

# Системы подготовки производства печатных плат уровня предприятия

В настоящее время в России наблюдается ощутимый рост рынка производства печатных плат. И хотя здесь еще присутствуют посреднические фирмы, занимающиеся, по сути, приемом заказов и размещением их на предприятиях Китая и Юго-Восточной Азии, растет процент компаний, развивающих собственное производство. На прошедшей в апреле выставке ЭкспоЭлектроника 2005 было представлено большое число поставщиков оборудования для производства, сборки и верификации печатных плат, ориентированных как на мелкосерийное, так и на крупное производство. Особенно приятно, что на большинстве из выставленных на стендах экспонатов к концу выставки появились таблички "Продано".

Итак, раз на российских предприятиях стало появляться серьезное оборудование для производства печатных плат, рано или поздно встанет вопрос о средствах подготовки такого производства. И чем скорее предприятия поймут, что невозможно продолжать работать на разобренных, полукустарных или плохо взломанных нелегальных программах, тем быстрее они окажутся в списке лидеров рынка.

В настоящее время только один производитель предлагает на российском рынке законченное решение для подготовки производства печатных плат, не ограничивающееся обычным набором САМ-средств. Фактически это не одна фирма, а альянс из трех компаний Orbotech ([www.orbotech.com](http://www.orbotech.com)), Valor ([www.valor.com](http://www.valor.com)) и Frontline PCB Solutions ([www.frontline-pcb.com](http://www.frontline-pcb.com)), каждая из которых предлагает собственный набор продуктов, интегрирующихся в стройную систему. Фирма Orbotech специализируется на поставке технологического оборудования для производства фотошаблонов, прямого экспонирования фольгированных материалов, а также систем оптической верификации панелей печатных плат. Две другие фирмы предлагают программное обеспечение, причем Frontline PCB Solutions специализируется исключительно на САМ-сред-

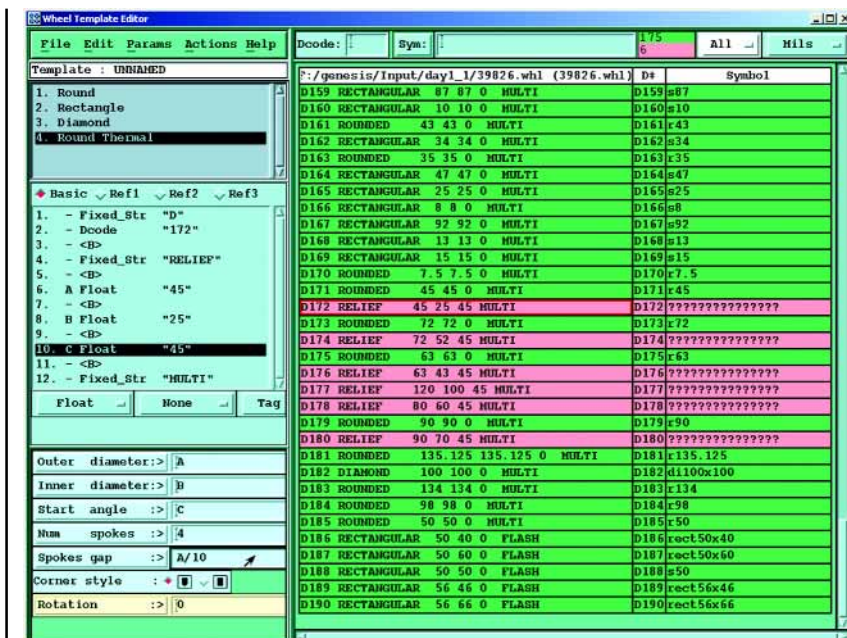
ствах (Genesis 2000, GenFlex, InPlan), а Valor предлагает решения для более широких задач, например, подготовки и верификации монтажа, моделирования технологического цикла, планирования ресурсов (Enterprise 3000, Trilogy 5000, TraceXpert).

В данной статье мы остановимся на системе Genesis 2000, ядро которой в виде набора функций DFM (Design for Manufacturing) присутствует почти во всех перечисленных выше продуктах. Данный пакет, несмотря на относительно высокую стоимость, превосходит все конкурирующие продукты по набору функций контроля и редактирования топологических данных, а также обеспечивает высокую степень автоматизации и непревзойденную производительность, что особенно важно в условиях современного рынка печатных плат, где время производства исчисляется сутками, а время подготовки — часами.

