

Система *SPECCTRA* – опыт практической эксплуатации

Ю.М. Ёлшин (ОАО ГСКБ “Алмаз-Антей”, г. Москва)

SPECCTRA – это семейство инструментов для автоматизации проектирования печатных плат (**PCB**). Их можно использовать для автоматического и интерактивного проектирования сложных плат – как с компонентами поверхностного монтажа (*Surface Mount Device* – **SMD**), так и штыревыми (*Plated-Through Holes* – **PTH**).

Трассировщик *Cadence SPECCTRA Expert* широко применяется в качестве решения для автоматической и интерактивной трассировки печатных плат (**ПП**) и сложных интегральных схем. Мощный бессеточный алгоритм трассировщика, ориентированный на печатные платы высокой плотности, которые требуют сложных правил проектирования для высокоскоростных схем, позволяет эффективно использовать области для прокладки трасс. В результате увеличивается производительность и сокращается цикл проектирования.

Как показывает практика, несмотря на то, что система *SPECCTRA* используется конструкторами печатных плат уже длительное время, анализ материалов интернет-форума по САПР *P-CAD* показывает, что у российских пользователей

возникают существенные трудности при работе с трассировщиком в автоматическом режиме. Это происходит, скорее всего, из-за отсутствия доступного справочного материала. В настоящей статье сделана попытка частично восполнить его отсутствие, поскольку в ГСКБ “Алмаз-Антей” имеется полное описание возможностей *SPECCTRA* на русском языке, подготовленное автором статьи.

Трассировщик *SPECCTRA Expert* является составной частью *Allegro PCB*, пакета проектирования интегральных микросхем (*IC packaging*) и подсистемы контроля целостности сигналов (*SPECCTRAQuest signal integrity*). Кроме того, *SPECCTRA* интегрирована с наиболее популярными системами *PCB CAD*, включая серию продуктов *Cadence OrCAD Layout*.

Следует отметить, что *SPECCTRA* проверяет инструментальную лицензию и лицензионный набор (групповая лицензия) продуктов, перечисленных в табл. 1. Групповая лицензия может быть распределена между различным программным инструментарием (например, *Concept, OrCAD Capture, Allegro, OrCAD Layout*),

Табл. 1. Свойства для групповой и инструментальных лицензий

| Номер продукта | Наименование продукта | Строка свойств |
|------------------------|--|---|
| PS3000 | <i>PCB design studio with Concept HDL</i> | <i>PCB_design_studio SPECCTRA_PCB SPECCTRA_autoroute (optional) SPECCTRA_performance (optional)</i> |
| PS3010 | <i>PCB design studio with OrCAD Capture CIS</i> | <i>PCB_design_studio SPECCTRA_PCB SPECCTRA_autoroute (optional) SPECCTRA_performance (optional)</i> |
| PS3000, PS3010, PS3100 | <i>PCB design studio with Allegro Performance option</i> | <i>PCB_design_studio SPECCTRA_PCB SPECCTRA_HP SPECCTRA_autoroute (optional) SPECCTRA_performance (optional)</i> |
| PX3100 | <i>SPECCTRAQuest SI expert</i> | <i>SPECCTRAQuest_SI_expert SPECCTRA_expert</i> |
| PX3700 | <i>PCB design expert with Concept HDL</i> | <i>PCB_design_expert SPECCTRA_expert</i> |
| PX3710 | <i>PCB design expert with OrCAD Capture CIS</i> | <i>PCB_design_expert SPECCTRA_expert</i> |
| PX3900 | <i>PCB designer with Concept HDL</i> | <i>PCB_design_expert SPECCTRA_expert</i> |
| PX3910 | <i>PCB designer with OrCAD Capture CIS</i> | <i>PCB_design_expert SPECCTRA_expert</i> |
| PX4000 | <i>Advanced package engineer expert</i> | <i>adv_package_designer_expert SPECCTRA_expert</i> |
| PX4100 | <i>Advanced package designer expert</i> | <i>adv_package_designer_expert SPECCTRA_expert</i> |

работающими на одном и том же компьютере. В таблице описаны свойства для групповой лицензии и инструментальных лицензий, которые должны быть проверены для каждого продукта. При этом первые перечисленные строки свойства являются групповыми (*User/Host/Display*) лицензиями, а оставшиеся – инструментальными (рабочими) лицензиями.

Инструментарий *SPECCTRA* включает графический пользовательский интерфейс (*GUI*) и адаптивную *ShapeBased*-технологю. Планарные контактные площадки (**КП**), сквозные КП, трассы и другие схемные элементы моделируются как базисные графические образы. Каждый образ имеет ассоциированные с ним правила, которые заставляют проектировщика соблюдать ограничения (такие, как зазоры между компонентами), учитывать ориентацию, ширину трасс, тайминг (временные правила), электрические шумы и поперечные электрические наводки.

Достоинства *ShapeBased*-технологии:

- вместо дискретных моделей КП, пинов и переходных отверстий (**ПО**) в виде набора узлов сетки используются состоящие из геометрических примитивов модели в базе данных, что минимизирует требования к объему памяти;
- точное представление объектов позволяет максимально использовать доступное пространство и повысить плотность монтажа;
- поддерживаются сложные иерархические правила проектирования;
- отсутствие сетки (или минимальная сетка) для трасс и ПО максимизирует область трассировки, что может уменьшить число сигнальных слоев на плате.

Поскольку *SPECCTRA* привязывает проектные правила к геометрическим образам, нет необходимости управлять и применять правила через традиционную сеточную технологию.

Многие сеточно-ориентированные трассировщики пытаются закончить все соединения в каждом проходе трассировки, до полного её окончания, и не допускают конфликтов в виде пересечений и зазоров. Трассировщик *SPECCTRA* использует другой подход, называемый **адаптивной трассировкой**. Он пытается закончить все связи в первом проходе, допуская при этом конфликтные ситуации. Затем, делая дополнительные проходы, трассировщик уменьшает число конфликтов, используя для этого алгоритмы расталкивания и повторной прокладки. При этом система собирает информацию и изучает проблемные области, где имеются конфликтные ситуации. Процесс продолжается вплоть до полного исчезновения конфликтов. Хотя иногда требуется большое количество проходов, обычно трассировщик достигает высоких результатов за короткое время.

