объектов.
13. Наведем указатель мыши на излом цепи GND в левом нижнем углу схемы и щелкнем на нем левой кнопкой мыши. Выделенные объекты будут скопированы в буфер обмена системы Protel DXP. Следует помнить, что система Protel имеет свой собственный внутренний буфер обмена, предназначенный для копирования объектов в рамках редактора схем или плат. Его нельзя отождествлять с буфером обмена системы Windows, в чем легко убедиться, выполнив операцию вставки содержимого буфера обмена, например, в документ Microsoft Word. В этом случае набор объектов будет преобразован в метафайл, состоящий из элементарных графических объектов. Кроме того, помимо выделенных объектов в Word передадутся рамка листа и основная надпись. При копировании объектов внутри системы Protel их электрический смысл и связность будут сохранены.
14. Перейдем к документу Sheet1.SchDoc, для чего щелкнем левой кнопки мыши на соответствующей закладке в верхней части окна просмотра проекта.

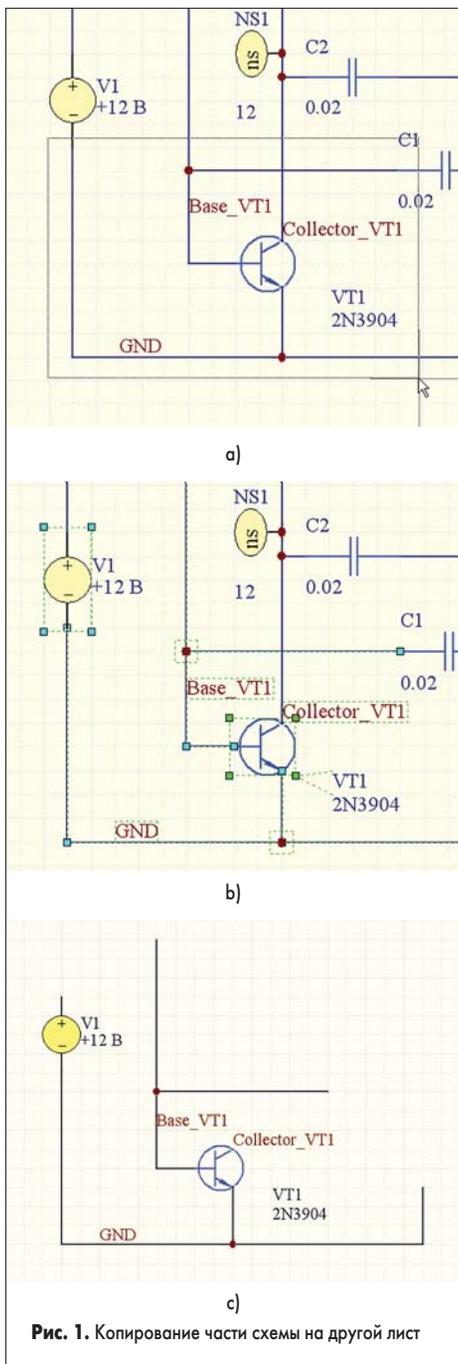


Рис. 1. Копирование части схемы на другой лист

15. Выполним команду меню Edit/Paste (горячие клавиши CTRL+V). К указателю мыши окажется «приклеенной» скопированная в буфер группа объектов.
16. Вращением ролика мыши при нажатых клавишах CTRL или SHIFT изменим масштаб обзора листа схемы, переместим указатель мыши в удобное для нас место и щелкнем левой кнопкой мыши. Редактор выполнит вставку нужного нам участка схемы мультивибратора (рис. 1, c).
17. Переместим источник V1 в нужное нам место, для чего наведем на него указатель мыши, нажмем ее левую кнопку и, удерживая ее нажатой, передвинем таким образом, чтобы нижний минусовой вывод источника коснулся конца цепи GND в правой части схемы.
18. Аналогичным образом захватим и переместим горизонтальный сегмент цепи Base_VT1 так, чтобы его левый конец соединился с коллектором транзистора. К только что образованной цепи автоматически присоединится метка Collector_VT1.

19. Повторим перемещение источника V1, но при нажатой клавише CTRL, и передвинем его так, чтобы верхний плюсовой вывод коснулся конца цепи Collector_VT1. Легко видеть, что цепи при этом будут тянуться за перемещаемым элементом. Удалим лишний вертикальный сегмент цепи GND в левой части схемы.
20. Щелкнем один раз левой кнопкой мыши на данном сегменте. Цепь подсветится зеленым цветом, а в ее характерных точках появятся специальные маркеры-манипуляторы.
21. Наведем указатель мыши на маркер, расположенный на свободном конце вертикального сегмента и нажмем левую кнопку мыши.
22. Не отпуская ее, нажмем клавишу Backspace. Указатель мыши сместится в точку излома цепи.
23. Отпустим левую кнопку мыши. Ненужный нам сегмент будет удален. Добавим на схему источник постоянного тока, который будет задавать ток базы транзистора.
24. Нажатием кнопки Libraries в нижней части экрана откроем одноименную панель.
25. Включим опцию Components и в списке подключенных библиотек выберем имя интегрированной библиотеки Simulation Sources.IntLib. Если эта библиотека в списке отсутствует, то найдем ее и подключим, как было описано на предыдущем уроке.
26. В поле фильтра введем маску поиска компонента «i», после чего в списке останутся только те компоненты, имена которых содержат эту букву.
27. Выберем компонент ISRC и нажмем кнопку Place ISRC. Редактор схемы перейдет в режим размещения элементов, а к указателю мыши окажется «приклеенным» символ источника тока.
28. Нажмем клавишу Tab, откроется окно Component Properties, в котором в поле Designator укажем позиционное обозначение I1 и выключим галочку Visible у поля Comment.
29. Дважды щелкнем левой кнопкой мыши на модели источника в списке Models for. Откроется окно Sim Model — Current Source/DC Source.
30. Перейдем на вкладку Parameters и в поле Value зададим значение 100uA, что будет соответствовать току 100 мкА. Проверим, что напротив этого параметра включена галочка Component Parameter и нажатием кнопки ОК закроем окно.
31. В списке Parameters for появится новый параметр Value. Проверим, что напротив него включена галочка в столбце Visible и нажатием кнопки ОК закроем окно.
32. Так как для транзистора p-n-p ток должен втекать в базу, то выполним поворот источника на 180°, для чего дважды последовательно нажмем клавишу Spacebar. В итоге стрелка на символе источника, показывающая направление тока через него, должна быть направлена вверх.
33. Сдвинем указатель мыши таким образом, чтобы нижний вывод источника коснулся конца цепи GND в левой части схемы,

и щелкнем левой кнопкой мыши. На схеме появится символ источника тока, а редактор предложит разместить следующий символ.

34. Выйдем из режима размещения клавишей Esc или щелчком правой кнопки мыши.
35. Щелкнем левой кнопкой мыши на цепи Base_VT1. Цепь подсветится зеленым цветом, а в ее характерных точках появятся специальные маркеры-манипуляторы.
36. С помощью мыши захватим верхний маркер, удерживая нажатой левую кнопку мыши переместим его на верхний вывод источника тока и отпустим кнопку.
37. Последнее, что нам остается, это переместить метку цепи Base_VT1 таким образом, чтобы она касалась базовой цепи транзистора.



Рис. 2. Схема для расчета выходных характеристик биполярного транзистора

Теперь наша схема (рис. 2) полностью готова к моделированию.

38. Выполним команду меню File/Save As (горячие клавиши F, A) и сохраним схему под именем Transistor.SchDoc. Выполним настройку анализа схемы при изменяющемся постоянном напряжении.
1. Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation — откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.
2. В списке Analysis/Option включим «галочку» в строке DC Sweep Analysis. Все остальные виды анализа должны быть выключены.

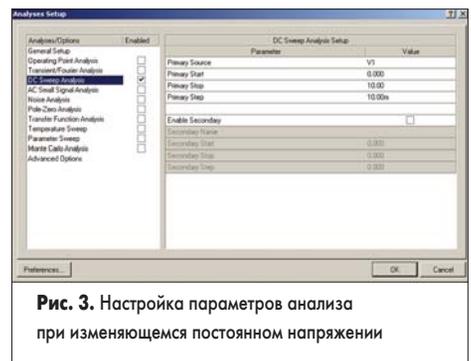


Рис. 3. Настройка параметров анализа при изменяющемся постоянном напряжении

3. В списке справа зададим параметры этого вида анализа (рис. 3): в поле Primary Source выберем источник напряжения V1, зададим значение Primary Start равное 0, Primary Stop равное 10, шаг Primary Step равным 10m и закроем окно кнопкой ОК.
4. В списке Analysis/Option щелкнем левой кнопкой мыши на строке General Setup. Справа появятся основные настройки программы моделирования.
5. В выпадающем списке Collect Data For зададим необходимый нам набор данных Node Voltage, Supply Current, Device Current and Power (напряжения в узлах, ток питания, протекающие через элементы токи и рассеиваемая ими мощность).

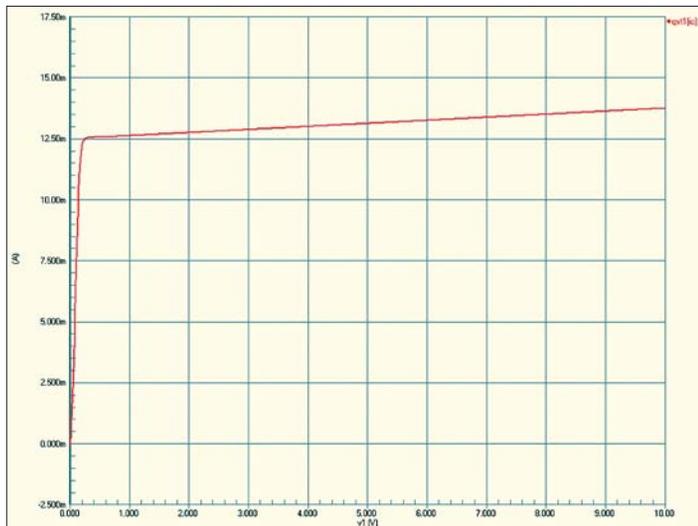


Рис. 4. Выходная характеристика транзистора при фиксированном значении базового тока

6. В выпадающем списке Sheets to Netlist выбрана опция Active project, предписывающая генерировать список соединений для всего проекта.
7. В выпадающем списке SimView Setup выберем опцию Show Active Signals, предписывающую модулю отображения результатов анализа показывать их по мере выполнения расчета.
8. Выделим в списке Available Signals сигнал тока коллектора QVT1(ic) и нажмем расположенную между списками кнопку >. Указанный сигнал будет перенесен в правый список Active Signals.
9. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения документа DC Sweep.sdf с единственной вкладкой DC Sweep, на которой появится график зависимости тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер (рис. 4).

На практике бывает полезно построить семейство подобных зависимостей при разных значениях тока базы.

10. Перейдем в редактор схем и нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation.
11. В окне настройки моделирования Analyses Setup щелкнем левой кнопкой мыши на строке DC Sweep Analysis в списке Analysis/Option.
12. В списке справа включим «галочку» в строке Enable Secondary и зададим вторичный источник и его параметры: в поле Secondary Source выберем источник тока I1, зададим значение Secondary Start равное 0, Secondary Stop равное 500u (500 мкА), шаг Secondary Step равным 50u (50 мкА), и закроем окно нажатием кнопки ОК.
13. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения документа DC Sweep.sdf, в котором на вкладке DC Sweep появится семейство выходных характеристик (рис. 5).

Следует отметить, что у способа отображения результатов данного вида анализа есть одно неудобство: на графике невозможно понять, какое значение тока базы соответствует той или иной кривой. Это не вызывает особых проблем при небольшом количестве точек изменения значения вторичного источника и монотонной зависимости от него характеристик схемы, как в нашем случае. В более сложных случаях для оценки поведения схемы рекомендуется пользоваться обычным параметрическим анализом. Прделаем это.

14. Перейдем в редактор схем и нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation.
15. В окне настройки моделирования Analyses Setup щелкнем левой кнопкой мыши на строке DC Sweep Analysis в списке Analysis/Option.
16. В списке справа выключим «галочку» в строке Enable Secondary.
17. В списке Analysis/Option включим «галочку» напротив типа анализа Parameter Sweep.