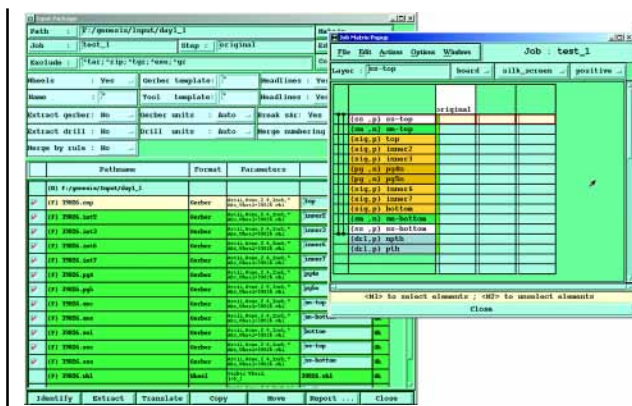
Пакет Genesis 2000 изначально был разработан для рабочих станций UNIX, что определяет его строгий по стилю пользовательский интерфейс, но в насто-

ящее время поставляется в версиях для UNIX, Sun Solaris и Windows 2000/XP. UNIX-версия прекрасно работает на обычных персональных компьютерах под управлением операционной системы Linux Suse 9.0 и демонстрирует почти вдвое большую производительность по сравнению с Windows-версией на аналогичной аппаратной платформе, требующей дополнительного эмулятора XVision 7.

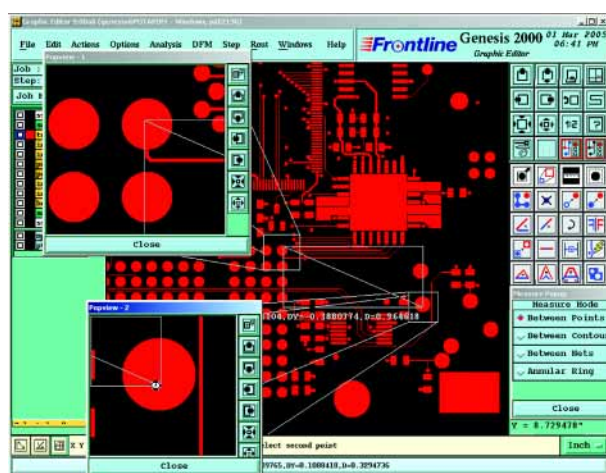
Входными топологическими данными для системы Genesis 2000 служат файлы в форматах Gerber RS-274D и RS-274X, а также ODB++. Причем последний рекомендуется как формат, содержащий наиболее полную информацию о проекте, включая перечни используемых материалов и списки цепей. Напомним, что формат ODB++ разработан и поддерживается фирмой Valor, а значит, является для системы Genesis "родным". Помимо этих основных форматов файлов, поддерживаются: DPF, DXF, HPGL, Orbotech Image Backup, Solio и т.д. Большинство из этих форматов являются самодостаточными и содержат в себе всю



**Рисунок 1** Обучение модуля импорта внешней таблицы апертур в формате Gerber



**Рисунок 2** Описание стека слоев печатной платы



**Рисунок 3** Измерение расстояния между двумя объектами с использованием вспомогательных увеличительных окон

необходимую для воссоздания топологии информацию, но для некоторых (например Gerber RS-274D) требуется дополнительное описание апертур. Такие таблицы апертур обычно имеют стандартные формы, но в ряде случаев могут иметь произвольный вид. Импорт подобных таблиц апертур произвольного формата облегчается гибким механизмом самообучения, позволяющим в течение нескольких минут настроить модуль импорта и сохранить полученные настройки для последующей обработки других файлов, полученных от данного заказчика (рис. 1).

Обратите внимание, что система Genesis 2000 не позволяет импортировать PCB-файлы непосредственно в форматах систем проектирования печатных плат и перекладывает эту работу на средства первичной подготовки производственных данных, имеющихся, как правило, во всех современных редакторах печатных плат.

После импорта графические данные сохраняются в виде отдельного набора, называемого шагом (по аналогии с английским названием "step") в отдельном проекте (в оригинальной терминологии "job"). Превращение простой послойной графической информации в упорядоченную информацию о конструкции печатной платы выполняется настройкой матрицы проекта, где указывается порядок следования слоев, тип слоев (сигнальные и планы, негативные и позитивные, шелкография и маски, сверловка и фрезерование), а также пары слоев сверления для глухих и слепых переходных отверстий (рис. 2). Здесь же можно задать диэлектрические свойства материалов, используемых в стеке слоев, которые впоследствии будут использоваться для анализа и верификации импедансов проводников.