Перед началом трассировки необходимо считать данные о печатной плате, созданные в ходе проектирования средствами соответствующей САПР, или из предыдущих сессий *SPECCTRA*. Проектные данные состоят из одного или нескольких файлов, описанных в табл. 2.

Помимо этого можно использовать файл *Do* для управления последовательностью команд или файл *Did* (автоматическая регистрация команд в предыдущей сессии *SPECCTRA*).

Для прогона нескольких сессий предусмотрен пакетный режим. В начале каждой сессии *SPECCTRA* читает проектный файл и *Do*-файл. Для запуска пакетных сессий необходимо подготовить:

- проектный файл для каждой сессии;
- *Do*-файл для каждой сессии;
- пакетный (то есть командный) файл.

Пакетный файл содержит серию команд запуска *SPECCTRA*. Каждая строка начинается новой

Табл. 2. Файлы входных данных для трассировки

| Файл | Описание | Читается в процессе |
|-------------------------------------|--|----------------------------|
| Проектный файл (<i>.dsn</i>) | Содержит проектные данные, включая полную информацию о компонентах, связности (<i>netlist</i>) и проектных ограничениях. Проектный файл – это стартовая точка для всех работ в <i>SPECCTRA</i> | запуска (<i>Startup</i>) |
| Файл этажного плана (<i>.pln</i>) | Файл <i>Floor Plan</i> содержит проектные данные, созданные <i>SPECCTRA</i> . Включает в себя информацию о том, как компоненты должны быть сгруппированы для оптимального размещения | сессии (<i>Session</i>) |
| Файл размещения (<i>.plc</i>) | <i>Placement File</i> создает система <i>SPECCTRA</i> . Он содержит информацию о размещении компонентов (координаты, угол поворота, слой и т.п.) | запуска или сессии |
| Файл трассировки (<i>.rte</i>) | <i>Routes File</i> содержит информацию о трассах, которые были созданы в <i>SPECCTRA</i> | запуска или сессии |
| Сессионный файл (<i>.ses</i>) | <i>Session File</i> создает система <i>SPECCTRA</i> . Файл содержит записи почти всех команд и действий, которые были выполнены в ходе проектной сессии | запуска |
| Файл трасс (<i>.w</i>) | <i>Wires File</i> содержит информацию о трассах и ПО из предыдущей сессии <i>SPECCTRA</i> | запуска или сессии |

сессию. В качестве параметров для *specctra.exe* указываются проектный файл, *Do*-файл и нужные переключатели. Переключатель *-do* специфицирует *Do*-файл, который содержит команды для управления сессией. Переключатель *-quit* включается в каждую команду для завершения этой сессии после последней команды в *Do*-файле. Создается пакетный файл с помощью простого текстового редактора.

Основные свойства *SPECCTRA Expert*

Система реализована на платформах *Windows NT* и *Unix* и поставляется с лицензией, которая допускает работу на любой из них. Перечислим основные свойства трассировщика:

- Поддержка высокоскоростных правил и ограничений для задержек, поперечных наводок, контроль полных сопротивлений (импеданс), дифференциальных пар (параллельно прокладываемых цепей различных потенциалов), планирование топологии трасс, включая виртуальные контакты компонентов.
- Трассировка в реальном времени для выбранных цепей, с учетом свойств задержек, поперечных наводок, импеданса и дифференциальных пар.
- Автоматическое распределение цепей с автоматическим подключением дополнительных переходных отверстий.
- 45-градусная или ортогональная трассировка.
- Полная поддержка структуры *Microvia*.
- Рекурсивное средство введения фасок и получения результатов, похожих на ручные.
- Возможности планирования интерактивной трассировки и автоматического размещения компонентов.
- Автоматическое размещение компонентов на слое.
- Прямая интеграция с *Allegro*, *APD*, *SPECCTRAQuest*.

Высокоскоростная управляемая трассировка

SPECCTRA Expert обеспечивает возможность для управления трассируемыми цепями, таймингом, для вычисления поперечных наводок и задания специальных требований к топологии высокочастотных цепей. Требования к топологии цепей определяют последовательность трассировки выводов компонентов и ввод промежуточных точек подключения при Т-образной трассировке. Это позволяет разработчику применять ограничения к каждому сегменту цепи для очень точного контроля связей, даже для цепей с дискретными компонентами, такими как ограничивающие резисторы. Для каждой топологически зависимой цепи можно управлять длиной проводников, используя либо задержки, либо явное указание длины: можно задать минимальную или максимальную задержку или же длину проводника, обеспечив тем самым

поступление сигнала к приемнику в заданный отрезок времени.

Поперечные наводки ограничиваются путем задания правил геометрии и параллелизма. После определения допустимых зазоров и длин, трассировщик автоматически разведет параллельные линии, соблюдая заданную дистанцию. Можно задать таблицу зазоров или длин для более точной модели поперечных наводок. Уменьшить такие наводки помогают методы точного расчета геометрии или топологии проводников и изменение электрических свойств сигналов в таких проводниках. Рассчитываемые шумы связаны с проводниками на одном и том же слое или на смежных слоях. Суммарные шумовые поперечные наводки контролируются объединением шумовых правил, которые введены в электрические свойства проекта. Необходимо задать максимально допустимый суммарный шум поперечных наводок в милливольтгах для каждого класса цепей. В процессе работы трассировщик автоматически вычислит максимальный кумулятивный шум поперечных наводок. Это достигается посредством суммирования наводок от всех параллельных и тандемных (размещенных на смежных слоях) проводников.

SPECCTRA обладает достаточной гибкостью для удовлетворения специальных геометрических требований к высокоэффективному проекту. Для трассировки дифференциальных пар надо лишь задать зазор между двумя проводниками, и трассировщик сделает всё остальное. Он проведет трассы вокруг дополнительных ПО и обеспечит соответствие критериям минимальной длины трасс. Автоматическая раскладка цепей предназначена для уменьшения наведенных шумов на чувствительных цепях. Более того, к разным областям проекта можно применять разные правила проектирования. Например, можно специфицировать жесткие правила зазоров в зоне проводников и менее жесткие – в остальных зонах.