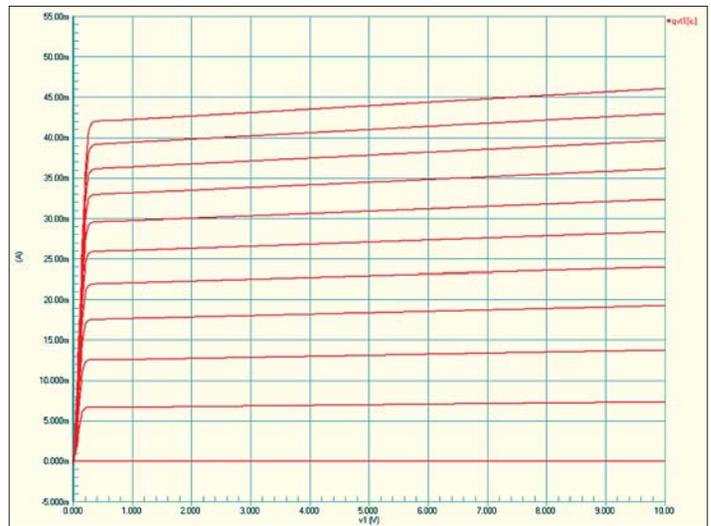


Рис. 5. Семейство выходных характеристик транзистора при разных значениях базового тока

18. В списке справа опишем первичный изменяемый параметр: в поле Primary Sweep Variable укажем переменную I1(dc), зададим значение Primary Start Value равное 0, Primary Stop Value равное 500u (500 мкА), шаг Primary Step Value равным 50u (50 мкА), тип свипирования (Primary Sweep Type) оставим Absolute Values и закроем окно нажатием кнопки ОК (рис. 6).
19. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования. Система переключится в режим отображения доку-

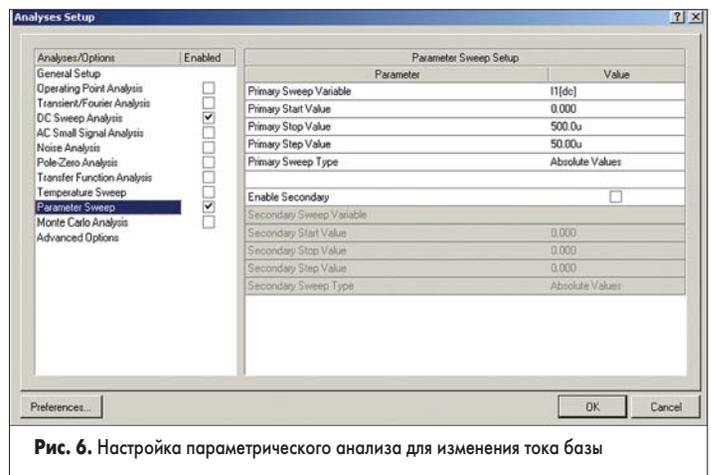


Рис. 6. Настройка параметрического анализа для изменения тока базы

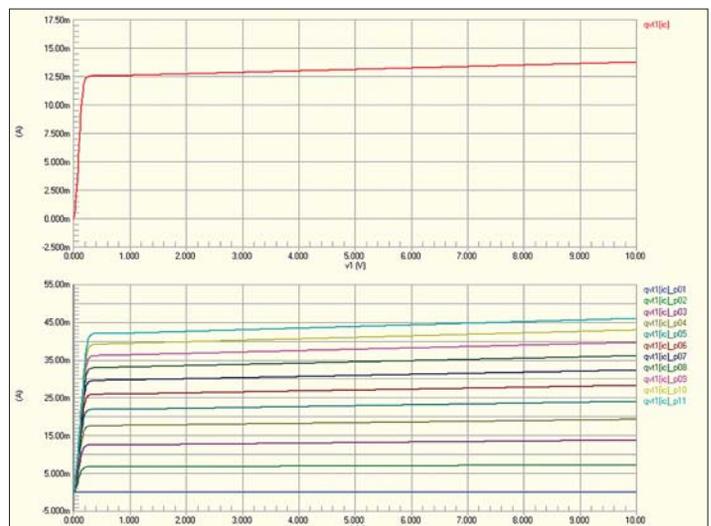


Рис. 7. Семейство выходных характеристик транзистора, полученных в ходе параметрического анализа

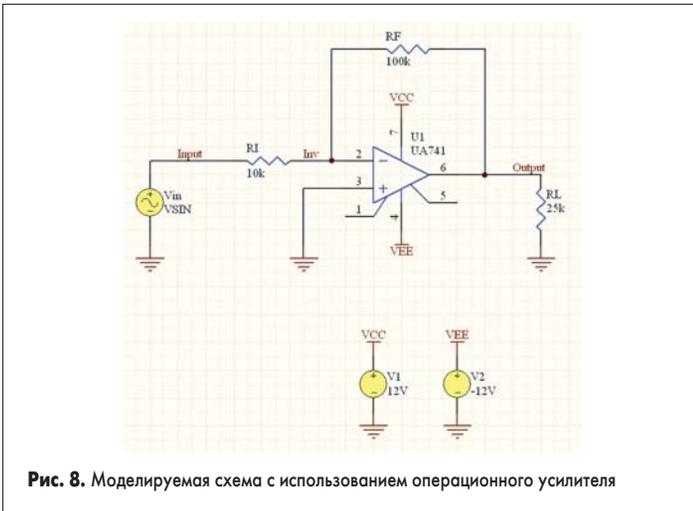


Рис. 8. Моделируемая схема с использованием операционного усилителя

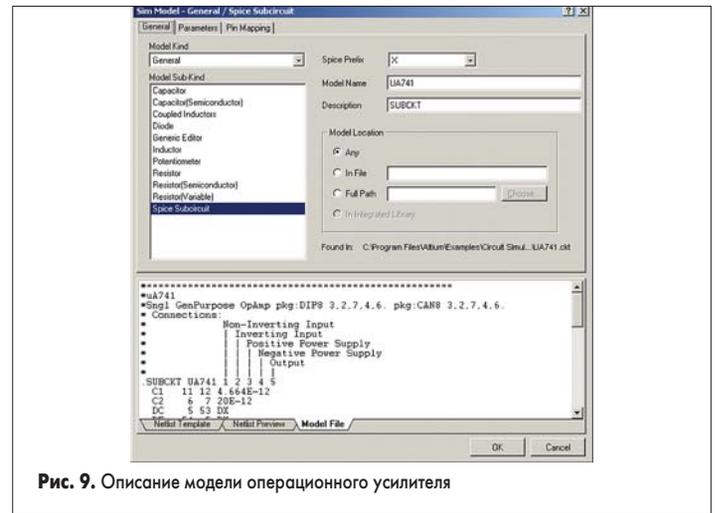


Рис. 9. Описание модели операционного усилителя

- мента DC Sweep.sdf, в котором на вкладке DC Sweep появятся два разных графика (рис. 7): первый — аналогичный показанному на рис. 4, и второй, с семейством кривых, — аналогичный показанному на рис. 5.
- Щелкнем левой кнопкой мыши на имени одного из рассчитанных сигналов. Соответствующий сигнал выделится на графике, а в правом нижнем углу появится надпись, например, $i1(dc) = 300u$ (sweep 7 of 11), показывающая точное значение базового тока.

Анализ шумов

Анализ шумов (Noise Analysis) позволяет рассчитать шумовые характеристики схемы путем определения шумов резисторов и полупроводниковых устройств. Программа моделирования строит зависимость спектральной плотности шума в заданном узле схемы от частоты, причем шум измеряется в В²/Гц. Конденсаторы, катушки индуктивности и управляемые источники постоянного напряжения считаются идеальными, не вносящими дополнительных шумов в схему.

Для изучения данного вида анализа воспользуемся готовой схемой, входящей в стандартный комплект поставки системы Protel DXP.

- Выполним команду меню File/Open, найдем в папке «C:\Program Files\Altium\ Examples\Circuit Simulation\Analog Amplifier» проект Analog Amplifier.PRJPCB и откроем его.
- Откроем документ Analog Amplifier.SchDoc, для чего дважды щелкнем на нем левой кнопкой мыши.
- Последовательным нажатием горячих клавиш V, F изменим масштаб для оптимального просмотра всей схемы (рис. 8).

Легко видеть, что в данной схеме используется операционный усилитель UA741, описанный макромоделью из имеющегося в проекте файла UA741.ckt. Проверить это можно в окне Sim Model — General/Spice Subcircuit (рис. 9), сначала дважды щелкнув левой кнопкой мыши на символе операционного усилителя, а затем на его модели в окне Component Properties.

- Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation — откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.

Обратите внимание, что для данного проекта уже определено несколько видов анализа, из настроек которых нас интересует только частотный диапазон малосигнального анализа частотных характеристик (AC Small Signal Analysis).

- Щелкнем левой кнопкой мыши на строке AC Small Signal Analysis в списке Analysis/Option. В списке справа будут приведены параметры данного вида анализа, из которых следует, что схема анализируется в диапазоне частот от 1 Гц до 1 МГц, причем значения частоты изменяются в логарифмическом масштабе. Запомним эти значения.
- В списке Analysis/Option включим «галочку» в строке Noise Analysis.
- В списке справа зададим параметры этого вида анализа (рис. 10): в поле Noise Source выберем источник напряжения Vin, зададим значение Start Frequency равное 1, Stop Frequency равное 1meg, число точек Test Points равное 1000, тип свипирования Sweep Type зададим как Decade (по аналогии с частотной характеристикой), определим выходной узел Output Node как OUTPUT, а опорный

узел Reference Node оставим без изменения 0, что соответствует цепи GND.

- В строке Analysis/Option щелкнем левой кнопкой мыши на строке General Setup.
- Справа появятся основные настройки программы моделирования, где в выпадающем списке SimView Setup выберем опцию Show Active Signals и нажмем кнопку OK.
- Нажмем кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования.

Система переключится в режим отображения документа Analog Amplifier.sdf где к ранее существовавшим вкладкам добавится новая с именем Noise Spectral Density. На этой вкладке будут присутствовать два графика (рис. 11).

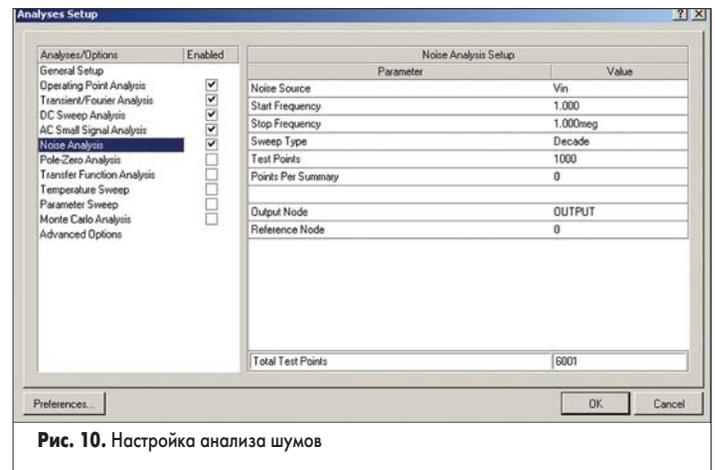


Рис. 10. Настройка анализа шумов

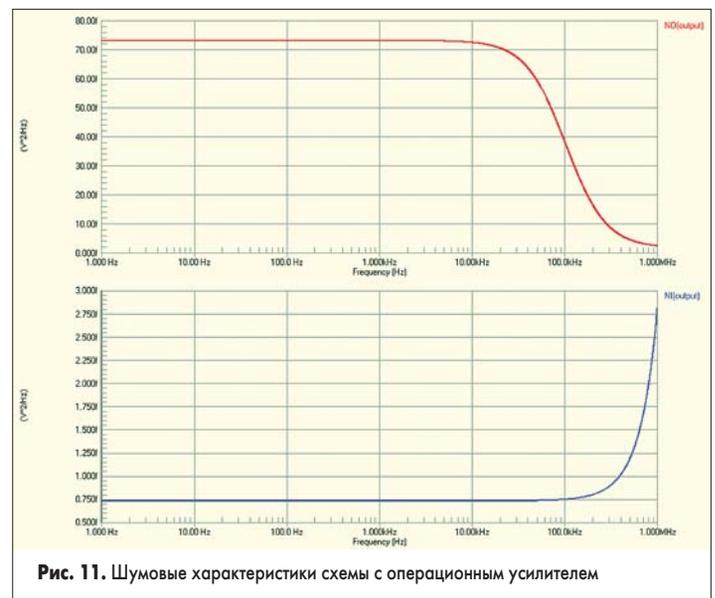


Рис. 11. Шумовые характеристики схемы с операционным усилителем

На верхнем графике приведена кривая NO(output), представляющая собой зависимость спектральной плотности шумов в узле OUTPUT от частоты.

На нижнем графике приведена зависимость от частоты так называемых приведенных ко входу шумов NI (output). То есть здесь показан уровень шума на входе схемы, который мог бы стать причиной шума на выходе с учетом коэффициента передачи схемы.

Иначе говоря, $NI (output) = NO(output)/K^2$, где K — коэффициент передачи схемы по напряжению.

Проверим, так ли это в нашем случае.

- Щелкнем правой кнопкой мыши на имени сигнала NO (output) и в появившемся контекстном меню выберем команду Cursor A.
- С помощью мыши переместим маркер A в точку 350,33 кГц (ближайшая к 350 кГц) и на панели Sim Data считаем показания маркера. Уровень шумов на выходе схемы на данной частоте составляет $7,195 \times 10^{-15} \text{ В}^2/\text{Гц}$.