Работа с графическими данными осуществляется в специальном редакто-

ре, обеспечивающем стандартный для CAM-систем

набор средств редактирования. Здесь имеются возможности выделения групп объектов согласно заданным критериям (слою, типу, используемой апертуре) и последующего их удаления, копирования и вставки на существующие или новые слои. Имеются средства ручного выбора инструмента и прорисовки графических элементов (линий, флешей, полигонов) с привязкой к заданной сетке или характерным точкам существующих объектов. Возможны такие операции редактирования, как объединение отдельных отрезков линий в ломаные линии или наоборот, добавления к существующим линиям новых изломов. Все операции ручного редактирования могут выполняться при включенном режиме проверки ограничений на зазоры "на лету", что позволит избежать самых нелепых и неожиданных ошибок. Все действия являются обратимыми в рамках данного шага, и в случае ошибочных действий может быть выполнен откат с помощью команды Undo.

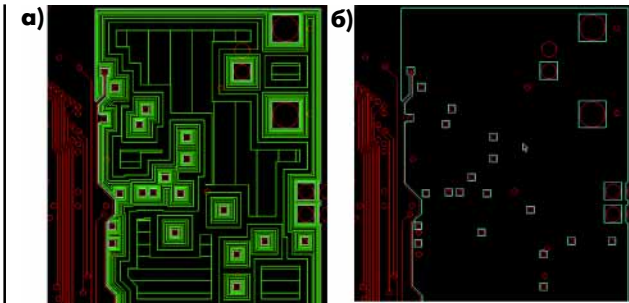
Все операции с объектами могут выполняться как в основном окне редактора, так и во вспомогательных окнах с функцией увеличения, что бывает очень полезно при редактировании платы или панели большого размера. Число подобных окон практически не ограничено (определяется разве что наличием свободного места на экране монитора). На рисунке 3 показан пример использования двух таких окон для измерения расстояния между двумя объектами в разных углах большой платы.

Отдельно следует упомянуть средства обработки полигонов. Эти элементы очень часто используются для прорисовки областей сплошной металлизации, а иногда и контактных площадок. В

некоторых системах проектирования полигоны выполняются не в виде растровых объектов, предусмотренных форматами RS-274X и ODB++, а в виде штрихованных областей с использованием большого числа линий. В ряде случаев большое число линий штриховки, вершин границ полигона или вырезов может превысить допустимое значение, поэтому разработчики вынуждены использовать перекрывающиеся полигоны, что приводит к дополнительному неоправданному объему выходных файлов, а следовательно к увеличению времени подготовки производства и печати фотшаблона.

Функция Drawn to Surface позволяет автоматически преобразовать штрихованные полигоны в растровые, используя гибкий набор настроек, дающий возможность правильно определить множества объектов, которые будут подвержены преобразованию (рис. 4). Дополнительная функция Resize Surface позволяет подкорректировать внешние размеры полигонов и размеры вырезов в них, чтобы учесть ширину линий оконтуривания, использованных разработчиками в штрихованных полигонах. Одновременно будут учтены ограничения на зазоры между краями вырезов и отверстиями сверления, а также кольцами металлизации вокруг них.

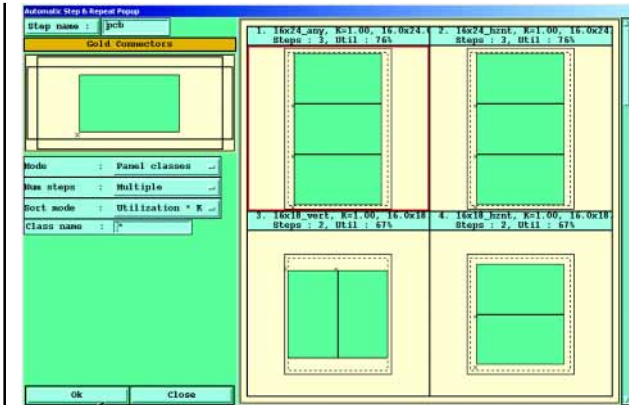
В ряде случаев, когда начало координат в импортируемых файлах имеет разные координаты, требуется выполнить точное совмещение слоев для последующего получения композитных слоев или верификаций позиций отверстий. Система Genesis имеет специальный алгоритм, анализирующий статистическую информацию о координатах флешей и