В высокочастотных проектах общим правилом является экранировка цепей. Экранировки должны регулярно подключаться к “земле”, чтобы эффективно поглощать случайные шумы. *SPECCTRA* не только автоматически генерирует экраны вокруг указанной цепи, но и “привязывает” экранирующую трассу к выбранному экрану путем введения переходных отверстий на указанных дистанциях.

Дополнительные физические правила проектирования

Расширенный набор правил в *SPECCTRA Expert* обеспечивает возможность контроля электрических свойств, отчетов о наводках, нарушениях правил задания длин трасс, как этого требуют современные большие проекты. Контроль электрических параметров включает в себя присвоение специальных правил к каждому элементу проекта. Определение правил

проектирования необходимо для класса электрических характеристик, уникальных для каждого слоя, типа ПО, толщин проводников, или набора соединений. При использовании этих свойств, более крупные ПО используются для увеличения текущей емкости, требуемой проводниками “земли” и питания. Это сохраняет пространство, поскольку большие ПО отводятся только для указанных сигналов. Кроме того, можно улучшить сравнительный импеданс сигналов, присваивая разные величины зазоров и толщины трасс на разных слоях. Внешние слои, в основном, имеют более высокий импеданс и требуют трасс большей толщины, чем внутренние. Подгонка импеданса может быть улучшена управлением трассировкой цепей на определенных слоях или парных слоях. В отчетах будет показан наведенный шум, подсчитанный на основе геометрии проводников и электрических свойств сигналов. Рассматриваются шумы, связанные с сигналами на одном и том же слое и на смежных слоях. Включаются в отчеты и возможные проблемы тайминга – они отображаются в виде нарушений минимальных и максимальных длин трасс. Вся эта информация записывается в файл и представляется графически.

Правила для *Microvia*

Многослойные проекты сегодня базируются на новых производственных методах получения малоразмерных плат. Одно из главных требований для этих новых технологий – поддержка сложных структур ПО. Соответствующая опция *SPECCTRA Expert* была разработана совместно с *Matsushita* для поддержки передовой *ALIVH*-технологии этой фирмы. Обеспечивается поддержка множеств ПО (группы или массива), что увеличивает текущую емкость широких трасс. Стековое размещение ПО позволяет “глухим” и замурованным ПО располагаться в той же X-Y-позиции на разных слоях платы. Разработан способ формирования ПО непосредственно под планарными КП, даже если эти КП расположены друг под другом на разных сторонах платы.

Расширенные правила для подложек

SPECCTRA Expert обеспечивает возможность манипулирования глухими и замурованными КП, взаимосвязанными трассами, ПО под планарными КП – основой для создания керамических печатных плат и микросхем.

Замурованные и глухие ПО автоматически применяются при необходимости перехода со слоя на слой. Предусмотрен контроль зазоров между ПО на одном слое или на смежных слоях. Возможно размещение ПО под планарной КП или в ближайшем сеточном узле. Контролируется размещение ПО под планарной КП – полностью или частично.

Поддержка “пучка трасс” (шин) позволяют автоматически управлять устройствами,

требуемыми такого способа прокладки трасс. Для этого необходимо определить тип и расположение шины и максимально допустимую дистанцию между ножками компонента и местоположением шины.

Учет характеристик проекта для оптимизации условий производства

Функциональность системы позволяет значительно облегчить изготовление продукта. Команда *spread* автоматически увеличивает расстояние между проводниками там, где это возможно. Система также автоматически создает фаски и вводит контрольные точки после окончания трассировки. Увеличение зазоров для проводников, необходимых для производства платы, достигается перекладкой трасс на другие позиции относительно ПО, КП и соседних трасс. Можно весьма гибко задавать требуемые зазоры или же применять значения по умолчанию. При создании фасок также можно задавать их размеры – на всех слоях, или на указанных; при этом можно указать единственное значение или ряд значений, и система автоматически подберет оптимальный размер внутри указанного ряда, начиная с самого большого.

Ввод контрольных точек

Процедура ввода контрольных точек автоматически добавляет ПО или КП. Тестовые ПО могут располагаться на первом, последнем или на обоих слоях платы, обеспечивая тем самым работу односторонних или же более сложных тестеров. Система обладает достаточной гибкостью для установки требуемых производством контрольных точек. Они могут быть фиксированными, что необходимо для работы некоторых недорогих тестеров. Ограничения на ввод контрольных точек включают в себя поверхность, размер ПО, сетку ПО и минимальное допустимое расстояние между центрами точек.

Авторазмещение

Программа автоматического бессеточного размещения (*ShapeBased*) позволяет иметь в проекте до 256-ти слоев для трасс и неограниченное число выводов у компонентов. Размеры разногабаритных компонентов не увеличиваются под типизированное значение. Можно размещать некоторые компоненты интерактивно, а остальные – в автоматическом режиме. Программа размещает компоненты на обеих сторонах платы одновременно с выравниванием планарных компонентов на разных сторонах платы.

Основные характеристики:

- Конкурентная трассировка до 256-ти сигнальных слоев;
- Реальная геометрическая трассировка;
- Трассировка на базе геометрических фигур или на базе сеточных структур;

- Стрингеры (отводы) от планарных компонентов к ПО;
- Трассировка с 45-градусными трассами;
- Трассировка в стиле “память” для планарных или штыревых компонентов;
- Многопроходное рекурсивное образование наклонных трасс и фасок;
- Задание типа ПО для цепи, для класса цепей;
- Задание свойств проводников и зазоров на слое;
- Задание свойств цепям на слое;
- Мягкие и жесткие ограждения для зон;
- Автоматическая раздвижка трасс;
- Автоматическая генерация контрольных точек;
- Задание глухих, замурованных и микро-ПО;
- ПО под планарными КП;
- Прокладка пучков трасс (шин) в автоматическом режиме;
- Автоматический свопинг для логических частей и выводов компонентов;
- Управление прокладкой параллельных трасс;
- Контроль суммарных наведенных шумов;
- Управление минимальными и максимальными задержками прохождения сигнала и контроль длины трассы;
- Управляемая пользователем методология удлинения трасс;
- Автоматическая прокладка трасс как дифференциальных пар;
- Возможность задания правил работы и зазоров в выделенной зоне;
- Экранирование цепей;
- Поддержка виртуальных выводов компонентов для контроля топологии.