Рис. 12. Зависимость коэффициента передачи схемы с операционным усилителем от частоты

- Перейдем на вкладку AC Analysis документа Analog Amplifier.sdf (рис. 12).
 - Щелкнем правой кнопкой мыши на имени сигнала output и в появившемся контекстном меню выберем команду Cursor A.
 - С помощью мыши переместим маркер A в точку 350,01 кГц (ближайшая к 350 кГц) и на панели Sim Data считаем показания маркера. Так как входной сигнал равен 1 В, то значение сигнала на выходе схемы будет совпадать со значением коэффициента передачи схемы по напряжению и составит 2.78.
 - Рассчитаем значение приведенного ко входу шума: $7,195 \times 10^{-15} / 2,78^2 = 0,93 \times 10^{-15} \text{ В}^2/\text{Гц}$.
 - Снова вернемся на вкладку Noise Spectral Density документа Analog Amplifier.sdf.
 - Щелкнем правой кнопкой мыши на имени сигнала NI(output) и в появившемся контекстном меню выберем команду Cursor B.
 - С помощью мыши переместим маркер B в точку 352,81 кГц (ближайшая к 350 кГц) и на панели Sim Data считаем показания маркера. Уровень шумов на выходе схемы на данной частоте составляет $0,95 \times 10^{-15} \text{ В}^2/\text{Гц}$, что почти совпадает с рассчитанным нами значением. Некоторое весьма незначительное расхождение связано с невозможностью точно попасть в заданную частотную точку при логарифмическом масштабе по оси X.
- К сожалению, программа моделирования системы Protel DXP не дает возможность оценить вклад различных элементов схемы в шум на выходе устройства, что затрудняет оптимизацию схемы с точки зрения шумовых характеристик.

Анализ передаточных функций по постоянному току

В процессе анализа передаточных функций (Transfer Function Analysis) происходит расчет входного и выходного сопротивления, а также коэффициента усиления по постоянному току. Рассмотрим описанный выше пример с операционным усилителем.

- Переключимся в редактор схем, для чего щелкнем левой кнопкой мыши на закладке документа Analog Amplifier.SchDoc.
- Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation, открыв окно настройки моделирования Analyses Setup.
- В списке Analysis/Option включим «галочку» в строке Transfer Function Analysis.
- В списке справа зададим параметры этого вида анализа (рис. 13): в поле Source Name выберем источник напряжения Vin, опорный

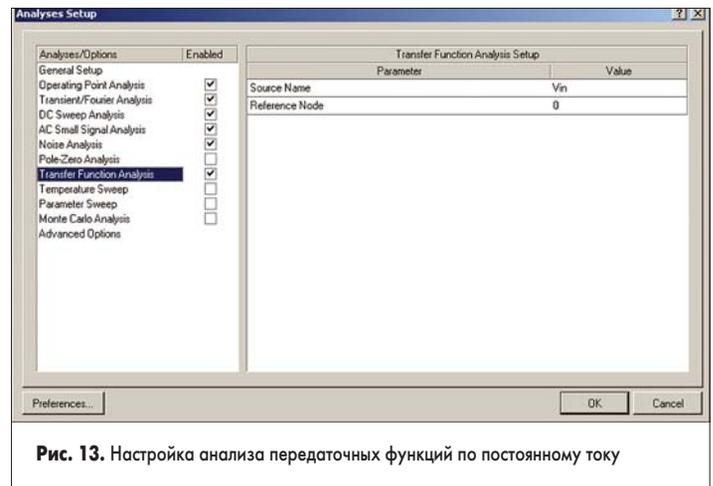


Рис. 13. Настройка анализа передаточных функций по постоянному току

узел Reference Node оставим без изменения (0), что соответствует цепи GND.

- В списке Analysis/Option щелкнем левой кнопкой мыши на строке General Setup. Справа появятся основные настройки программы моделирования.
- Выделим в списке Active Signals сигнал INPUT и нажмем расположенную между списками кнопку <. На отображении останется назначенным только один сигнал OUTPUT.
- Больше никаких настроек менять не надо, поэтому просто закроем окно нажатием кнопки ОК.
- Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования.

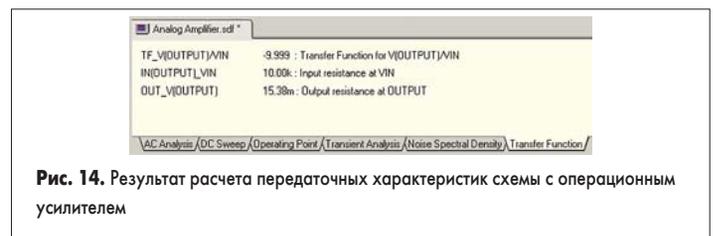


Рис. 14. Результат расчета передаточных характеристик схемы с операционным усилителем

Система переключится в режим отображения документа Analog Amplifier.sdf, где к ранее существовавшим вкладкам добавится новая с именем Transfer Function. На этой вкладке будут присутствовать три значения (рис. 14).

Значение TF_V(OUTPUT)/VIN показывает коэффициент передачи по постоянному току, равный -9.999 . Это значение, естественно, является отрицательным, так как входной сигнал подается на инвертирующий вход операционного усилителя и по модулю совпадает со значением коэффициента передачи схемы на низких частотах, которое мы получили в предыдущем эксперименте.

Значение IN(OUTPUT)_VIN показывает входное сопротивление схемы в точке подключения источника Vin и фактически равно значению RI. Значение OUT_V(OUTPUT) показывает выходное сопротивление схемы в узле Output.

Проведем еще один эксперимент и рассчитаем передаточную характеристику для разработанного нами ранее пассивного фильтра нижних частот.

- Выполним команду меню File/Open, найдем в папке «C:\Program Files\Altium\Examples\Filters» проект Filter.PRJPCB и откроем его.
- Откроем документ Filter.SchDoc двойным щелчком левой кнопкой мыши.
- Последовательным нажатием горячих клавиш V, F изменим масштаб для оптимального просмотра всей схемы (рис. 15).

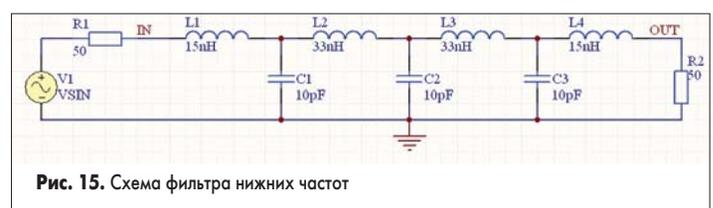


Рис. 15. Схема фильтра нижних частот

4. Наждем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation — откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.
5. В списке Analysis/Option выключим «галочку» в строке Monte Carlo Analysis.
6. В списке Analysis/Option включим «галочку» в строке Transfer Function Analysis.
7. В списке справа зададим параметры этого вида анализа: в поле Source Name выберем источник напряжения V1, опорный узел Reference Node оставим без изменения (0), что соответствует цепи GND.
8. Больше никаких настроек менять не надо, поэтому просто закроем окно нажатием кнопки ОК.
9. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования.

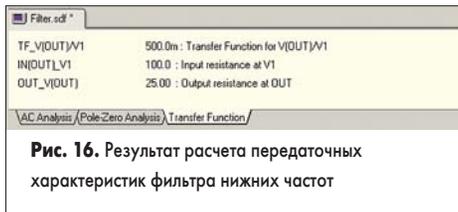


Рис. 16. Результат расчета передаточных характеристик фильтра нижних частот

Система переключится в режим отображения документа Filter.sdf, где к ранее существовавшим вкладкам добавится новая с именем Transfer Function. На этой вкладке будет присутствовать три значения (рис. 16). Попробуем их проанализировать.

С точки зрения постоянного тока схема фильтра будет представлять собой обычный резистивный делитель, так как присутствующие в схеме четыре последовательно включенных идеальных катушки индуктивности на нулевой частоте имеют нулевое сопротивление. Конденсаторы, в свою очередь, будут иметь бесконечно большое сопротивление. Так как резисторы R1 и R2 имеют одинаковое сопротивление 50 Ом, то его коэффициент деления будет равен 0.5, что и показывает нам значение TF_V(OUT)/V1. Входное сопротивление делителя определяется последовательным включением резисторов и составляет 100 Ом, что показывает значение IN(OUT)_V1. Выходное же сопротивление делителя определяется параллельным включением резисторов и составляет 25 Ом, что показывает значение OUT_V(OUT).

Анализ нулей и полюсов

В ряде случаев для понимания функционирования схемы полезно знать нули и полюса ее передаточной функции. В программе Protel DXP для этих целей имеется специальный вид анализа Pole-Zero Analysis.

Для изучения данного вида анализа воспользуемся готовой схемой, входящей в стандартный комплект поставки системы Protel DXP.

1. Выполним команду меню File/Open, найдем в папке «C:\Program Files\Altium\Examples\Circuit Simulation\Pole-Zero\Simple RC» проект Simple RC.PRJPCB и откроем его.
2. Откроем документ Simple RC.SchDoc, для чего дважды щелкнем на нем левой кнопкой мыши.

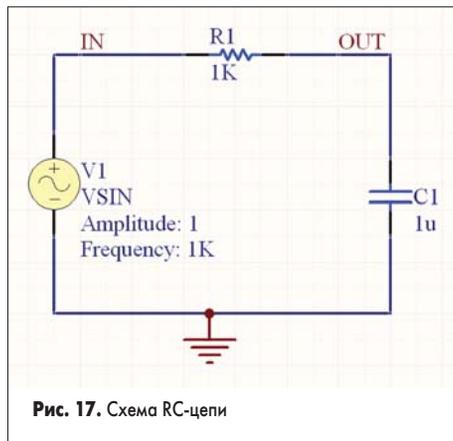


Рис. 17. Схема RC-цепи

3. Последовательным нажатием горячих клавиш V, F изменим масштаб для оптимального просмотра всей схемы (рис. 17). Легко видеть, что схема содержит простейшую RC-цепь.

4. Наждем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation — откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.

Обратите внимание, что для данного проекта уже определены два вида анализа: мало-сигнальный анализ частотных характеристик (AC Small Signal Analysis) и интересующий нас анализ нулей и полюсов (Pole-Zero Analysis).

5. Щелкнем левой кнопкой мыши на строке Pole-Zero Analysis в списке Analysis/Option.

В списке справа будут приведены параметры данного вида анализа: входной узел (Input

Node) IN, выходной узел (Output Node) OUT, опорные узлы для входа и для выхода (Input Reference Node и Output Reference Node) 0, что означает цепь GND, тип передаточной функции (Transfer Function Type) V(output)/V(input) и тип анализа (Analysis Type) Poles and Zeros, что означает поиск и нулей, и полюсов (рис. 18).

6. Так как нам не надо изменять данные параметры, просто закроем окно нажатием кнопки ОК.

7. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования.

Система переключится в режим отображения документа Simple RC.sdf, где будут присутствовать две вкладки: AC Analysis и Pole-Zero Analysis.

8. Щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке Pole-Zero Analysis.

На экране появится диаграмма, показывающая плоскость комплексных чисел, где по оси X откладываются действительные, а по оси Y — мнимые значения нулей и полюсов в радианах в секунду.

9. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени единственного найденного полюса. В правом нижнем углу будет показано его точное численное значение в комплексном виде $-10^3 + j0$ (рис. 19).

Проверим найденное значение аналитически. Коэффициент передачи данной схемы в операторном виде будет равен:

$$K(p) = \frac{1}{R1 + \frac{1}{pC1}} = \frac{1}{p(R1 \times C1) + 1} = \frac{1}{R1 \times C1 \times (p + \frac{1}{R1 \times C1})} \quad (1)$$

где R1 и C1 — номиналы соответствующих элементов схемы.

Легко видеть, что передаточная характеристика не будет иметь нулей, но будет иметь только один полюс, равный

$$\frac{1}{R1 \times C1} = \frac{1}{10^3 \times 10^{-6}} = 10^3 \text{ рад/с,}$$

что и рассчитала нам программа моделирования.