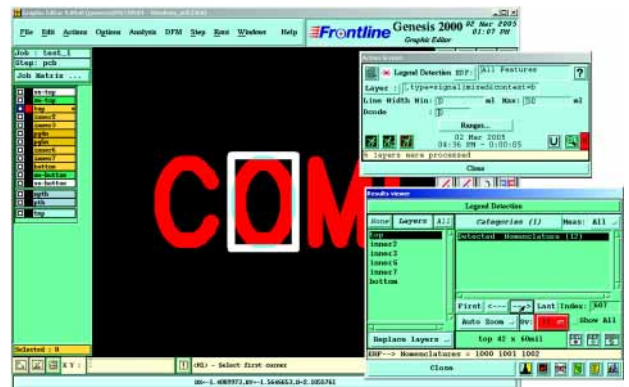
**Рисунок 4** Результат преобразования штрихованного полигона (а) в растровый (б)



**Рисунок 5** Анализ топологии с целью поиска мультиплицированных участков и последующей оптимизации



**Рисунок 6** Выбор шаблона мультиплицирования топологии



**Рисунок 7** Автоматический поиск векторных текстовых надписей

автоматически определяющий точное (в рамках заданного допуска) смещение рисунков на разных слоях проекта.

Другая важная проблема, с которой сталкиваются технологи при подготовке плат к производству, — это подготовка панелей. Иногда пользователи самостоятельно делают мультиплицирование топологии в системе проектирования печатных плат или первичной подготовки файлов для фотошаблонов без учета требований данного производства. В этом случае от оператора требуется самостоятельно выделить повторяющиеся участки рисунка и проверить их идентичность, что бывает трудно без доступа к исходной информации в РСВ-файле.

Функция Sub-Panel Optimization позволяет автоматически проанализировать имеющуюся топологию на наличие мультиплицированных участков, выделить базовый рисунок и сохранить его в виде нового шага (step). Все что требуется от оператора — это выделить с помощью мыши предполагаемый повторяющийся участок топологии (рис. 5). В дальнейшем, сохраненная базовая топология может быть использована для формирования новой мультиплицированной панели. Любые изменения в ней будут автоматически размножаться как в новом,

так и в старом вариантах. При генерации выходных файлов для описания повторяющихся участков топологии будут использоваться операторы Step&Repeat, что позволит значительно сократить объем выходных файлов, а следовательно, и время их обработки RIP-процессорами.

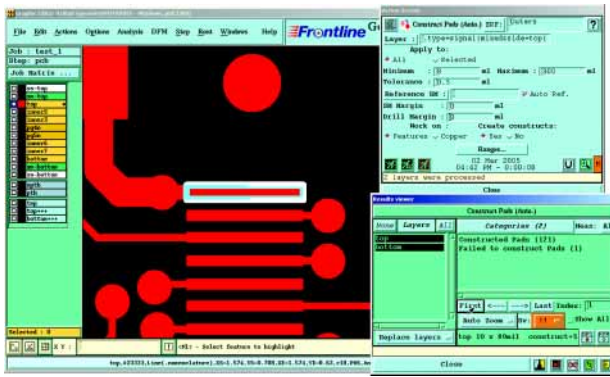
Сама операция панелизации может быть выполнена в ручном или автоматическом режиме. В первом случае от оператора требуется вручную выбрать шаблон мультиплицирования (рис. 6), добавить реперные символы, различные идентификаторы, окантовку и прочее или загрузить все это из заранее подготовленных файлов. В автоматическом режиме можно использовать специальный макрос, написанный на внутреннем S-подобном языке, который будет последовательно вызывать все необходимые процедуры, задавать необходимые параметры. Макрос может иметь промежуточные точки останова для принятия оператором решения о дальнейшем выполнении тех или иных действий в случае, когда алгоритм не может принять решение самостоятельно. Использование макросов для формирования мультиплицированных панелей позволяет сократить время обра-

ботки исходной топологии до считанных секунд.

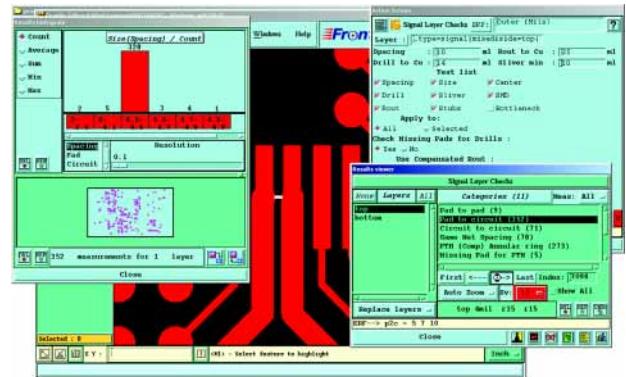
Однако, все перечисленные выше функции в том или ином виде доступны и в других САМ-системах. Главное, что привлекает пользователей в продукте Genesis 2000, — это чрезвычайно мощный набор функций верификации DFM (Design For Manufacturing), которые также могут использоваться в автоматическом или полуавтоматическом режимах.