Привязка SPECCTRA к системе P-CAD

Для привязки программных продуктов линейки PSD 15.x компании Cadence Design System к системе P-CAD 200x необходимо внести изменения в файл *Pcb.ini*, который находится в

папке с установленными файлами P-CAD (по умолчанию – *C:\Program Files\P-CAD200x*).

Надо открыть этот файл текстовым редактором и найти в нём с помощью поиска со словом SPECCTRA раздел [CCTRoute]. Далее необходимо заменить пути в строках, начинающихся с команд RouterParams и RouterExe, на новые – соответствующие дислокации программных продуктов Cadence.

В результате (если продукты Cadence были установлены в папки по умолчанию) эти строки должны выглядеть следующим образом:

- RouterParams=-o C:\Cadence\PSD_15.0\tools\SPECCTRA\bin\sp.log -noclean -ii -quit
- RouterExe=C:\Cadence\PSD_15.0\tools\SPECCTRA\bin\SPECCTRA.exe

Общие сведения о системе SPECCTRA

Это семейство программ для проектирования печатных плат можно использовать в интерактивном и в автоматическом режиме на таких этапах работы, как размещение компонентов и трассировка сложных, насыщенных плат с компонентами с планарными и сквозными выводами.

Как уже упоминалось, инструментарий SPECCTRA базируется на универсальном графическом пользовательском интерфейсе и технологии бессеточного проектирования Shape-Based. Планарные КП, сквозные КП, трассы и другие элементы печатной платы моделируются точными геометрическими образами, к которым могут привязываться правила проектирования. Это позволяет учитывать проектные ограничения – такие, как дистанция между компонентами и их ориентация, ширина трасс и зазоры между ними, характеристики временных задержек в цепях, взаимные шумовые и поперечные наводки в цепях.

Взаимодействие SPECCTRA и САПР ПП
SPECCTRA работает в связке с любой ECAD-системой пользователя как инструмент

Табл. 3. Текстовые файлы для обмена информацией

| Тип файла | Наименование | Описание |
|------------------------------|----------------|--|
| Проектный файл | <filename>.dsn | Создается путем трансляции проектной информации из САПР ПП. Содержит данные о контуре платы, определения слоев, определение стеков КП, описания компонентов, список цепей, правила проектирования и заранее проложенные трассы |
| Файл сессии | <filename>.ses | Создается системой SPECCTRA. Содержит указатель на исходный проектный файл, данные о размещении и трассах, о логических секциях и подсекциях компонентов, пинах компонентов и пр. |
| Файл результатов трассировки | <filename>.rte | Создается системой SPECCTRA и содержит данные о проложенных трассах. Эти данные могут быть переданы в САПР ПП или же использованы системой SPECCTRA |
| Файл трасс | <filename>._w | Создается системой SPECCTRA и содержит данные трассировки, которые могут быть считаны только системой SPECCTRA |

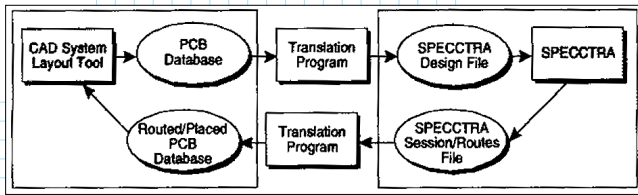


Рис. 1. Схема взаимодействия САПР ПП и SPECCTRA

для трассировки и размещения. После создания данных в САПР ПП, они транслируются в формат файла проектирования (*SPECCTRA Design File*), который содержит всю физическую информацию, необходимую системе *SPECCTRA* для решения задач размещения и трассировки. В этот файл переходят все правила проектирования, которые назначены в пользовательской САПР ПП.

После окончания работы системы *SPECCTRA* надо транслировать файл трасс или сессионный файл в формат САПР ПП (рис. 1).

Все файлы, которые *SPECCTRA* читает или записывает, являются простыми текстовыми файлами (табл. 3). Многие САПР ПП имеют встроенные средства для обмена данными с системой *SPECCTRA*.

Некоторые известные САПР ПП для обмена данными с системой *SPECCTRA* нуждаются в промежуточных текстовых файлах (табл. 4), другие читают и записывают файлы *SPECCTRA* непосредственно.

Проектный файл SPECCTRA

Файл проекта (*design file*) системы *SPECCTRA* – это текстовый файл в кодировке *ASCII*, содержащий список цепей, контур платы, запретные зоны и все библиотечные компоненты. Сюда же включены все правила и ограничения для размещения и трассировки, установленные в пользовательской САПР. Если размещение делать не нужно, то в систему *SPECCTRA* можно передать данные о размещенных компонентах – для выполнения трассировки.

Проектный файл имеет пять основных разделов, или секций (табл. 5):

- структура – описание слоев, границы ПП, идентификаторы КП в стеке, правила проектирования и определения дискретных сеток;
- размещение компонентов – позиции компонентов и позиционные обозначения;
- библиотека с образами (имиджами) компонентов и определением стеков КП;
- таблица связей – перечень соединений;
- предварительно проложенные соединения (если таковые были проложены в вызывающей САПР).

Помимо основных данных, в файл могут включаться и дополнительные. Подробно структура проектного файла описана в эксплуатационной документации *SPECCTRA – Design Language Reference* (язык описания проекта).

Так как проектный файл является текстовым, его можно просмотреть любым текстовым редактором, либо в окне для отчетов в системе *SPECCTRA (Report Design)*. Отметим

Табл. 4. Промежуточные файлы для некоторых САПР ПП

| САПР ПП | Промежуточный файл | Содержимое |
|----------------------|--------------------------------------|---|
| <i>Allegro</i> | <i>Board (brd)</i> | Все проектные данные о ПП, включая цепи, свойства, компоненты, стеки КП, предварительно проложенные трассы, контур платы и правила проектирования |
| <i>Board Station</i> | <i>Tech.tech</i> | Определения слоев и правила проектирования |
| | <i>Geoms_ascii</i> | Определения корпусов, контур платы, запретные и разрешенные зоны, правила |
| | <i>Nets.nets</i> | Список цепей |
| | <i>Traces.traces</i> (опция) | Предварительно проложенные трассы, информация о заливке областей, и спецификации для технологии высокочастотного проектирования |
| | <i>Gates.gates</i> (опция) | Секции и пины вентилях (логических секций) для их своппирования (взаимозамены) |
| | <i>Pins.pins</i> (опция) | Свойства пинов компонентов |
| | <i>Testpoints.testpoints</i> (опция) | Информация о контрольных точках |
| | <i>Mfg/neutral_file</i> (опция) | Координаты пинов |
| <i>PADS</i> | <i>ASCII output</i> | Все проектные данные о плате |
| <i>PCAD</i> | <i>ASCII-файл в формате pcb</i> | Все проектные данные о плате |
| <i>Protel</i> | <i>ASCII-файл Protel</i> | Система записывает проектный файл системы <i>SPECCTRA</i> и читает файлы трасс и сессионный файл системы <i>SPECCTRA</i> |