Интересно рассмотреть эту же схему, но поменять местами резистор и конденса-

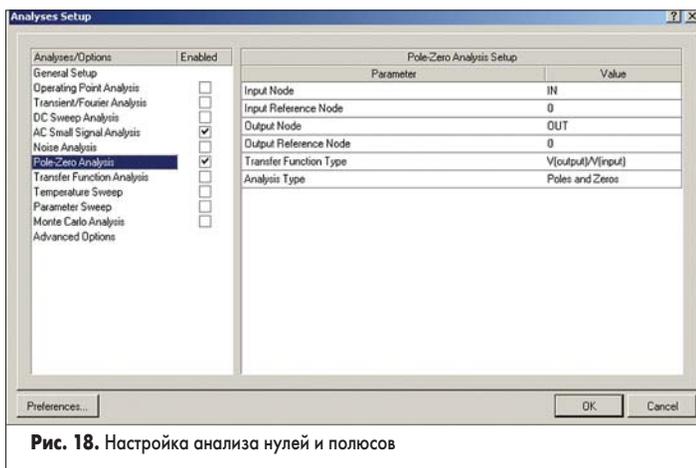


Рис. 18. Настройка анализа нулей и полюсов

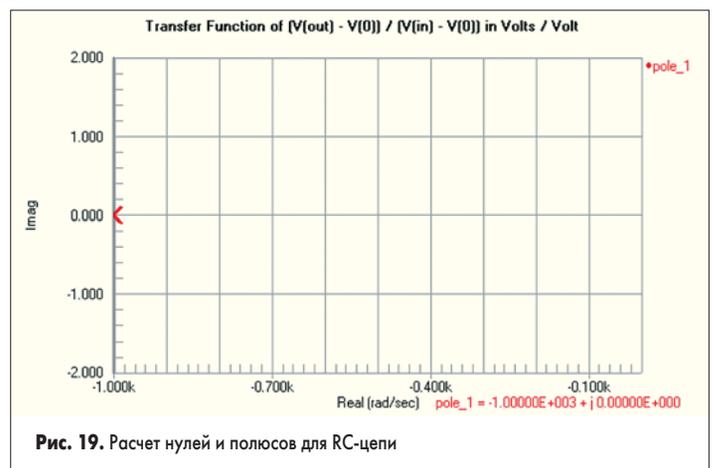


Рис. 19. Расчет нулей и полюсов для RC-цепи

тор. Коэффициент передачи такой схемы в операторном виде несколько изменится:

$$K(p) = \frac{R1}{R1 + \frac{1}{pC1}} = \frac{p(R1 \times C1)}{p(R1 \times C1) + 1} = \frac{p(R1 \times C1)}{R1 \times C1 \times (p + \frac{1}{R1 \times C1})} \quad (2)$$

Из данного выражения следует, что здесь, как и ранее, присутствует один полюс, равный 10^3 рад/с, но добавился еще и ноль передаточной характеристики, равный $0+j0$.

Проверим наш расчет с помощью программы моделирования.

10. С помощью мыши захватим и переместим конденсатор C1 в свободное место листа схемы.
11. С помощью мыши захватим и переместим резистор R1 на место конденсатора C1. Нажатие клавиши Spacebar во время перемещения повернет резистор на 90° .
12. С помощью мыши захватим и переместим конденсатор C1 на место резистора R1, также повернув его на 90° .

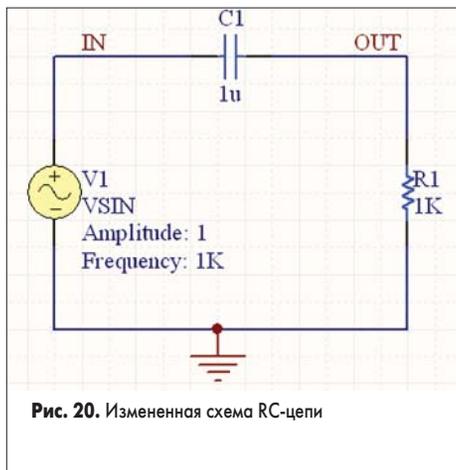


Рис. 20. Измененная схема RC-цепи

13. Отредактируем сегменты цепей, чтобы они правильно соединялись с выводами элементов (рис. 20).
14. Нажмем кнопку Setup Mixed-Signal Simulation, откроется окно настройки моделирования Analyses Setup.
15. Здесь в разделе General Setup в выпадающем списке SimView Setup выберем опцию Show Active Signals и закроем окно нажатием кнопки ОК.

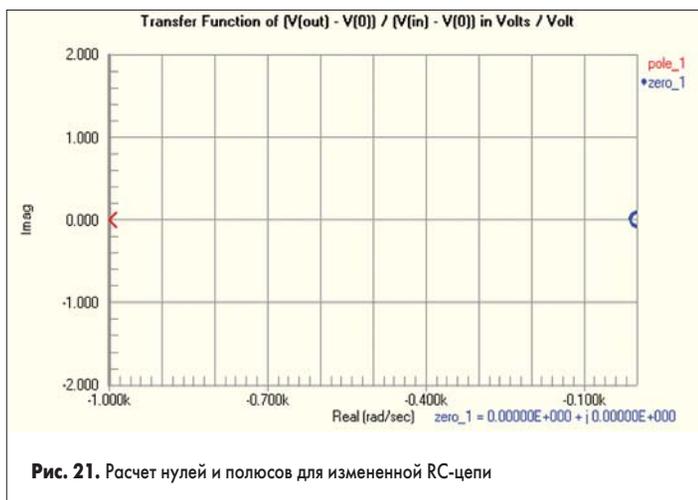


Рис. 21. Расчет нулей и полюсов для измененной RC-цепи

16. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования.
- Теперь на вкладке Pole-Zero Analysis документа Simple RC.sdf будут показаны один полюс (крестиком) и один ноль (кружочком) передаточной характеристики RC-цепи в новом включении.

17. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени найденного нуля. В правом нижнем углу будет показано его точное численное значение в комплексном виде $-0 + j0$ (рис. 21), которое ранее мы получили аналитически.

Посмотрим, что произойдет с этой схемой, если в нее добавить катушку индуктивности.

18. Нажатием кнопки Libraries в нижней части экрана откроем одноименную панель.
19. Включим опцию Components и в списке подключенных библиотек выберем имя интегрированной библиотеки Miscellaneous Devices.IntLib. Если эта библиотека в списке отсутствует, то найдите ее и подключите, как было описано ранее.
20. В поле фильтра введем маску поиска компонента «ind», после чего в списке останутся только те компоненты, имена которых содержат эту букву.
21. Выберем компонент Inductor и нажмем кнопку Place Inductor. Редактор схемы перейдет в режим размещения элементов, а к указателю мыши окажется «приклеенным» символ катушки индуктивности.
22. Нажмем клавишу Tab, откроется окно Component Properties, в котором в поле Designator укажем позиционное обозначение L1, выключим галочку Visible у поля Comment, в списке Parameters for в строке Value введем значение индуктивности 10mH и закроем окно нажатием кнопки ОК.
23. Разместим катушку чуть выше резистора R1 и отредактируем цепи, как показано на рис. 22.
24. Данная схема будет иметь полюсы при вполне определенных соотношениях между параметрами элементов, которые мы выведем чуть позже, поэтому изменим значение емкости конденсатора C1 с 1u на 1n.
25. Нажатием кнопки Run Mixed Signal Simulation на панели инструментов Mixed

Sim или горячей клавиши F9 запустим процесс моделирования.

Теперь на вкладке Pole-Zero Analysis документа Simple RC.sdf будут показаны два полюса (крестиком) и два нуля (кружочком) передаточной характеристики схемы.

26. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени найденного нуля. В правом нижнем углу будет показано его точное численное значение в комплексном виде $-5 \times 10^4 + j3,1225 \times 10^4$ (рис. 23).
27. Последовательно щелкая левой кнопкой мыши на именах других нулей и полюсов или вращая ролик мыши, просмотрим их значения.

Проверим найденные значения аналитически. Коэффициент передачи данной схемы в операторном виде будет равен:

$$K(p) = \frac{R1 + pL1}{R1 + pL1 + \frac{1}{pC1}} = \frac{p^2 + p \frac{R1}{L1}}{p^2 + p \frac{2}{L1} + \frac{1}{L1 \times C1}} \quad (3)$$

где R1, L1 и C1 — номиналы соответствующих элементов схемы.

Выполнив замену переменных:

$$\alpha = \frac{R1}{2 \times L1} \quad (4)$$

$$\text{и } \omega^2 = \frac{1}{L1 \times C1} \quad (5),$$

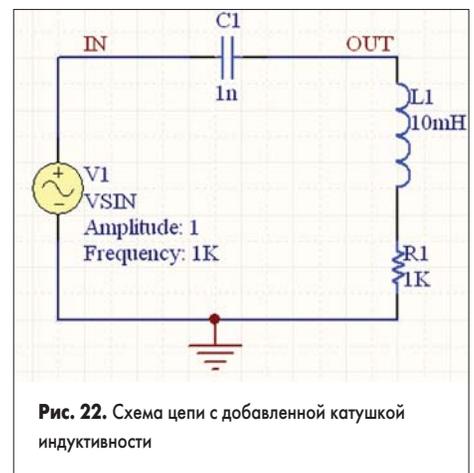


Рис. 22. Схема цепи с добавленной катушкой индуктивности

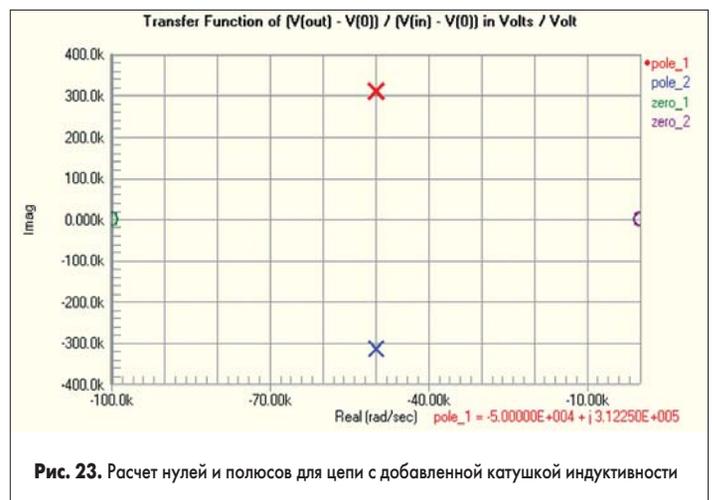


Рис. 23. Расчет нулей и полюсов для цепи с добавленной катушкой индуктивности

получим новое выражение для коэффициента передачи данной схемы:

$$K(p) = \frac{p^2 + p(2\alpha)}{p^2 + p(2\alpha) + \omega^2} = \frac{p \times (p + 2\alpha)}{(p - p_1) \times (p - p_2)}, \quad (6)$$

где $p_{1,2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega^2 - \alpha^2}$ (7)

Наличие квадратного корня в формуле расчета полюсов накладывает на значения параметров схемы ограничение таким образом, чтобы выполнялось соотношение $\alpha < \omega$. Для нашей схемы это неравенство преобразуется в

$$R1 < 2 \times \sqrt{\frac{L1}{C1}} \quad (8),$$

либо

$$C1 < \frac{4 \times L1}{R1^2} \quad (9),$$

либо

$$L1 > \frac{C1 \times R1^2}{4} \quad (10).$$

Из числителя формулы коэффициента передачи (6) следует, что схема будет иметь два нуля, один из которых будет равен -2α (11), а второй — 0.

Подставив в формулы (7) и (11) значения номиналов элементов схемы, мы получим те же значения, которые нам рассчитала программа моделирования системы Protel DXP.

Итак, на данном занятии мы завершили рассмотрение различных видов анализа, доступных в системе проектирования Protel DXP. Несмотря на то, что программа может выполнять моделирование смешанных аналого-цифровых схем, пока мы рассматривали только аналоговые схемы. К рассмотрению возможностей моделирования цифровых схем в системе Protel DXP мы приступим несколько позже. ■

Protel DXP для профессионалов

Урок 1

Предыдущий цикл уроков был предназначен для начинающих пользователей системы Protel DXP. Этим уроком мы начинаем новую серию публикаций, нацеленных главным образом на пользователей, профессионально занимающихся проектированием электроники.

Юрий Потапов

potapoff@eltn.ru

Горячая связь с базами данных

Большинство крупных предприятий электронной промышленности имеет специальные базы данных разрешенных к использованию электрорадиоэлементов, которые сопровождаются и регулярно обновляются специальной группой бюро стандартизации. Наличие подобной базы данных и ее централизованное использование в рамках предприятия, а иногда и группы предприятий значительно упрощают нормоконтроль и подготовку производства.

Почти все современные электронные или механические САПР имеют инструменты связи с внешними базами данных, что позволяет значительно снизить информационную нагрузку на библиотеки компонентов и загружать в проект информацию о компонентах только на этапе подготовки выходных файлов. Подобные средства имеются и в системе проектирования Protel DXP. Рассмотрим, как они работают на стандартном примере, входящем в состав пакета.

Прежде всего, нам необходима база данных. Компания Altium предоставляет небольшую базу дан-

ных компонентов в формате Microsoft Access, которую можно найти в папке C:\Program Files\Altium\Examples\Cis. Посмотрим ее содержимое. Заметим, что для работы с этой базой данных нам потребуются СУБД Microsoft Access 2000, которая предварительно должна быть установлена на компьютере.

1. С помощью Проводника системы Windows откроем папку C:\Program Files\Altium\Examples\Cis и выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на единственном имеющемся здесь файле Example database.mdb.