Например, имеется возможность автоматического поиска графических примитивов, образующих векторные текстовые надписи, с целью последующего их исключения из анализа электрических слоев. Программа находит элементы топологии, напоминающие буквы или цифры, после чего предлагает пользователю подтвердить статус найденного объекта (рис. 7). Если объект признан текстом, то всем образующим его графическим элементам присваивается атрибут, однозначно идентифицирующий их как текст.

Аналогичным образом анализируются и идентифицируются контактные площадки SMD-компонентов. Зачастую разработчики прорисовывают на плате такие контактные площадки не как прямоугольники, а как линии или, еще хуже,



**Рисунок 8** Автоматическое преобразование неправильно нарисованных контактных площадок во флэши

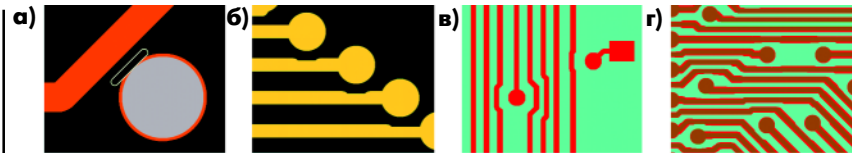


**Рисунок 9** Оценка статистического распределения значений нарушений зазоров на сигнальных слоях платы

как штрихованные полигоны (типичная проблема с файлами, полученными из системы P-CAD 4.5). При преобразовании в САМ-файлы такие объекты будут описываться большим числом графических примитивов, что с одной стороны увеличивает вероятность неправильного повторения геометрии площадок фотоплоттером и, с другой стороны, многократно увеличивает размер выходных файлов, так как SMD-компоненты имеют, как правило, большое число контактных площадок. Процедура Construct Pad позволяет в автоматическом режиме выявить все неправильно нарисованные площадки и преобразовать их во флэши, чем значительно сократит объем выходных данных (рис. 8).

Помимо преобразования графики контактных площадок, система анализирует другие имеющиеся в топологии графические примитивы на предмет того, являются они SMD-контактными площадками или нет. Оператору предоставляется полный список проблемных объектов, и в случае подтверждения каждому объекту присваивается атрибут, однозначно определяющий его внутри системы Genesis как SMD-контактную площадку. В дальнейшем при DMF-проверках этот признак поможет системе распознавать объекты, к которым должны быть применены специальные SMD-правила проектирования, например, форма "стрингеров" или "фануотов", соотношение размеров проводников, их образующих, а также минимально допустимое расстояние до переходного отверстия на другой слой.

Одной из самых важных проверок топологии традиционно является проверка зазоров между цепями платы. Обычно такие проверки делаются в системах проектирования печатных плат, где обеспечивают заданные электрические характеристики, но они не теряют акту-



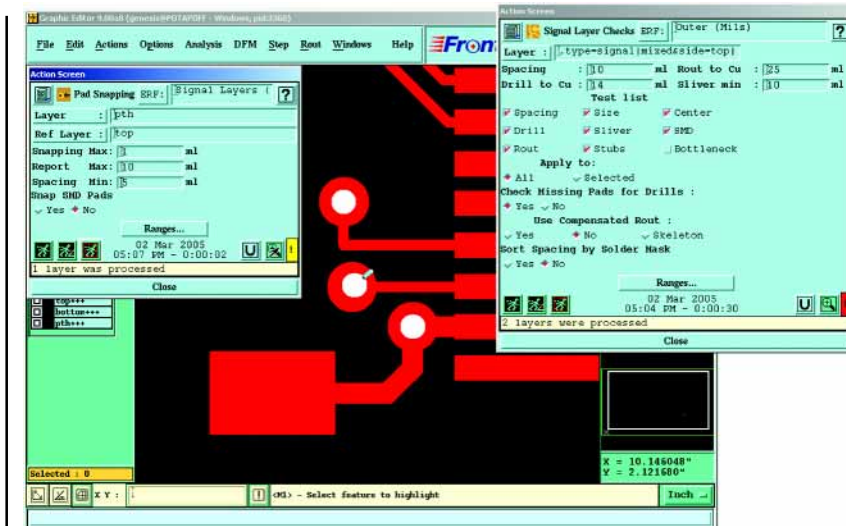
**Рисунок 10** Результат применения различных автоматизированных процедур по устранению нарушений зазоров