Табл. 5. Структура проектного файла

| Секция | Содержимое |
|------------------|--|
| <i>Structure</i> | Единицы измерения, определения слоев, границы платы, силовые слои, правила для регионов, запретные зоны на плате, идентификаторы переходных отверстий, глобальные правила проектирования (установки), определения дискретных сеток |
| <i>Placement</i> | Описания корпусов компонентов (включая имена корпусов), позиционные обозначения, координаты базовых точек, слои размещения и ориентация |
| <i>Library</i> | Описания компонентов, которые включают имена пинов и их координаты, определения пинов и стеки контактных площадок |
| <i>Network</i> | Список цепей (имена цепей и список пинов в цепи), определения классов цепей, “класс-класс”, групп, дифференциальных пар, а также правила проектирования для цепей, классов или групп |
| <i>Wiring</i> | Информация о заранее проложенных трассах |

попутно, что **редактировать проектный файл не рекомендуется**. Большинство трансляторов использует проектный файл для пополнения своей базы данных информацией о трассах после работы системы *SPECCTRA*, поэтому любое изменение этих данных приведет к их рассинхронизации.

Команды управления *SPECCTRA*

Программы системы *SPECCTRA* управляются командами, которые устанавливают правила проектирования и условия размещения и трассировки. Вводить команды можно различными способами:

- с помощью мышки выбрать команды из меню и диалоговых боксов;
- печатать команды на клавиатуре;
- запускать *Do*-файла, который содержит последовательность команд.

На начальном этапе освоения системы *SPECCTRA* лучше задействовать графический интерфейс, так как выбор из меню генерирует синтаксически корректную команду. Поможет и анализ *Did*-файла или выводного окна, где записаны команды и виден их синтаксис. В *Did*-файле фиксируются все команды, использованные в течение сессии, и его можно брать за образец при создании *Do*-файла, который служит для управления процессом размещения и трассировки.

Работа с помощью *Do*-файла является предпочтительной при трассировке в *SPECCTRA*. Понимание сути команд в базовом *Do*-файле и позволяет пользователю составлять свои собственные файлы, путем его модификации.

Одной из наиболее используемых является команда “умной трассировки” – *smart_route*. Она выполняет трассировку в автоматическом режиме и, как правило, добивается 100%-го результата.

При необходимости применения команды сразу для большого числа цепей, классов цепей, групп отрезков цепей, можно использовать специальные символы, условно заменяющие любые

другие символы в их наименованиях (метках). Символ * (звездочка) заменяет собой любое число символов в метке, а “знак вопроса” – только один символ. Например, команда *protect net sig?* служит для защиты цепей, имена которых начинаются с *sig* и состоят из четырех символов. В свою очередь, команда *protect net sig** защищает все цепи, метки которых начинаются с *sig*.

Автотрассировка

Набор команд автотрассировки (*AutoRoute*) производит автоматическую прокладку трасс и ввод ПО в проекте. При этом поддерживается:

- перекладка и повторная прокладка трасс с проталкиванием и обходами – для максимально плотной трассировки;
- трассировка на дискретных сетках и бессеточная;
- переопределение сеток для трасс и ПО в процессе трассировки;
- формирование стрингеров к пинам компонентов или к ПО;
- трассировка жгутов;
- трассировка с учетом иерархии правил проектирования;
- оптимизация результатов трассировки для облегчения изготовления ПП;
- диагональная прокладка трасс (угол 45 градусов);
- контроль размеров стрингеров;
- упорядоченное специальное расположение пинов;
- отдельная обработка силовых и “земляных” слоев металлизации.

Кроме того, автотрассировщик поддерживает расширенный набор правил проектирования, проектирование гибридных схем и возможность учета временных факторов для высокочастотных цепей.

Расширенный набор правил (*ADV*):

- Определение сигнальных слоев;
- Привязка ПО к цепям и классам цепей;
- Установка зазоров и ширин трасс на слое;

- Привязка цепей и классов цепей к слою;
- Привязка к слою факторов времени и длин проводников.

Проектирование с учетом удобства при производстве плат (DFM):

- Равномерное распределение трасс на плате;
- 90- или 45-градусные изгибы трасс;
- Автоматическая генерация контрольных точек;
- Учет правил проектирования контрольных точек.

Гибридное проектирование (HYB):

- Управление введением “глухих” и межслойных ПО;
- Управление вводом ПО под планарными КП;
- Автоматический контроль взаимосвязанных трасс.

Правила проектирования высокочастотных цепей (FST):

- Контроль поперечных наводок при параллельном расположении проводников, тандемные слои и правила суммирования шумов;
- Временной контроль на максимум и минимум, сравнение правил для длин и задержек для цепей;
- Автоматическая прокладка дифференциальных пар;
- Контроль правил и зазоров для областей на плате;
- Экранирование цепей;
- Виртуальный и топологический контроль;
- Закругление изгибов трасс;
- Управление размерами “антенн” для контрольных точек.

Оценка результатов размещения

Оценить результаты размещения компонентов можно путем анализа статусного отчета, который содержит данные о сессии, историю всех автоматических операций размещения, список улучшенных “манхэттенских длин” и затраченное процессорное время на каждую операцию размещения.

Статусный отчет можно использовать для обзора процесса размещения компонентов и выявления улучшений, полученных в каждой операции. Например, колонка с заголовком “список манхэттенских расстояний” отображает расстояния, полученные после каждой команды размещения; расстояния вычисляются для всех размещаемых компонентов.

