

7. Байковский Ю. М., Михайлова Т. Н., Мишакова С. Т. Графор: комплекс графических программ на ФОРТРАНе.— М.: изд. ИПМ АН СССР, 1972. (Препринт/АН СССР, ИПМ; № 41).
8. Байковский Ю. М., Топалов Н. Н. Графор: комплекс графических программ на ФОРТРАНе.— М.: изд. ИПМ АН СССР, 1974. (Препринт/АН СССР, ИПМ; № 79).
9. Байковский Ю. М., Гринберг Г. С., Зиман Ю. Л., Михайлова Т. Н. Графор: комплекс графических программ на ФОРТРАНе.— М.: изд. ИПМ АН СССР, 1973. (Препринт/АН СССР, ИПМ; № 52, вып. 2).

Поступила в редакцию 8 января 1981 г.

В. А. МЕЛЕНИХИН, Д. Г. ФРИЗЕН, Е. Г. ЮГАШАВОНКИ
(Новосибирск)

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Рассматриваемая система разработана и эксплуатируется в ИАиЭ СО АН СССР с 1978 г. Система включает пакет программ, обеспечивающих следующие возможности: ввод топологии печатных плат с чертежей, подготовленных конструктором; редактирование топологии печатных плат; автоматическая компоновка, размещение и трассировка печатных плат; выдача конструкторской документации и управляющей информации для станков с ЧПУ.

Программа ввода топологии печатных плат. Программа позволяет вводить в ЭВМ с помощью какого-либо кодировщика топологию печатных плат с конструкторских чертежей, выполненных в произвольном масштабе.

В процессе работы оператор имеет возможность выбирать шаг сетки (с дискретностью 0,025 мм), инструменты для проводников и контактных площадок; определять набор масок, которые будут использованы для изображения данной платы, и слой, в котором будут размещаться элементы.

Для облегчения работы оператора и уменьшения вероятности совершения механических ошибок имеется возможность определять группы и макросы.

Группа — это заполненная последовательность действий оператора по вводу или корректированию топологии печатной платы. В определении группы возможна рекурсия, т. е. определение одной группы может включать в себя вызов других групп и макросов.

Макрос — это прямоугольный фрагмент топологии печатной платы, задаваемый указанием противоположных вершин фрагмента на уже введенной топологии.

Макросы и группы могут быть сохранены для последующего использования в других работах.

При вызове макроса или группы координаты и ориентация элементов топологии корректируются в зависимости от точки вызова и заданного угла поворота макроса или группы.

Для исправления возможных ошибок оператор располагает средствами редактирования введенной топологии печатной платы. Оператор имеет возможность узнать, какие элементы находятся в данной точке, и затем удалить, заменить или изменить их конфигурацию. Информация об элементах выдается на алфавитно-цифровой дисплей и включает в себя данные о типе элемента (проводник или контактная площадка), его координаты

натах, номере маски, которой он изображается, и слое, в котором данный элемент расположен.

В процессе ввода проводится проверка правильности работы оператора (использование легальных масок для проводников, наклон проводников, достаточная величина зазоров и при желании проверка соответствия топологии принципиальной схеме); в последнем случае необходимо наличие описания принципиальной схемы.

Результатом работы программы ввода топологии является файл описания топологии печатной платы. Файл содержит информацию, достаточную для генерации программ управления станками с ЧПУ. Формат данного файла является общим для всей системы.

Программа редактирования топологии печатных плат. Программа позволяет редактировать существующую топологию печатной платы, а также вводить новые элементы. Поскольку оператор при редактировании имеет дело с графическими объектами, то использование для этих целей графических дисплеев наиболее естественно и целесообразно. Так как графические дисплеи обеспечивают полное и наглядное отображение топологии печатной платы, то действия оператора по ее корректированию просты и естественны. Поэтому уменьшается вероятность совершения механических ошибок и значительно ускоряется работа оператора по корректированию топологии [1].

Существует два основных режима редактирования: директивный и экранный.

В директивном режиме оператор имеет возможность проводить редактирующие действия над всей платой в целом: определять макросы и манипулировать ими, управлять режимом работы редактора, в том числе выбирать шаг сетки (с дискретностью 0,025 мм), набор масок для данной платы (что соответствует слайду фотопостроителя), устанавливать масштаб, положение окна, число и порядок визуализации слоев печатной платы, перемещать и выбирать слои. В этом режиме процесс редактирования управляется посредством директив, а необходимые действия обусловлены соответствующим выбором параметров.

Основная работа по редактированию топологии печатной платы выполняется в экранном режиме. При этом на экране дисплея высвечивается фрагмент платы. Оператор имеет возможность просматривать всю плату путем перемещения окна и с помощью курсора указывать и выделять отдельные элементы для последующих редактирующих действий (удаление, замена, изменение конфигурации и добавление элементов, определение элементов и использование макросов). Имеется возможность изменения параметров визуализации (числа слоев, отображаемых на экране, порядка и приоритета отображения слоев).