альности и в системах подготовки производства, где фактически проверяется технологичность платы. Система Genesis позволяет проверять зазоры между различными типами объектов, например, между контактными площадками различных цепей, между контактными площадками и сегментами проводников или границами полигонов, отверстиями и областями металлизации и т.д. Все найденные нарушения систематизируются, группируются и отображаются на топологии. При необходимости, оператор может посмотреть статистическое распределение численных значений обнаруженных нарушений, их размещение на топологии и принять решение об оптимальном способе устранения наиболее критичных или часто повторяющихся из них. На рисунке 9 показаны результаты проверки зазоров между участками металлизации на сигнальном слое. Как следует из гистограммы, максимальное число ошибок (328) приходится на значения 4,5...4,6 милс при заданном пороге обнаружения 10 милс.

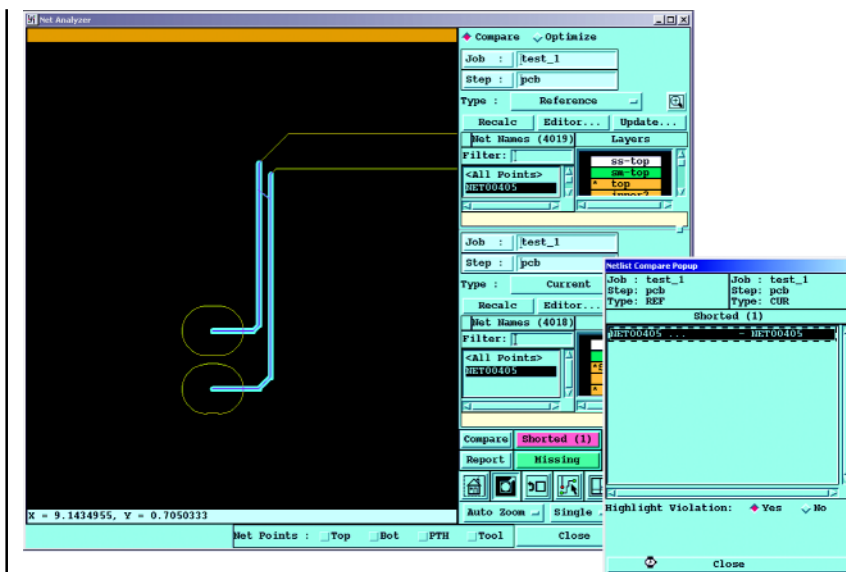
В дальнейшем, в зависимости от вида обнаруженного нарушения, оператор может применить различные автоматизированные процедуры устранения нарушения и повышения технологичности платы. На рисунке 10 показаны различные случаи выявленных и исправленных нарушений: для обеспечения требуемого зазора подрезаются контактная площадка (а) и проводники (б), для обеспечения требуемого зазора проводники шины ото-

двигаются от контактной площадки (в). На рисунке 10г показан результат обработки топологии для решения обратной задачи: ширина проводников при наличии свободного места автоматически увеличивается, чем снижается вероятность "перетравов" наиболее узких проводников.

Аналогичным образом выполняются проверки графической информации, размещенной на несигнальных слоях проекта. Автоматически выявляются и устраняются наложения рисунка шелкографии на вырезы в защитной маске для пайки или в трафарете для нанесения пасты. Выявляются смещения центров флэшей на слоях сверления относительно центров соответствующих контактных площадок на сигнальных слоях. Результаты анализа позволяют определить, было ли данное смещение связано с неправильным взаимным размещением слоев или с их некорректным масштабированием, после чего оператор выбирает оптимальный способ устранения выявленного несоответствия. В общем случае, рассогласование позиций отверстий сверления и контактных площадок может привести к нарушению правил зазоров между краем отверстия и границей площадки, поэтому одновременно выполняется и такая проверка, причем при оценке диаметра отверстия используется не идеальное, а реальное значение диаметра инструмента, выбранное из специальной таблицы с учетом заданных допусков (рис. 11).