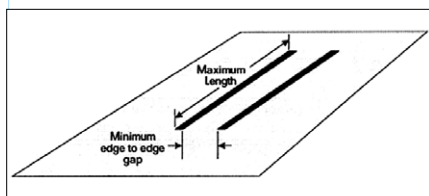


Рис. 2. Задание геометрических характеристик сегмента трасс на одном слое

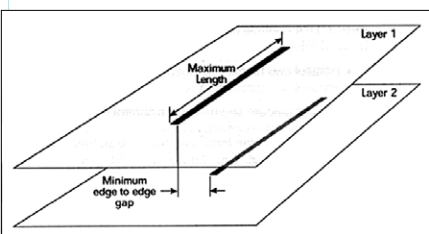


Рис. 3. Задание геометрических характеристик сегмента трасс на смежных слоях

Ошибки размещения возникают:

- при размещении компонентов вне контура платы или зоны, определенной для размещения;
- если расстояния между компонентами меньше, чем установлено правилами;
- при перекрытии запретных зон;
- при размещении компонентов на запрещенной стороне платы или в запретной зоне;
- при неверной ориентации компонентов;
- если в заданной области ПП превышены ограничения по рассеиваемой мощности или по высоте компонентов.

Трассировка двухслойных плат

Встроенная стратегия автотрассировщика прекрасно подходит для двухслойных плат. Однако наилучшие результаты можно получить только при оптимальном размещении, особенно для плат с планарными компонентами (элементы, монтируемые на поверхность). Для двухслойных плат нельзя использовать команду *fanout*.

Вообще, лучшие результаты можно получить, если позволить автотрассировщику вводить столько ПО, сколько требуется. При этом надо делать много проходов, особенно если видна тенденция уменьшения числа конфликтов. Типичное значение – 200÷300 проходов. Каждый проход трассировщика на таких платах не занимает много времени.

Поперечные наводки и параллельные шумы SPECCTRA управляет поперечными наводками и наведенными шумами с помощью правил

двух типов:

- 1 Параллельный и тандемный сегмент;
- 2 Параллельный и тандемный шум (нерегулярные флуктуации передаваемого сигнала).

Правила первого типа контролируют поперечные наводки (нежелательное появление сигнала в соседних проводах) между индивидуальными сегментами трасс цепей. Правила второго типа контролируют кумулятивные шумы между парами цепей.

Эти правила можно установить для слоя, класса и цепи. Поперечные наводки на уровне отрезков цепей могут контролироваться только на уровне сегментов. Правила наводок между параллельными сегментами контролируют параллелизм между сегментами трасс на одном и том же слое. Для этого можно задать значения для зазоров и длин (рис. 2).

Правила наводок между тандемными сегментами контролируют

параллелизм на смежных слоях (рис. 3); силовые слои это не затрагивает.

Контроль наведенных шумов

Наведенные (парные) шумы между трассами на ПП могут вызывать вредные функции или нарушения функционирования. Для минимизации и контроля наведенных шумов в процессе автотрассировки, необходимо специфицировать максимальный шум, который может выдержать приемная цепь. Чтобы определить, будут ли существовать условия излишнего шума, вклады всех источников шумов суммируются. Если общий шум превосходит специфицированный максимум, то это считается нарушением правила.

Некоторые цепи шумят больше, чем другие, но в целом источником шумов является любая цепь. В этом смысле, каждая цепь вносит свой вклад в сумму шумов, наводимых на параллельную приемную цепь, как функция от зазора.

SPECCTRA позволяет специфицировать эти факторы в глобальных установках правил (на уровне ПП в целом) для класса, цепи и отрезка. Трассировщик может уменьшить и даже исключить как внутренние, так и внешние наведенные шумы.

Сумма наведенных шумов в приемной цепи определяется следующей формулой:

$$U_w = \Sigma (L \times \text{вес (зазора)} \times (\text{фактор слоя})),$$

где L – длина цепи, в которой появляются наведенные шумы.

Вес зазора – это фактор пропорциональности шумов, генерируемых передающей цепью на единицу длины в специфицированном зазоре.

Фактор слоя объединяет внутрислойные или межслойные значения, зависящие от характеристики ПП. Эти значения можно специфицировать в виде матрицы слоев.

Приведенное выражение показывает, как вычисляется шум в приемной цепи от одного или нескольких источников. *SPECCTRA* вычисляет шумы на приемной цепи от соседних трасс. Учитывается каждая трасса – посредством умножения веса её шума на параллельную или тандемную длину. Рис. 4 иллюстрирует нарушение по наведенным шумам, где суммарный наведенный шум на цепи *CK11* равен 819.6 мВ, в то время как правило устанавливает $max_noise = 600$ мВ.

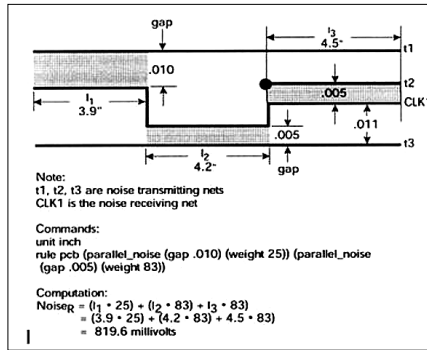


Рис. 4. Вычисление шумов в приемной цепи

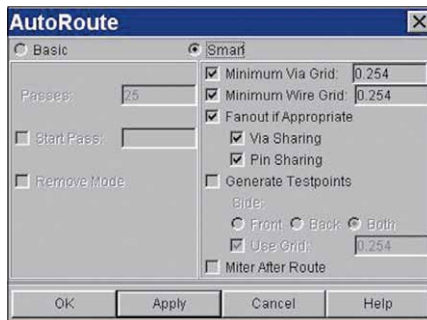


Рис. 5. Задание параметров трассировки

Трассировка дифференциальных пар

Дифференциальные пары являются одной из наиболее сложных для формирования топологий. Эта проблема затронута в следующих основных разделах документации на систему:

- Стрингеры (*Fanout*).
- Комплектование различных цепей (*Gathering the nets together*).
- Управление длинами цепей (*Controlling uncoupled length*).
- Управление фазовыми несоответствиями (*Controlling phase mismatches*). Крайне редко случается, чтобы пины располагались точно на одной линии и рядом, где они параллельны и не требуют согласования подводящих трасс. Обычно также бывает необходима и фазовая компенсация.
- Прохождение через другие пины (*Getting through other pins*). Это происходит, когда геометрия платы не позволяет паре трасс сохранять взаимное расположение на всём пути, и они должны либо разойтись, обойдя препятствие, либо продолжиться на разных слоях.
- Выход из затруднительных ситуаций (*Turning corners differentially*). Трассы должны сменить слои и использовать для этого переходные отверстия различного вида.
- Цепи больших размеров (*Extended nets*).