Оператор может получить информацию о выделенных элементах (тип элемента; номер маски, которой он изображается; слой, в котором данный элемент размещен; его координаты).

В экранном режиме процесс редактирования осуществляется с помощью джойстика, управляющего положением курсора, и нажатием функциональных клавиш. Все редактирующие действия немедленно отражаются на экране дисплея.

При необходимости может быть включен семантический контроль; это повлечет за собой проверку каждого действия оператора по корректированию топологии на соответствие принципиальной схеме.

Включение семантического контроля несколько увеличивает время реакции программ, но значительно повышает достоверность.

Использование виртуальной памяти позволяет редактировать большие и плотные многослойные платы (размером до 800 × 800 мм, число элементов практически не ограничено).

Введение дополнительных сортированных полей, содержащих частичную информацию об элементах и информацию о принадлежности элементов к определенным кластерам, значительно снижает время реакции системы, особенно при включенном семантическом контроле.

Программа имеет модульную структуру и допускает простую адаптацию к различным типам дисплеев.

Программа автоматической трассировки. Программа включает в себя автоматическую компоновку, частичное размещение элементов и трассировку связей для больших многослойных печатных плат (размером до 800×800 мм). Исходными данными программы являются описание принципиальной схемы, библиотека модулей и конструктив.

Файл описания принципиальной схемы содержит информацию о координатах и габаритах поля трассировки, о библиотеках модулей, используемых для данной платы, и о конструктиве, а также описание межсоединений в терминах сигналов.

Описание каждого модуля проводится локально; определяется принадлежность вывода модуля к одному из кластеров, идентифицируемому именем сигнала (например, «Земля», «Питание», «Сброс» и т. д.). В этом описании могут присутствовать координаты модуля, его ориентация, распределение кластеров по слоям, приоритет, определяющий последовательность трассировки кластеров. Модули идентифицируются своим именем.

Размещение модулей, компоновка и назначение выводов для неопределенных кластеров осуществляются автоматически в процессе трассировки. Кластеры, имеющие более высокий приоритет, трассируются в первую очередь; приоритет задается в описании принципиальной схемы либо, если его указание в описании отсутствует, вычисляется динамически. Кластеры, для которых в описании не указано, в каком слое они должны быть протрассированы, распределяются по слоям автоматически.

Перед началом трассировки проводится полный синтаксический и частичный семантический контроль описания принципиальной схемы. Контролируется соответствие топологии описанию принципиальной схемы, соблюдение нагрузочной способности модулей, наличие нелегальных соединений и «висящих» сигналов.

Библиотека модулей содержит описание геометрии модулей типа выводов, логической схемы, графического изображения на принципиальной схеме и сборочном чертеже, нагрузочные характеристики, наличие и распределение по выводам стандартных сигналов («Земля» и «Питание»). Библиотеку модулей можно просто пополнять и корректировать.

Конструктив представляет собой файл описания топологии печатной платы, он может быть и пуст. Как правило, конструктив первоначально содержит стандартное обрамление платы (конфигурацию разъемов и подводку к ним, технологические элементы и идентифицирующие надписи).

В процессе трассировки программа непрерывно выдает информацию о трассируемых в данный момент связях. Встроенные редактирующие средства позволяют управлять процессом трассировки: разрешать или запрещать выдачу протокола трассировки, определять направление входных потоков, приостанавливать трассировку, корректировать получившуюся топологию и описание принципиальной схемы, а затем продолжать трассировку.

Ядром программы трассировки является модифицированный алгоритм Ли [2, 3], так как он, как правило, обеспечивает наиболее полную трассировку печатной платы по сравнению с другими известными алгоритмами (канальным, магистральным, топографическим, лучевым). В то же время он достаточно легко поддается модификации для учета некоторых технологических ограничений и повышения качества топологии (ортогональность для двухслойных печатных плат, равномерное распределение проводников, оптимизация трасс по ряду параметров и т. п.).

В основном все модификации сводятся к выбору закона распространения волны. Характер распределения фронта волны обуславливается заданием задержек распространения фронта в различных направлениях в зависимости от некоторых условий, заданием преимущественных на-

правлений распространения волны, границами области ее распространения и «выталкиванием» волны из некоторых областей.

Алгоритм Ли был значительно модифицирован для этапа построения пути (достижение волновой цели только показывает, что путь существует, но не определяет его однозначно).

В отличие от известных нам методов построение пути происходит в два этапа: вначале строится путь в стеке, затем готовый путь укладывается из стека в дискретное рабочее поле (ДРП). Такой подход позволяет проводить выбор окончательного пути из ряда вариантов, осуществлять оптимизацию пути по некоторым параметрам (число перегибов, количество переходных отверстий, занятых сегментов ДРП, плотность проводников и т. д.).

Как закон распространения волны, так и принципы выбора пути из множества вариантов определяются таблицей решений, что позволяет легко изменять алгоритм, приспособлявая его к различным условиям или технологическим ограничениям.

Дискретное рабочее поле, таблица кластеров, кольцевой буфер для распространения волны, стек для построения пути, а также вспомогательная информация размещаются в виртуальной памяти, что снимает практически все ограничения на размер платы, ее плотность и число элементов.