Откроется окно базы данных, в которой будут присутствовать семь таблиц, сгруппированных по типу компонентов: Capacitors (конденсаторы), Connectors (соединители), Discretes (дискретные элементы), ICS (микросхемы), Resistors (резисторы), Switches (переключатели) и Transistors (транзисторы).

2. Выполним двойной щелчок на таблице Resistors. Откроется таблица, содержащая 1201 запись с информацией о резисторах (рис. 2).

Вся информация здесь упорядочена в виде столбцов, главным из которых является Part Number. Этот столбец содержит уникальный идентификатор типа компонента, который будет служить ключевым полем для связи редактора схем системы Protel DXP с базой данных. В остальных столбцах

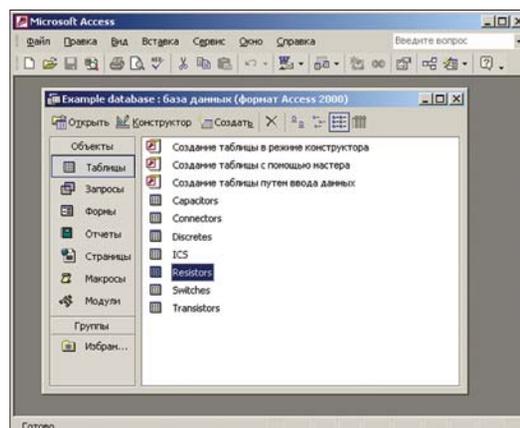


Рис. 1. Пример базы данных компонентов

Part Number	Manufacturer P/N	Manufacturer	Description	Package	Packaging	Power	Resistance
R000003	2322 245 22787K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	787KOhm
R000004	2322 245 22808K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	908KOhm
R000005	2322 245 22829K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	929KOhm
R000006	2322 245 22849K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	949KOhm
R000007	2322 245 22869K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	969KOhm
R000008	2322 245 22887K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	987KOhm
R000009	2322 245 22908K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	999KOhm
R000010	2322 245 22919K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	919KOhm
R000011	2322 245 22931K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	931KOhm
R000012	2322 245 22953K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	953KOhm
R000013	2322 245 22976K	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	976KOhm
R000014	2322 245 221 100M	Сила "Красный путь" - источник для про...		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 00MOhm
R000015	2322 245 221 02M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 02MOhm
R000016	2322 245 221 05M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 05MOhm
R000017	2322 245 221 07M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 07MOhm
R000018	2322 245 221 10M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 10MOhm
R000019	2322 245 221 13M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 13MOhm
R000020	2322 245 221 15M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 15MOhm
R000021	2322 245 221 18M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 18MOhm
R000022	2322 245 221 21M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 21MOhm
R000023	2322 245 221 24M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 24MOhm
R000024	2322 245 221 27M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 27MOhm
R000025	2322 245 221 30M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 30MOhm
R000026	2322 245 221 33M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 33MOhm
R000027	2322 245 221 37M	BC		Axial	Tape/Reel 5k	0.5W	1 37MOhm

Рис. 2. Таблица резисторов

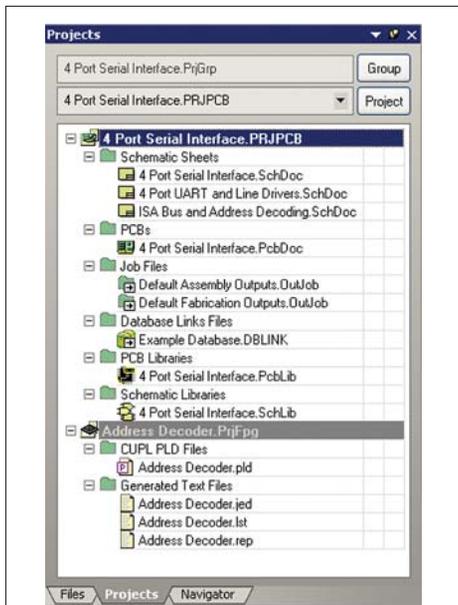


Рис. 3. Группа из двух проектов

содержатся: производитель (Manufacturer), тип компонента по каталогу производителя (Manufacturer P/N), тип корпуса (Package), максимальная рассеиваемая мощность (Power), сопротивление (Resistance), допуск (Tolerance), цена (Price) и т. д.

- С помощью линейки прокрутки найдем в таблице строку записи для резистора типа R002014.
- В поле Manufacturer введем новый текст: Завод «Красный Путь».
- В поле Description введем новый текст: «Изменен для проверки возможностей функции связи с внешними базами данных».
- Закроем таблицу резисторов, а затем и саму базу данных.
- С помощью Проводника системы Windows откроем папку C:\Program Files\Altium\Examples\4 Port Serial Interface и выполним двойной щелчок левой кнопкой мыши на файле 4 Port Serial Interface.PrjGrp. Запустится система Protel DXP и в среде проектирования откроется группа проектов, состав которой будет показан на вкладке Projects (рис. 3).

Напомним, что в системе Protel DXP понятие «проект» описывает некоторую закон-

ченную часть разрабатываемого аппарата (в простейшем случае, это одна из нескольких входящих в него печатных плат). Чтобы описать весь аппарат, используется понятие «группа проектов», описывающее более высокий уровень иерархии. Кроме того, проект печатной платы представляет собой лишь описание изделия на соответствующем уровне. Система Protel DXP поддерживает два типа проектов, соответствующих другим уровням физической реализации: программируемой логики (FPGA) и исполняемого кода для микроконтроллеров (Embedded), которые также могут быть использованы в данном оборудовании. Последний, четвертый тип проектов представляет собой описание интегрированной библиотеки компонентов (Integrated Library) и служит для упорядочения представления компонентов внутри системы Protel DXP. В состав группы проекта может входить неограниченное число проектов любого из этих четырех типов.

Например, открытая нами группа содержит два проекта, один из которых (4 Port Serial Interface.PRJPCB) является проектом печатной платы, а второй (Address Decoder.PrjFpg) представляет собой описание внутренней логической схемы одной из использованных на этой плате ПЛИС, выполняющей функцию декодера адресного слова. Нас интересует проект печатной платы, описанной двумя принципиальными схемами, объединенными с помощью третьего вышестоящего листа. Иерархическая структура проекта станет понятной после выполнения операции компиляции.

10. Выполним команду меню Project/Compile PCB Project. Система выполнит компиляцию проекта, а результаты работы отобразит на панели Navigator.

На этой панели имеется четыре поля. В верхнем поле отображается иерархическая структура проекта, под ним идут списки компонентов и цепей, использованных в выделенной части проекта. В самом нижнем поле приведен список подключений выделенного компонента или цепи.

11. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени документа 4 Port UART and Line Drivers.schdoc в верхнем поле панели Navigator. В нижних полях отобразятся списки компонентов и цепей этого документа.

10. С помощью линейки прокрутки пролистываем список компонентов во втором поле и щелчком левой кнопкой мыши на компоненте R1. Редактор схем переключится в режим оптимального отображения данного резистора, а в самом нижнем поле панели Navigator появится список его выводов (рис. 4).

При прорисовке схем использовались компоненты из представленных здесь же библиотек символов компонентов и их топологических посадочных мест. Используемые на схеме компоненты уже содержат некий начальный набор текстовых полей атрибутов, сохраненный в библиотеке. Проверим это.

11. Выполним двойной щелчок на резисторе R1, после чего откроется окно Component Properties (рис. 5).

В правой части окна в списке Parameters for R1 - RES1 приведен перечень имеющихся у данного резистора текстовых атрибутов. Сейчас их всего шесть. Обратите внимание, что в этом списке присутствует параметр Part Number со значением R002014. Тип этого компонента совпадает с типом компонента, который мы ранее редактировали в базе данных.

12. Закроем окно Component Properties и вернемся на панель Projects.

Обратите внимание, что в проекте уже присутствует папка Database Link Files, в которой имеется файл Example Database.DBLINK. Этот файл подсказывает системе Protel DXP, откуда извлекать данные и как записывать их в проект. Для того чтобы понять все правила настройки связи с внешней базой данных, создадим такой файл самостоятельно.

13. Щелкнем левой кнопкой мыши на имени проекта 4 Port Serial Interface.PRJPCB и выполним команду меню File/New/Database Link File. Проект будет добавлен новый документ Database Links1.DbLink, который автоматически откроется на рабочем столе (рис. 6).

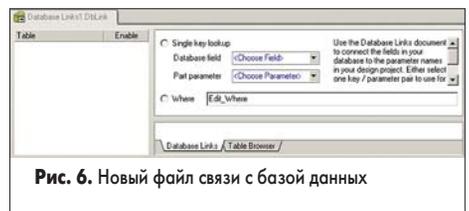


Рис. 6. Новый файл связи с базой данных

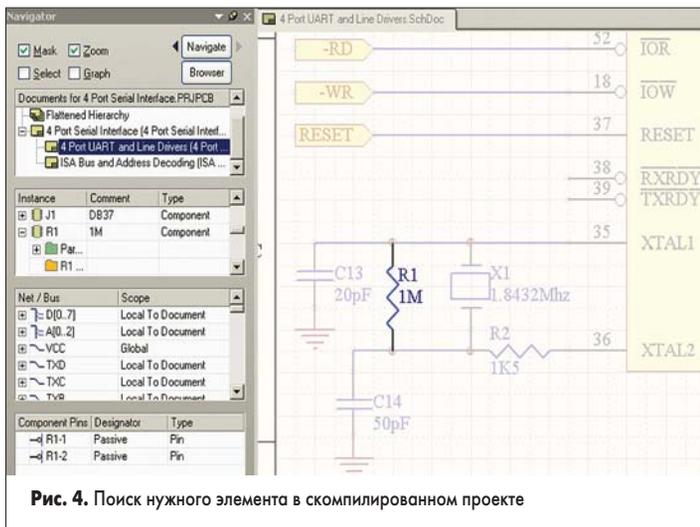


Рис. 4. Поиск нужного элемента в скомпилированном проекте

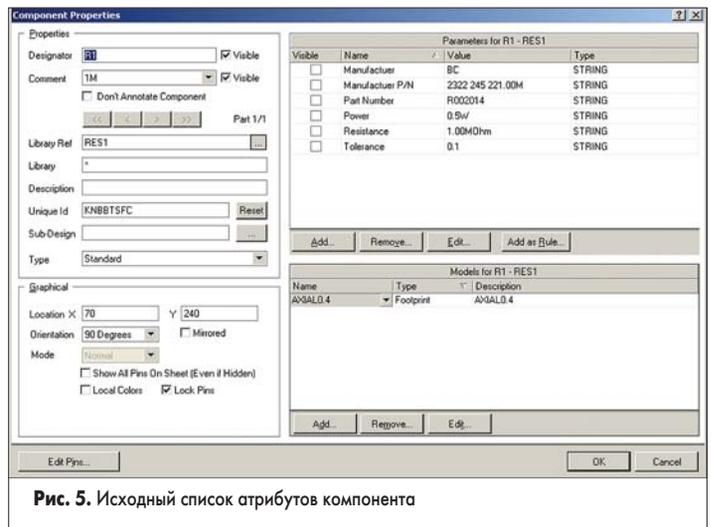


Рис. 5. Исходный список атрибутов компонента

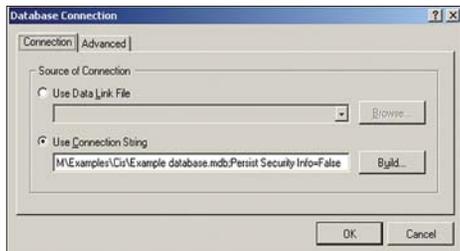


Рис. 7. Выбор способа подключения к внешней базе данных

14. Находясь в режиме редактирования файла связи, выполним команду меню Tools/Database Connection. Откроется окно Database Connection (рис. 7), в котором на вкладке Connection задается способ связи с базой данных.

Опция Use Data Link File позволяет выполнить соединение через специальный конфигурационный файл с расширением *.udl. Мы будем использовать файл базы данных Microsoft Access с расширением *.mdb, поэтому будем настраивать доступ к нему через специальную строку параметров.

15. Выберем опцию Use Connection String. Здесь в текстовом поле уже присутствует типовой список параметров, определяющих тип связи и путь к файлу базы данных по образцу и подобию уже имеющегося в проекте файла:

Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=C:\PROGRAM FILES\ALTIUM\Examples\Cis\Example database.mdb;Persist Security Info=False

Далеко не все пользователи смогут правильно написать подобную строку, поэтому следует воспользоваться специальным окном настройки интерфейса ODBC, которое вызывается нажатием кнопки Build.

16. Нажмем кнопку Build, после чего откроется диалоговое окно настройки свойств связи (рис. 8). Обратите внимание, что в случае использования русскоязычной операционной системы это окно будет также русскоязычным. Это означает, что оно является элементом не системы Protel DXP, а операционной системы Windows.