Завершение трассировки

Использование *Do*-файлов для автоматического выполнения процедур размещения и трассировки из среды *PCAD 2000* отнюдь не препятствует переходу к интерактивной работе непосредственно в системе *SPECCTRA*. При этом можно остановить выполнение *Do*-файла, оценить полученные результаты, при необходимости оптимизировать что-то вручную, после чего продолжить работу *Do*-файла.

Чтобы работа *Do*-файла остановилась, надо ввести в него отдельной строкой команду *STOP*. По этой команде *SPECCTRA* прекращает автоматическое выполнение команд, а в строке статуса появляется сообщение *IDLE*, после чего пользователь может производить любые интерактивные операции непосредственно в системе *SPECCTRA*. Для продолжения работы достаточно выдать команду *AutoRoute/Route*. В появившемся окне *AutoRoute* (рис. 5) можно установить (при необходимости) новые значения

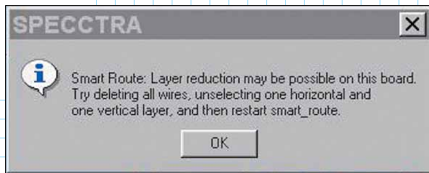


Рис. 6. Сообщение о возможности уменьшения числа слоев для трассировки

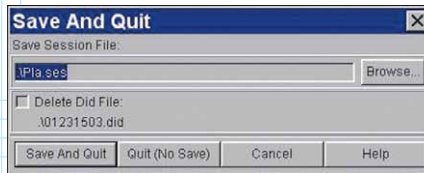


Рис. 7. Ввод команд прекращения трассировки

плат. Кроме того, в настоящее время разработаны предложения о создании российской САПР с предварительным названием *RUS-CAD*. Информация о её структуре и функциональных возможностях будет опубликована в журнале “Компоненты и технологии”.

параметров трассировки, после чего нажать клавишу **OK**. Трассировщик продолжит свою работу.

Следует отметить, что при выборе режима работы трассировщика *Smart* может появиться предупреждение (рис. 6). Подпрограмма *Smart Route* сообщает, что для данной платы число заданных слоев избыточно и его можно уменьшить. Для этого рекомендуется удалить все проложенные трассы, переустановить направление трасс на оставшихся слоях и затем перезапустить *Smart Route*. Такое же сообщение трассировщик может выдать в процессе работы и без прерывания, если обнаружит явный избыток заданных слоев.

Кроме того, вообще прервать работу системы *SPECCTRA* можно в любое время командой *File/Quit*, после чего появляется окно прерывания, показанное на рис. 7.

Заключение

Практическая работа с программой *SPECCTRA* показала высокую эффективность процедур авторазмещения и автотрассировки. Было обработано несколько сотен печатных плат различного типа, таких как ДПП, МПП и объединительные платы больших размеров (габариты таких плат достигают 500×500 мм), с высокой плотностью трасс и корпусами микросхем типа *ALTERA* и *BGA*. Случаи неполной растрассированности были достаточно редкими.

Потенциальным пользователям систем *P-CAD 200x* можно рекомендовать интенсивно использовать систему *SPECCTRA*. Имеется **полное справочное руководство** по работе с программой *SPECCTRA Expert Systems V15.0* на русском языке в переводе Ёлшина Ю.М. (свыше 650-ти страниц), которое можно запросить в ОАО ГСКБ “Алмаз-Антей”.

При этом следует отметить, что существует российская система *ТороR* (руководитель разработки – Лузин С.Ю.), которая выполняет многие задачи размещения и трассировки не менее, а зачастую и более эффективно, чем *SPECCTRA*. Объединение этой разработки и пакета ГРИФ-4 (программно-информационная надстройка для *P-CAD 200x*) позволяет получить эффективный отечественный инструмент для широкого класса проектов печатных

Примеры Do-файлов трассировки и размещения

Команда автотрассировки

Команды трассировки и оптимизации (очистки)

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются комментарием
# Команды инициализации процесса
# Эти команды устанавливают условия работы (окружение)
status_file route.sts
unit mil
# Здесь размещены команды предтрассировочных установок:
rule net NETA (width 12) (clearance 10)
define class C1 (CLK1 CLK2 CLK3 CLK4)
rule class C1 (width 12) (clearance 8)
#Стандартные команды трассировки
route 25
clean 2
route 50 16
clean 4
```

Пример умной трассировки

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются комментарием
# Команды инициализации процесса
status file route.sts
# Здесь размещены команды предтрассировочных установок:
unit mil
rule net NETX (width 15)(clearance 12)
rule layer s1 s4 (width 8)(clearance 7)
define class C1 (sig1 sig2 sig3 sig4)
rule class C1 (width 12) (clearance 8)
# Стандартные команды трассировки
smart_route
```

Команда задания правил

Пример задания класса

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются комментарием
# Команды инициализации процесса
# Эти команды устанавливают условия работы (окружение):
status_file route.sts
```

```
unit mil
# Эти команды устанавливают условия работы (:):
define (class CLK clka clkb clkc clkd)
rule class CLK (clearance 12 (type wire_wire))
circuit class CLK (priority 255)
# Стандартные команды трассировки
smart_route
```

Пример задания дифференциальной пары

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются
комментарием
# Команды инициализации процесса
# Эти команды устанавливают условия работы (:):
status_file route.sts
unit mil
# Здесь размещены команды предтрассировочных
установок:
define (pair (nets CLK1 CLK 2 (gap 5)))
define (pair (nets CLK4 CLK5 (gap 7)))
# Стандартные команды трассировки
smart_route
```