С целью ускорения работы программы организован программный «кэш» над ДРП на альтернативном сегменте, это дает возможность свести большинство обращений к ДРП в оперативную память.

Хранение достаточной вспомогательной информации о принципиальной схеме, оставшейся с этапа синтаксического и семантического контроля, позволяет в процессе трассировки выдавать диагностику в терминах принципиальной схемы.

В процессе трассировки происходят компоновка элементов по модулям на основе содержащейся в библиотеке модулей информации о логической схеме и частичное размещение на уровне перестановок эквивалентных модулей.

В отличие от общепринятого мнения о медленной работе волнового алгоритма [4] наши результаты показывают обратное: при аккуратной реализации волновой алгоритм является достаточно быстрым (например, трассировка платы размером 150×180 , содержащей около 70 модулей, порядка 200 кластеров и более 1000 соединений, занимает около 15—20 мин процессорного времени). Полнота и качество трассировки достаточно хороши: для двухслойных плат процент трассировки составляет не менее 90—95, если работа происходит не в интерактивном режиме.

Выходные процессоры. Эти программы осуществляют выдачу на графопостроители конструкторской документации (принципиальная схема, схема размещения модулей, сборочный чертеж, эскиз топологии и т. д.). Документация выдается в соответствии с требованиями ЕСКД.

При выдаче управляющей информации для станков с ЧПУ описание топологии печатной платы переводится в формат станков с одновременной оптимизацией траектории движения исполнительных органов станков. Управляющая информация может быть получена в виде перфолент, магнитных лент или передана на процессор управления станками по каналу связи.

Система реализована на мини-ЭВМ NORD-10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pearce N. Printed Circuit Board Layout Using an Interactive Graphics Display.— Computer Aided Design, 1970, vol. 2, N 2, p. 9—18.
2. Lee C. Y. An Algorithm for Path Connections and its Applications.— IRE Trans., 1961, vol. EC-10, N 3, p. 346—366.

3. Geyer J. M. Connection Routing Algorithm for Printed Circuit Boards.— IEEE Trans., 1971, vol. CT-18, p. 95—100.
4. Селяутин В. А. Машинное конструирование электронных устройств.— М.: Сов. радио, 1977.

Поступила в редакцию 28 августа 1981 г.

УДК 681.3.015 : 621.396.6.001.63

С. В. ГОРИН

(Челябинец)

ДИСАП — ДИАЛоговая ГРАФическая СИСТЕМА ДЛЯ САПР РЭА

Одной из широко применяемых графических систем общего назначения является система СМОГ [1]. Ее популярность объясняется удобством использования, богатым набором возможностей и простотой настройки на машинно-приборную конфигурацию. Существуют реализации СМОГ на различных ЭВМ и для разнообразных графических устройств. Легкость адаптации к графическим устройствам обусловлена выбором некоторого обобщенного графического устройства, с которым работает система [2]. В качестве такого устройства принят координатный графопостроитель непрерывного действия. Настройка на конкретный тип графопостроителя осуществляется одной подпрограммой и не затрагивает всей системы.

Однако подобная организация, эффективная для устройств, укладываемых в рамки обобщенного, становится тормозом при настройке системы на качественно отличные устройства. Так, например, создание на основе СМОГ математического обеспечения дисплея [3] потребовало существенной переделки всей системы (хотя и в сторону упрощения). Кроме того, при настройке СМОГ на новое устройство иногда приходится жертвовать его аппаратно реализуемыми возможностями (аппаратной генерацией символов, дуг, возможностью изображения разного типа линий и т. д.).

Потребности систем автоматизации проектирования (САПР), и в частности автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), характеризуются наличием разнообразных выходных устройств (графопостроители, координатографы, сверлильные автоматы и, наконец, дисплеи, без которых невозможен эффективный диалог с САПР). Каждый класс устройств имеет к тому же достаточно широкую номенклатуру.

Неудобным для использования в системах автоматизации проектирования оказывается и принятый в СМОГ механизм процедурного обращения в языках программирования. Для САПР более естественна работа со структурами данных, требующая надстройки над средствами СМОГ.

Таким образом, создание ДИСАП вызвано желанием удовлетворить требования, предъявляемые САПР, и в то же время обеспечить по возможности большую преемственность со СМОГ, хорошо зарекомендовавшей себя в процессе эксплуатации.

Анализ графической информации САПР РЭА показал, что она может быть описана с помощью графических элементов. В ДИСАП принят конкретный набор графических элементов, включающий в себя, в частности, следующие графические примитивы: ТОЧКА, ОТРЕЗОК, ЛОМАНАЯ, ТРЕУГОЛЬНИК, ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИК, ДУГА, ОКРУЖНОСТЬ, СИМВОЛ, ТЕКСТ, ЧИСЛО. Каждый примитив задается своим именем и параметрами, необходимыми для его отображения. Примитивы, описывающие треугольник, четырехугольник, окружность и текст, которые, в прин-