**Рисунок 11** Проверка центровки отверстий сверления относительно центров контактных площадок



**Рисунок 12** Сравнение двух списков соединений (исходного и конечного) позволило выявить замыкание между двумя проводниками

Всего система Genesis может выполнить свыше 170 различных типов проверок топологии, а большинство выявленных нарушений исправить в автоматическом режиме согласно заранее сделанным установкам. Дополнительные удобства при проведении автоматизированных проверок предлагает функция Checklist, суть которой заключается в том, что оператор может в специальном редакторе Checklist Editor подготовить специальные последовательности процедур верификации с различными наборами параметров. Последовательности могут быть оптимально настроены на наборы топологий, полученных от конкретной группы разработчиков (предприятия), сохране-

ны и позднее вызваны при получении очередной партии топологий.

Помимо графической информации, система Genesis 2000 позволяет обрабатывать информацию об электрических связях на печатной плате. Исходная информация может быть импортирована из файлов списков соединений из систем проектирования плат в формате IPC-D-356 или ODB+++. Оригинальный формат ODB+++ помимо графической послойной информации о топологии включает в себя информацию о списке соединений проекта, однако, далеко не все системы проектирования печатных плат формируют его корректно. В настоящий момент только системы проектирования компаний Zuken и Mentor Graphics однозначно

правильно формируют данные в формате ODB+++ со списком соединений и перечнем используемых материалов. Системы P-CAD и Protel компании Altium формируют усеченный ODB+++-формат, содержащий только графическую информацию аналогично формату Gerber.

Загруженный список соединений (netlist) может быть использован для сравнения со списком связей, полученным методом экстракции из послойного графического представления топологии непосредственно перед началом ее обработки, что позволит выявить возможные потерянные при импорте данные. Позднее, по обработанной топологии может быть сформирован новый список соединений, сравнение которого с исходным позволит выявить возможные нарушения (замыкания или разрывы), внесенные в проект в процессе верификации и редактирования (рис. 12).

В результате всех описанных выше манипуляций создается оптимизированный CAM-проект, полностью подготовленный для передачи на производство. Система Genesis позволяет формировать все необходимые для производства данные: управляющие файлы для изготовления фотошаблонов (поддерживаются форматы Gerber 274D, Gerber 274X, Pentax, ODB+++, Orbotech, Solio, DPF, IGI PAR, OPF, OPFX, Excellon IMAGE, HPGL I/II, DXF, PostScript), файлы сверловки и фрезерования (Excellon I/II, PDA, Sieb Mayer 1000/3000, ATI, WESSEL, Posalux, Trudrill), а также электроконтроля (IPC-D-356, IPC-D-356A, NTD, ATF, EPC & ATE Stations, TIF, RAID1, TTI). Каждый тип файлов формируется с помощью соответствующего модуля.

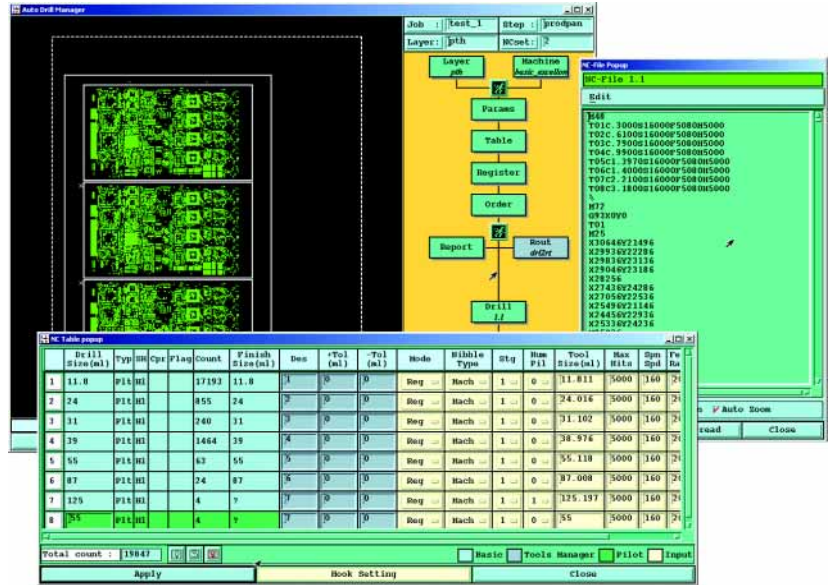
Например, файлы сверловки готовятся в специальном редакторе Auto Drill Manager. Здесь в качестве исходных данных указывается шаг (step) проекта и слой, на котором содержится информация об отверстиях, после чего создается набор настроек сверловки NCSet, в котором задается тип выходных данных, единицы измерения, формат представления координат инструмента, способ оптимизации пути прохода инструмента, последовательность обработки мультиплицированных конструкций Step&Repeat и т.д. Автоматически по графической информации из указанного слоя формируется таблица инструментов, которую оператор может изменить и назначить, например, специфическую последовательность сверления пилотных отверстий для инструментов большого диаметра (рис. 13). После

правильной настройки модуля выполняется генерация выходных файлов с подробным отчетом обо всех выполненных операциях. Конечный текст NC Drill файла может быть просмотрен в специальном текстовом окне, обеспечивающем горячую связь с графическим представлением топологии. Аналогичным образом готовятся файлы фрезерования, если в таковых есть необходимость.