Пример задания дифференциальных пар и экранировки земель

```
bestsave on bestsave.w
status_file status.sts
#
unit mil
#
grid smart (wire 1) (via 1)
#
rule pcb (clear 8) (width 8)
#
define (pair (nets dp1a dp1b))
define (pair (nets dp2a dp2b (gap 10)))
define (pair (nets dp3a dp3b (gap 6)))
define (pair (nets dp4a dp4b (gap 12)))
define (pair (nets dp5a dp5b))
#
define (class CLOCK clocka clockb clockc clockd)
circuit class CLOCK (shield on (use_net GND))
#
bus diag
#
route 25 1
clean 2
route 50 16
clean 4
#
write wires final.w
write route final.rte
report status final.sts
```

Команды создания стрингеров (*fanout*)

Пример стрингера с указанием типа пина

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются
комментарием
```

```
# Команды инициализации процесса
status file route.sts
unit mil
# Здесь размещены команды предтрассировочных
установок:
define (class CLK clka clkb clkc clkd)
rule class CLK (clearance 12 (type wire_wire))
circuit class CLK (priority 255)
# Стандартные команды трассировки
fanout (pin_type power)(direction in)
smart_route
```

Стрингеры максимальной длины

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются
комментарием
# Команды инициализации процесса
status file route.sts
unit mil
# Здесь размещены команды предтрассировочных
установок:
define (class CLK clka clkb clkc clkd)
rule class CLK (clearance 12 (type wire_wire))
circuit class CLK (priority 255)
# Стандартные команды трассировки
fanout 5 (max_len 200)(pin_type power)(direction
in_out)
smart_route
```

Пример коротких трасс отвода

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются комментарием
# Команды инициализации процесса
status file route.sts
# Здесь размещены команды предтрассировочных
установок:
unit mil
define (class CLK clka clkb clkc clkd)
rule class CLK (clearance 12 (type wire_wire))
circuit class CLK (priority 255)
# Стандартные команды трассировки
fanout (direction out)
smart_route
```

Пример установки отвода максимальной длины

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются
комментарием
# До файл общего назначения
# Команды инициализации процесса
status file route.sts
unit mil
# Здесь размещены команды предтрассировочных
установок:
define (class CLK clka clkb clkc clkd)
rule class CLK (clearance 12 (type wire_wire))
circuit class CLK (priority 255)
# Стандартные команды трассировки
fanout 5 (max_len 200)(pin_type power)(direction in_out)
smart_route
```

Пример контроля параллельных шумовых наводок

```
bestsave on bestsave.w
status_file status.sts
#
unit mil
#
grid wire 1
grid via 1
#
rule pcb (max_noise 700)
#
rule pcb (parallel_noise (gap 6) (weight .175))
rule pcb (parallel_noise (gap 8) (weight .125))
rule pcb (parallel_noise (gap 12) (weight .08 ))
#
rule pcb (tandem_noise (gap 0) (weight .2 ))
rule pcb (tandem_noise (gap 2) (weight .13))
rule pcb (tandem_noise (gap 4) (weight .07))
#
define (class ECL ecl1 ecl2 ecl3 ecl4 ecl5 ecl6 ecl7 ecl8)
rule class ECL (max_noise 600)
rule class ECL (parallel_noise (gap 6) (weight .23))
rule class ECL (parallel_noise (gap 8) (weight .14 ))
rule class ECL (parallel_noise (gap 12) (weight .9 ))
rule class ECL (reorder daisy)
#
define (class TTL ttl1 ttl2 ttl3 ttl4 ttl5 ttl6 ttl7 ttl8)
rule class TTL (max_noise 550)
rule class TTL (parallel_noise (gap 6) (weight .21))
rule class TTL (parallel_noise (gap 8) (weight .13))
rule class TTL (parallel_noise (gap 12) (weight .8))
rule class TTL (reorder daisy)
#
define (class_class (classes ECL ECL )
  (rule (parallel_noise (gap 6) (weight .16))
    (parallel_noise (gap 8) (weight .12))
    (parallel_noise (gap 12) (weight .9)) ))
#
define (class_class (classes TTL TTL )
  (rule (parallel_noise (gap 6) (weight .14))
    (parallel_noise (gap 8) (weight .11))
    (parallel_noise (gap 12) (weight .7)) ))
#
define (class_class (classes ECL TTL )
  (rule (parallel_noise (gap 6) (weight .12))
    (parallel_noise (gap 8) (weight .9))
    (parallel_noise (gap 12) (weight .6)) ))
#
bus diag
#
route 25 1
clean 2
route 50 16
clean 4
#
write wires final.w
write route final.rte
report status final.sts
```


Пример установки правил слоев и длин для дифференциальных пар

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются комментарием
# Команды инициализации процесса
# Стандартные команды трассировки
# Эти команды устанавливают условия работы (окружение)
status_file route.sts
unit mil
#Предтрассировочные команды
define (pair (nets CLK1 CLK2 (gap 5)))
define (pair (nets CLK4 CLK5 (gap 7)))
circuit net CLK1 (use_layer INT3)
define (class DIF_PR CLK1 CLK2 CLK4 CLK5)
circuit class DIF_PR (length 6100 6000 (type actual))
rule class DIF_PR (length_amplitude 200))
rule class DIF_PR (length_gap 30)
#Команды трассировки
smart_route
```

Пример установки сравнительной задержки в цепи

```
# Строки, начинающиеся знаком '#' являются комментарием
# Команды инициализации процесса
# Эти команды устанавливают условия работы (окружение)
status_file route.sts
unit mil
#Предтрассировочные команды
rule class CLK0 (time_length_factor 0.12)
circuit class CLK0 (match_net_delay (tolerance 50))
#Команды трассировки
smart_route
```

Пример размещения компонентов

```
unit mil
grid place 25
#
place_rule pcb (spacing 125 (type smd_smd) (side both))
place_rule pcb (spacing 150 (type pin_smd))
place_rule pcb (spacing 100 (type pin_pin))
#
place_rule pcb (permit_orient 0)
place_rule pcb (permit_side both)
#
lock component U20 U21 Y1 C35 R15 (type position)
unplace all
vset unroutes off
repaint
#
initplace
interchange (type large) 8
swap gates 6
swap subgates 2
swap pins
#
autodiscrete
interchange (type small) 8
#
write session basic.ses 
```