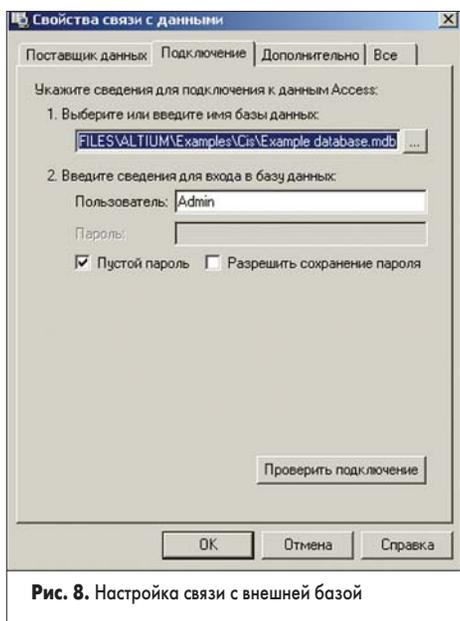


Рис. 8. Настройка связи с внешней базой

Вид вкладки «Подключение» зависит от выбора поставщика данных на одноименной вкладке этого окна.

17. Перейдем на вкладку «Поставщик данных» и в списке поддерживаемых поставщиков выберем строку «Provider=Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider», после чего нажмем кнопку «Далее >>».

18. На вкладке Подключение задается путь к файлу базы данных. Нажмем кнопку «...» и выберем файл C:\Program Files\Altium\Examples\Cis\Example database.mdb.

19. Если база данных имеет разграничение доступа, имя пользователя и пароль настраиваются также на вкладке Подключение. В нашем случае база данных является открытой, поэтому включим опцию «Пустой пароль».

20. Нажмем кнопку «Проверить подключение». Если все настройки выполнены правильно, то система выдаст соответствующее сообщение.

21. Последовательным нажатием кнопок ОК закроем все открытые диалоговые окна.

Теперь, если посмотреть на рабочий стол системы Protel DXP, то легко заметить, что после выполнения проверки связи с базой данных вид документа Example Database.DBLINK изменится, и в списке Table появятся семь названий таблиц, ранее наблюдаемых нами в базе данных (рис. 9).

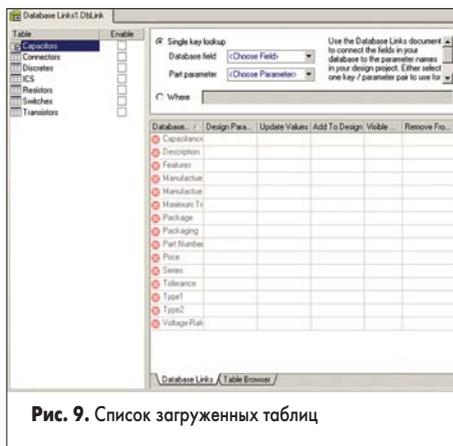


Рис. 9. Список загруженных таблиц

Для каждой отдельной таблицы в правой части окна просмотра файла связи имеются выпадающие списки для настройки ключевых полей и пока пустая таблица настройки связи полей атрибутов на вкладке Database Links.

22. Щелкнем левой кнопкой мыши на таблице Resistors.

23. Щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке Table Browser.

На этой вкладке осуществляется просмотр указанной таблицы базы данных, что избавляет пользователя от необходимости иметь на компьютере систему Access. Первоначально таблица имеет обычный вид (рис. 10, а). Система Protel DXP имеет гибкий набор инструментов для группировки и фильтрации данных. Рассмотрим несколько приемов поиска нужной информации. Допустим, нам необходимо найти в базе данных резистор с сопротивлением 1 МОм.

24. С помощью мыши захватим заголовок столбца Resistance и перетащим его на серое поле над таблицей. Две зеленые

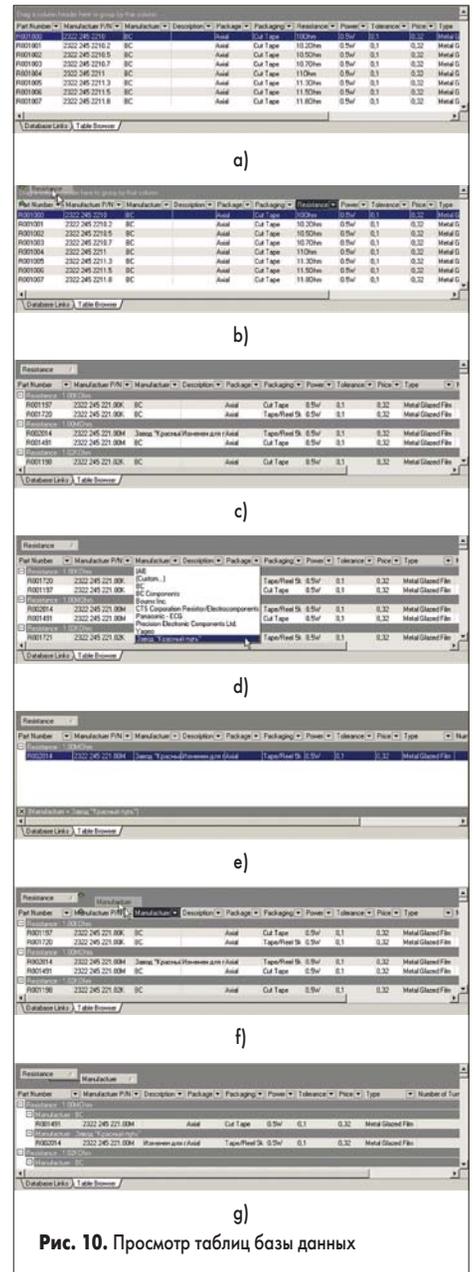


Рис. 10. Просмотр таблиц базы данных

стрелки покажут возможное расположение кнопки группировки (рис. 10, b).

25. Отпустим левую кнопку мыши. Данные в таблице будут сгруппированы по номиналу сопротивления. Следует помнить, что система Protel DXP считывает все данные как текстовые, а их сортировка выполняется по правилам обработки текстовых переменных: 1.00KOhm, 1.00MOhm, 1.02KOhm, 1.02MOhm и т. д.

Легко видеть, что в нашей базе данных имеются два резистора с нужным нам номиналом от разных производителей (рис. 10, c). Воспользуемся функцией фильтрации данных.

26. Щелкнем левой кнопкой мыши на небольшом треугольнике рядом с заголовком столбца Manufacturer. Появится выпадающий список, в котором перечислены все упомянутые в таблице производители (рис. 10, d).

27. Выберем строку с именем производителя: Завод «Красный путь». Автофильтр скроет все компоненты других производителей и оставит единственный резистор, который мы ранее редактировали в базе данных (рис. 10, e).

28. Выключим автофильтр, щелкнув на кнопке с крестиком в нижней части таблицы. Иначе это можно сделать, щелкнув левой кнопкой мыши на треугольнике в заголовке столбца Manufacturer (при включенном автофильтре этот треугольник окрашен в синий цвет) и в выпадающем списке выбрав строку All.

Выполним группировку записей по вторичному признаку.

29. С помощью мыши захватим заголовок столбца Manufacturer и перетащим его на серое поле над таблицей чуть левее кнопки Resistance. Две зеленые стрелки покажут возможное расположение кнопки группировки (рис. 10, f).

30. Отпустим левую кнопку мыши. Данные в таблице будут сгруппированы сначала по номиналу сопротивления, а затем по производителю (рис. 10, g).

Таким образом, комбинируя два описанных выше способа, можно найти нужный компонент по самым различным признакам: номиналу, допуску, мощности, типу корпуса и так далее. Целью нашего поиска является содержимое поля Part Number, которое мы должны указать в соответствующем текстовом атрибуте «пустого» компонента. В нашем примере эти атрибуты уже заполнены. Настроим это поле в качестве ключевого для связи с базой данных.

31. Включим «галочку» в столбце Enable напротив таблицы Resistors в списке доступных таблиц базы данных.

32. Щелкнем левой кнопкой мыши на вкладке Database Links.

33. Включим опцию Single key lookup.

34. В выпадающем списке Database field выберем строку Part Number.

35. В выпадающем списке Part parameter выберем строку Part Number.

В неактивном текстовом поле рядом с опцией Where появится текст ключевого запроса:

[Part Number] = '{Part Number}'

Если включить опцию Where, то это текстовое поле станет активным и в нем можно построить сложный запрос с использованием языка SQL, позволяющий использовать информацию из разных полей, например:

Capacitance = '{Capacitance}' AND Tolerance = '{Tolerance}' AND Manufacturer = '{Manufacturer}'

Запросы могут быть еще более сложными и содержать математические действия и операции сравнения, например:

Package = '{Footprint}' AND [Value] like '{Comment}%' AND [Tolerance] <= {Tol} + 0.01 AND [Tolerance] >= {Tol} — 0.01

Позднее мы рассмотрим пример построения сложного запроса. В нашем же случае при использовании одного ключевого поля система сразу отобразит соответствие полей в таблице на вкладке Database Links и пометит «галочкой» на зеленом кружочке (рис. 11, a).

Все остальные поля будут помечены крестиком на красном кружочке, что означает, что связи пока не настроены.

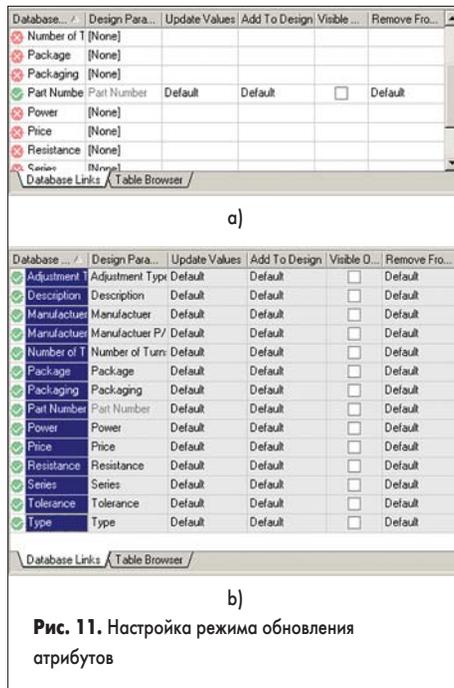


Рис. 11. Настройка режима обновления атрибутов

36. Для ручной настройки связей необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши на ячейке в столбце Design Parameters напротив нужного поля в столбце Database Field Name. В правой части ячейки появится значок вызова выпадающего списка.

37. Выберем из этого списка имя атрибута, который будет связан с данным полем. Красный крестик сменится зеленой галочкой.

Если имена полей и атрибутов совпадают, можно поступить проще:

38. Выберем одну из ячеек ненастроенных строк и нажмем комбинацию горячих клавиш CTRL+D. Красный крестик сменится зеленой галочкой, то есть поле настроится автоматически.

39. Аналогичным образом настроим все остальные строки. Группы строк можно выделять с помощью мыши, удерживая нажатой клавиши CTRL или SHIFT, но проще выбрать сразу все строки нажатием комбинации горячих клавиш Ctrl+A.

Во всех ячейках столбцов таблицы Database Links (кроме Visible) появятся значения Default, предписывающие выполнить действие по умолчанию (рис. 11, b). Посмотрим, что они означают.

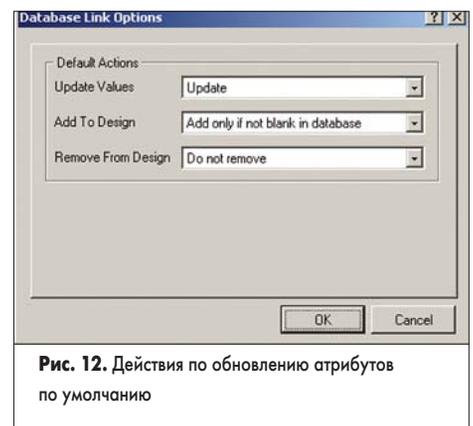


Рис. 12. Действия по обновлению атрибутов по умолчанию

40. Выполним команду меню Tools/Options. Откроется окно Database Link Options (рис. 12), в котором задаются действия по умолчанию (Default Actions).

41. В поле Update Values (обновлять значения) выберем опцию Update (обновлять).

42. В поле Add To Design (добавлять атрибут в проект) выберем опцию Add only if not blank in database (добавлять, если в базе данных он не пустой).

43. В поле Remove From Design (удалять атрибуты из проекта) выберем опцию Do not remove (не удалять).

Именно эти действия подразумеваются под словом Default в столбцах Update Values, Add To Design и Remove From Design на вкладке Database Links. «Галочка» в столбце Visible управляет отображением данного атрибута на схеме.

44. Выполним все аналогичные настройки для шести других таблиц базы данных.

45. Выполним команду меню File/Save и сохраним настроенный файл связи.

Теперь мы готовы к обновлению проекта с использованием информации из базы данных.

46. Вернемся в редактор схем и выполним команду меню Tools/Update from Database.