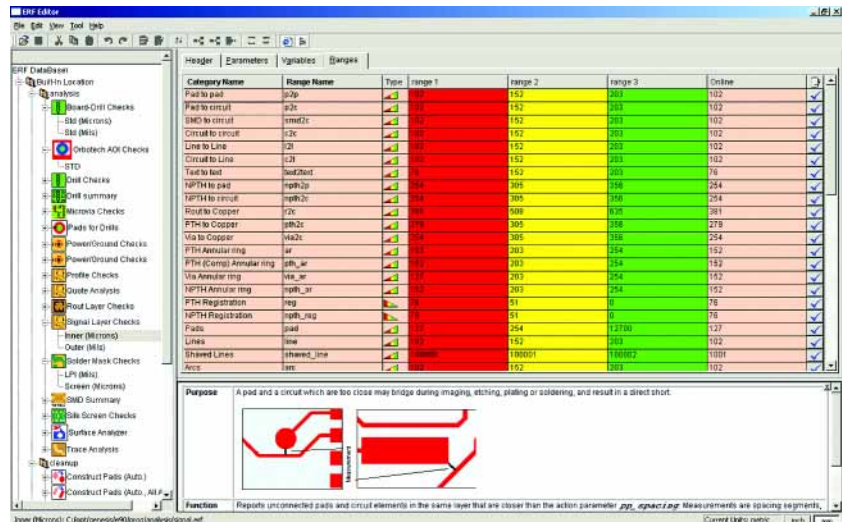
Таким образом даже краткий обзор основных функциональных возможностей пакета Genesis 2000, приведенный в данной статье, позволяет сделать вывод о ее чрезвычайной эффективности при применении в жестких условиях современного рынка печатных плат, когда время обработки одного проекта не должно превышать единиц часов. Одним из факторов, сдерживающим широкое распространение данного программного обеспечения, является его относительно высокая стоимость. В качестве дешевой альтернативы пользователям предлагается версия Genesis LT, которая имеет несколько ограниченный набор DFM-функций. Здесь отсутствуют наиболее продвинутое и автоматизированные процедуры верификации, но того, что есть, достаточно, чтобы полноправно конкурировать с равными по стоимости конфигурациями продуктов других производителей, например CAM-350.

Другим сдерживающим фактором является повышенная сложность освоения пакета. Опыт показывает, что самостоятельная установка и освоение продукта может привести к неэффективному его использованию, поэтому фирма PCB Frontline практикует обязательное двухнедельное обучение специалистов компаний, внедряющих у себя данную систему. Причем обучение полезно проводить в два этапа, когда сначала будущим пользователям объясняются общие принципы администрирования пакета в рамках предприятия и основы работы в нем, а затем после небольшого перерыва (2–3 месяца) преподают углубленный курс. Аналогичным образом, сокращенный курс обучения рекомендуется всем пользователям, планирующим получить продукты Genesis 2000 или Genesis LT на тестирование.

В заключение остается добавить, что недавно вышла очередная 9-я версия продукта, в которую добавлено несколько новых модулей и функций. В частности, в системе появился редактор ERF Editor, позволяющий наглядно управлять наборами параметров различных про-



**Рисунок 13** Подготовка файлов сверления с помощью модуля



**Рисунок 14** Новый модуль ERF Editor позволяет оперативно управлять наборами параметров различных процедур системы Genesis 2000 Auto Drill Manager

цедур системы (рис. 14). Ранее настройка пакета осуществлялась только через специальные текстовые файлы, что значительно усложняло администрирование программного обеспечения в рамках сети предприятия.

Любую дополнительную информацию о пакетах Genesis 2000 или Genesis LT, а также других программных продуктах производства Frontline PCB Solutions, Orbotech и Valor, об условиях их приобретения и тестирования можно получить в офисе компании ЭлектТрейд-М (info@eltm.ru, (095) 974-1480), являющейся официальным представителем этих компаний в России.