На экране появится окно Update from Database (рис. 13), в левой части которого приведен список использованных в проекте принципиальных схем, а в правой — список компонентов, приведенных на выделенных листах. Убирая «галочку» напротив имени схемы или компонента, можно исключить его из процесса обновления.

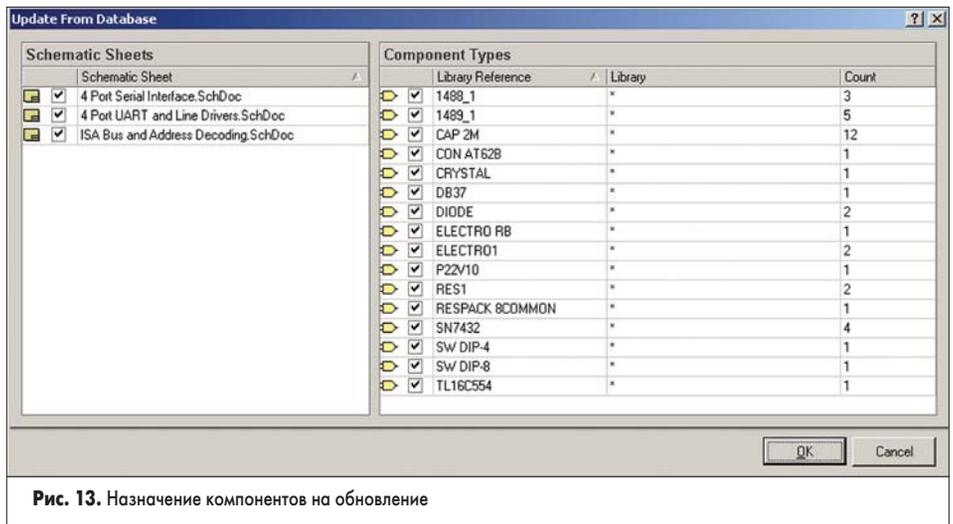


Рис. 13. Назначение компонентов на обновление

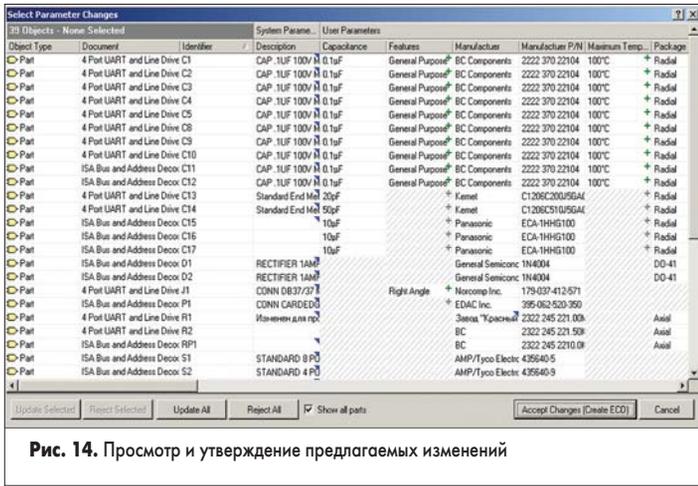


Рис. 14. Просмотр и утверждение предлагаемых изменений

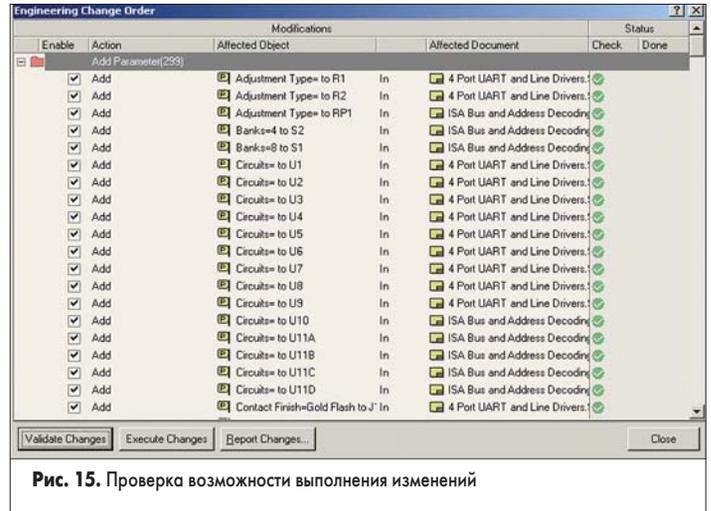


Рис. 15. Проверка возможности выполнения изменений

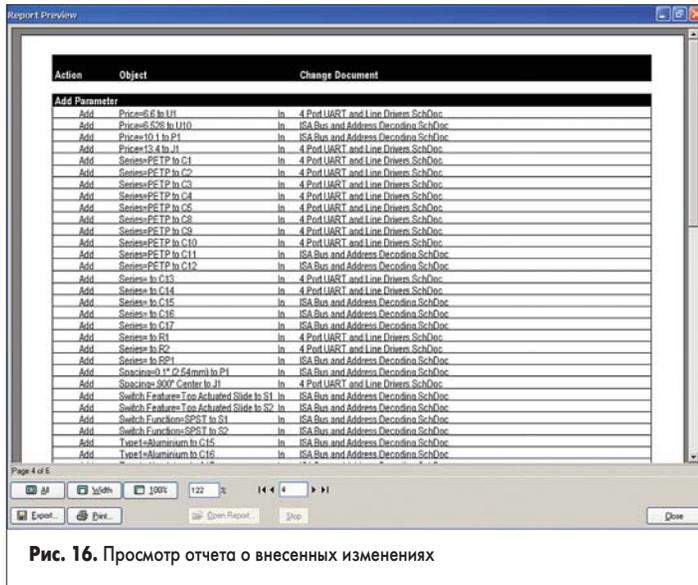


Рис. 16. Просмотр отчета о внесенных изменениях

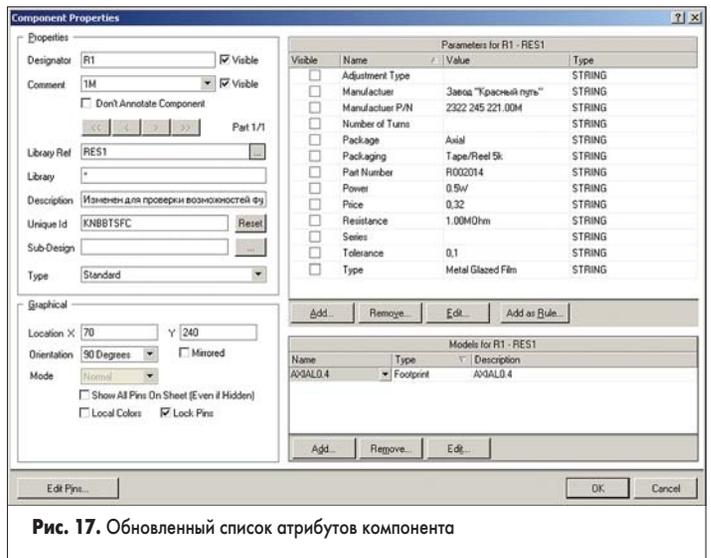


Рис. 17. Обновленный список атрибутов компонента

47. Включим все «галочки» напротив всех схем и компонентов и нажмем кнопку OK. В строке состояния появится сообщение Querying parameters from database (идет извлечение параметров из базы данных), а индикатор покажет ход выполнения этого процесса.

Как только процесс будет завершен, на экране появится диалоговое окно Select Parameters Changes (рис. 14). Серой штриховкой будут показаны ячейки, соответствующие отсутствующим атрибутам компонентов. Некоторые ячейки будут иметь в правом верхнем углу знак +, причем в некоторых случаях он будет зеленым, а в других — серым.

Серый знак +, как правило, ставится на серых штрихованных ячейках, и означает, что данное поле присутствует в базе данных, но оно пустое, и поэтому, согласно настройкам на вкладке Database Links файла связи, соответствующий текстовый атрибут компонента создаваться не будет. Если выполнить щелчок правой кнопкой мыши на такой ячейке, то в контекстном меню будет активна команда Update, позволяющая утвердить данное обновление.

Зеленый знак + сигнализирует о том, что обновление выявлено и будет выполнено по умолчанию (будет создан и заполнен новый текстовый атрибут). Отклонить создание атрибута можно, выполнив щелчок пра-

вой кнопкой мыши на ячейке и выбрав контекстном меню команду Reject.

Некоторые ячейки в правом верхнем углу имеют синий треугольник, сигнализирующий о том, что такой атрибут уже существует, но его содержимое будет обновлено. Отклонить обновление атрибута можно, щелкнув правой кнопкой мыши на ячейке и выбрав контекстном меню команду Reject.

48. В нашем случае мы поступим проще и нажмем кнопку Update All в нижней части окна Select Parameters Changes, тем самым подтвердим выполнение абсолютно всех найденных обновлений.

49. Нажмем кнопку Accept Changes (Create ECO) — появится окно Engineering Exchange Order, в котором будут перечислены все запланированные изменения.

50. Нажмем кнопку Validate Changes. Система Protel DXP проверит возможность выполнения перечисленных изменений и просигнализирует об этом зеленым значком в столбце Status Check (рис. 15).

51. Нажмем кнопку Execute Changes. Система выполнит все назначенные изменения и просигнализирует об этом зеленым значком в столбце Status Done.

52. Нажмем кнопку Report Changes. На экране появится окно Report Preview с отчетом о выполненных изменениях (рис. 16). При необходимости этот отчет можно сохранить в файл или распечатать.

53. Нажатием кнопок Close закроем окна Report Preview и Engineering Exchange Order.

54. В документе 4 Port UART and Line Drivers.schdoc найдем резистор R1 и выполним на нем двойной щелчок мышкой — откроется окно Component Properties, содержащее обновленный список параметров (рис. 17).

Легко видеть, что текстовых атрибутов у данного резистора стало больше, чем показано на рис. 5. То, что содержимое атрибутов также изменилось, легко проверить по параметрам Description и Manufacturer, которые сейчас содержат текст из отредактированной нами базы данных.

Пользователи, привыкшие работать на старых системах проектирования, могут задать вопрос, зачем нужен столь сложный механизм обработки атрибутов, когда можно было бы создать их заранее и сохранить в библиотеке?

Описанный механизм позволяет разгрузить библиотеки компонентов, а нужную для производства информацию загружать в проект только перед выпуском документации. В этом случае в проект по локальной сети попадает самая последняя информация из корпоративной базы данных, которую поддерживает бюро стандартизации. При этом сотрудники бюро стандартизации работают в привычной для них СУБД,

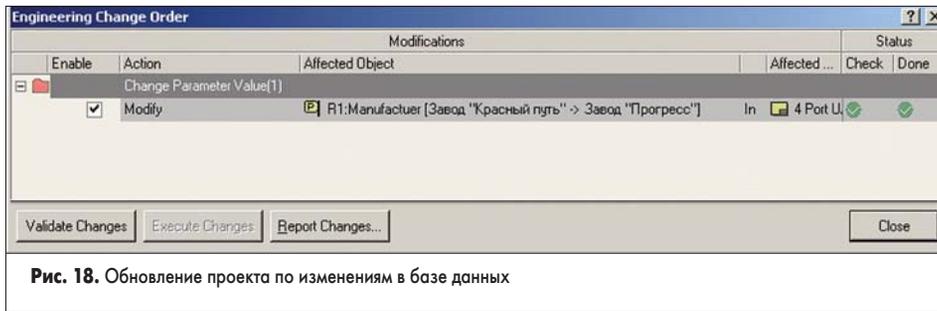


Рис. 18. Обновление проекта по изменениям в базе данных

и от них не требуется навыков работы с библиотеками системы Protel DXP, что особенно важно в случае использования на предприятии нескольких разных систем проектирования. Кроме того, с одной базой данных может одновременно работать несколько пользователей, а множественный доступ (и его разграничение) поддерживается средствами самой СУБД.

Смоделируем случай, когда в базу данных уже после выполнения обновления были внесены изменения, которые должны быть обязательно отражены в проекте.

1. Откроем имеющуюся у нас на компьютере базу данных Example database.mdb и ее таблицу Resistors.
2. Найдем знакомый нам резистор с обозначением Part Number R002014 и в графе производитель напротив него введем новый текст: Завод «Прогресс».
3. Вернемся в редактор схем системы Protel DXP команду меню Tools/Update from Database. На экране, как и раньше, появится окно Update from Database (рис. 13).
4. Проверим, что все «галочки» здесь включены, и нажмем кнопку ОК.

Система начнет выполнять загрузку информации из базы данных. Как только процесс будет завершен, на экране появится диалоговое окно Select Parameters Changes. Здесь будет присутствовать только одно выявленное изменение для резистора R1 документа 4 Port UART and Line Drivers.schdoc. Синий треугольник в правом верхнем углу соответствующей ячейки будет сигнализировать о том, что этот атрибут уже существует, но его содержимое будет обновлено согласно информации из базы данных.

5. Нажмем кнопку Accept Changes (Create ECO), появится окно Engineering Exchange Order, в котором будет записано всего одно запланированное изменение.
6. Нажмем кнопку Validate Changes. Система Protel DXP проверит возможность выполнения этого изменения и просигнализирует об этом зеленым значком в столбце Status Check.
7. Нажмем кнопку Execute Changes. Система выполнит назначенное изменение и просигнализирует об этом зеленым значком в столбце Status Done (рис. 18).
8. Нажатием кнопки Close закроем окно Engineering Exchange Order.
9. В документе 4 Port UART and Line Drivers.schdoc найдем резистор R1 и дважды щелкнем на нем левой кнопкой мыши. Легко видеть, что содержимое атрибута Manufacturer изменилось.

Таким образом, мы убедились, что описанный нами механизм позволяет выполнять синхронизацию разных проектов разных разработчиков в рамках локальной сети согласно самой последней информации из централизованной базы данных. Причем, возможности сетевого взаимодействия никак не связаны с типом используемой лицензии, которая может быть сетевой или локальной. В качестве ключевого поля может быть использована информация из одного или нескольких текстовых атрибутов компонента.

В нашем примере мы использовали готовый проект, в котором все компоненты уже имели текстовый атрибут Part Number, содержащий уникальное обозначение компонента. Рассмотрим случай, когда проект разрабатывается «с нуля» и ко всем компонен-

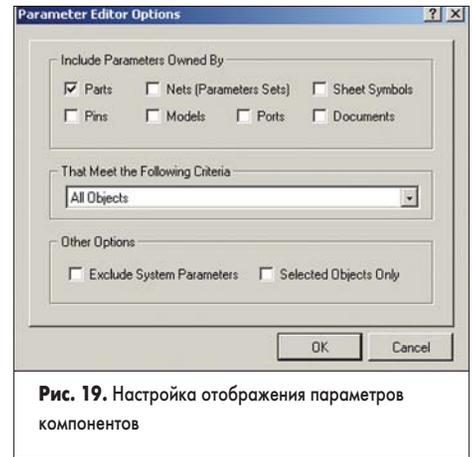


Рис. 19. Настройка отображения параметров компонентов

там необходимо добавить новый текстовый атрибут.

1. Вернемся в редактор схем с открытым документом 4 Port UART and Line Drivers.schdoc и выполним команду меню Tools/Parameter Manager.

2. Открывается диалоговое окно Parameter Editor Options Project (рис. 19), в котором включим «галочку» у типа объектов Parts (компоненты) и нажмем кнопку ОК.

Откроется диалоговое окно Parameter Table Editor for Project (рис. 20). Здесь в удобной для редактирования табличной форме представлены все текстовые атрибуты компонентов проекта. Каждому атрибуту соответствует отдельный столбец. Все столбцы разбиты на три категории: неизменяемые, содержащие тип объекта, имя документа и позиционное обозначение компонента; системные (System Parameters), которые есть у абсолютно всех компонентов; пользовательские (User Parameters), набор которых у разных компонентов может отличаться. В данном окне пользователь может удалять или добавлять только атрибуты (столбцы) из категории User Parameters. Удаление или добавление системных атрибутов невозможно, так как их набор фиксирован, поэтому пользователь может лишь менять их содержимое.

3. Нажмем кнопку Add Column. Откроется окно Add Parameters (рис. 21).
4. В поле Name введем имя атрибута «Идентификационный код», включим опцию Add to all object (добавлять ко всем объектам) и нажмем кнопку ОК.

В самом конце таблицы в категорию пользовательских параметров будет добавлен столбец с именем «Идентификационный код», в каждой ячейке которого будет стоять зеленый значок +.

5. Нажмем кнопку Accept Changes (Create ECO), появится окно Engineering Exchange Order, в котором будут перечислены выполняемые изменения.

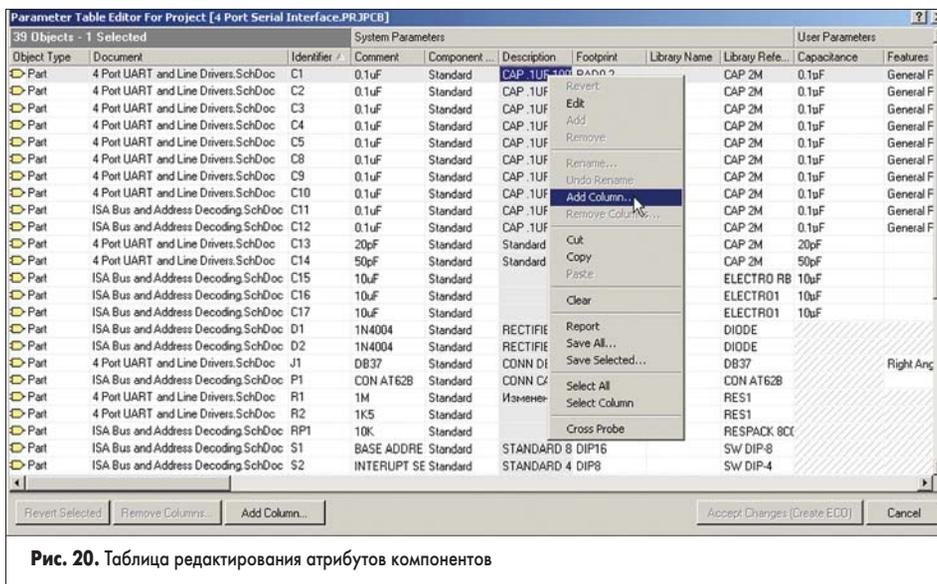


Рис. 20. Таблица редактирования атрибутов компонентов

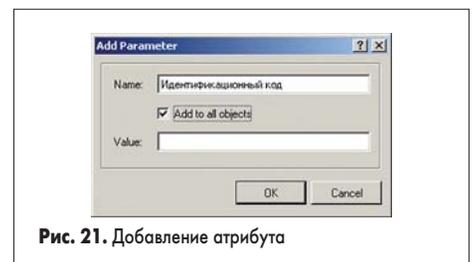


Рис. 21. Добавление атрибута

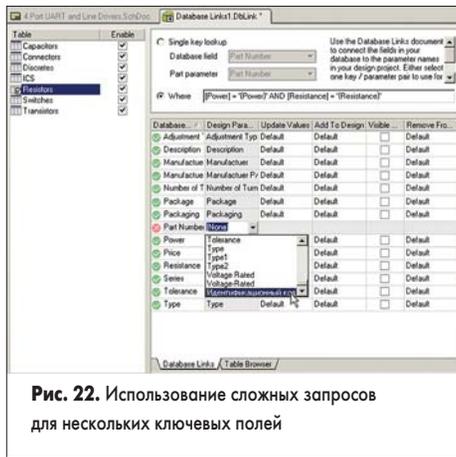


Рис. 22. Использование сложных запросов для нескольких ключевых полей

- Нажмем кнопку Validate Changes. Система Protel DXP проверит возможность выполнения этих изменений и просигнализирует об этом зеленым значком в столбце Status Check.
 - Нажмем кнопку Execute Changes. Система выполнит назначенное изменение и просигнализирует об этом зеленым значком в столбце Status Done.
 - Нажмем кнопки Close закроем окно Engineering Exchange Order.
 - В документе 4 Port UART and Line Drivers.schdoc дважды щелкнем левой кнопкой мыши на любом из компонентов. Легко видеть, что в списке параметров появится новый атрибут «Идентификационный код».
- Теперь этот параметр можно использовать в качестве ключевого при настройке связи с базой данных вместо параметра Part Number. Запрос для Single key lookup в этом случае будет иметь вид:

```
[Part Number] = 'Идентификационный код'
```

Однако в этом случае нам придется вручную найти в базе данных нужный компонент, выписать его код R002014 и вписать в поле компонента.

Существует другой способ настройки связи с базой данных, когда пользователь указывает, например, номинал и мощность резистора, а система автоматически находит в базе нужный компонент. Проверим этот способ.

- Перейдем к редактированию файла связи с базой данных и для таблицы Resistors вместо опции Single key lookup выберем опцию Where.

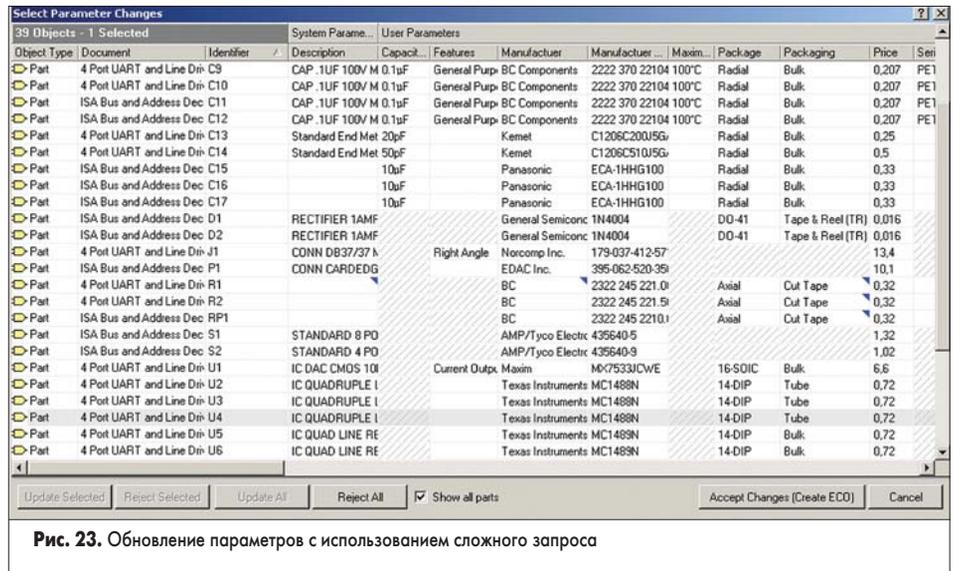


Рис. 23. Обновление параметров с использованием сложного запроса

- Текстовое поле запроса станет активным. Введем в это поле текст нового запроса, который автоматически находит в базе компонент, если у него заданы мощность и сопротивление:

```
[Power] = '[Power]' AND [Resistance] = '[Resistance]'
```

Обратите внимание, что после изменения типа запроса поле Part Number на вкладке Database Links потеряло свою связь с атрибутом компонента. Настроим эту связь вручную.

- Щелкнем левой кнопкой мыши на ячейке в столбце Design Parameters напротив поля Part Number в столбце Database Field Name. В правой части ячейки появится значок вызова выпадающего списка.

- Выберем из этого списка имя атрибута «Идентификационный код», который будет связан с данным полем (рис. 22). Красный крестик сменится зеленой галочкой.

- Вернемся в редактор схем и командой меню Tools/Update from Database запустим процесс обновления проекта.

- В окне Update from Database нажмем кнопку ОК.

Откроется диалоговое окно Select Parameters Changes, из которого следует, что обновление параметров планируется сделать для трех компонентов: R1, R2 и RP1 (рис. 23). Причем, для хорошо знакомого нам резистора R1 производства завода «Прогресс» найдено другое соответствие и в поле «Идентифи-

кационный код» предполагается внести не знакомый нам код R002014, а R001491.

Что же произошло? Система Protel четко обработала запрос, нашла в базе данных два резистора с номиналом 1,0 МОм и мощностью 0,5 Вт и выбрала из них первый по алфавиту (рис. 10, с). Чтобы система однозначно находила в базе данных нужную нам запись, необходимо усложнить запрос, введя в него условие проверки третьего ключевого поля. В нашем примере это может быть поле Packaging, содержащее описание способа упаковки резисторов.

- Последовательным нажатием кнопок Cancel прервем процесс обновления.

- Вернемся к редактированию файла связи с базой данных и в поле запроса введем новый текст:

```
[Power] = '[Power]' AND [Resistance] = '[Resistance]' AND [Packaging] = '[Packaging]'
```

- Вернемся в редактор схем и командой меню Tools/Update from Database запустим процесс обновления проекта.

- В окне Update from Database нажмем кнопку ОК.

Откроется диалоговое окно Select Parameters Changes, из которого следует, что система однозначно определила нужный тип трех резисторов R1, R2, RP1 и их код Part Number планирует внести в текстовый атрибут «Идентификационный код».

Итак, мы показали, что система Protel DXP обладает мощными функциями связи с внешними базами данных, как с использованием одиночных ключевых полей, так и сложных запросов на языке SQL. Возможна связь одного проекта с несколькими базами данных, причем разного формата, например, Microsoft Access или Excel. Базы данных могут содержать информацию на русском языке, и, что более важно, содержать поля, именованные на русском языке, например, «Сопротивление», «Мощность», «Допуск» и т. д. Система Protel DXP полностью поддерживает русский язык и позволяет организовать централизованное ведение баз данных компонентов согласно всем требованиям российских стандартов.