

сти и определение полноты проверки полученным методом тестов. При неудовлетворительной полноте после выполнения мероприятий по повышению адекватности тестовой модели и контролепригодности схемы процесс синтеза тестов может быть повторен.

Процедура верификации синтезированной последовательности входных векторов в два этапа сокращает общее время верификации за счет более раннего выявления входных векторов, имеющих низкое качество, так как окончательная верификация производится при моделировании в «неисправном режиме» и требует больших вычислительных затрат (верификация качества производится в режиме «исправного моделирования» с фальш-условием, т. е. методом двукратного моделирования с учетом неисправности и последующим сравнением результатов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hideo Fujiwara, Takeshi Shimono. On the acceleration of test generation algorithm // IEEE Trans. Comput.—1983.—С-32, N 12.— P. 1135.
2. Roth J. P., Bourieus W. G., Schneider P. R. Programmed algorithms to compute tests to detect and distinguish between failures in logic circuits // IEEE Trans. Comput.—1967.— EC-16, N 5.— P. 567.
3. Goel P. An implicit enumeration algorithm to generate test for combinational logic circuits // IEEE Trans. Comput.—1981.—С-30, March.— P. 215.

*Поступила в редакцию 11 октября 1988 г.*

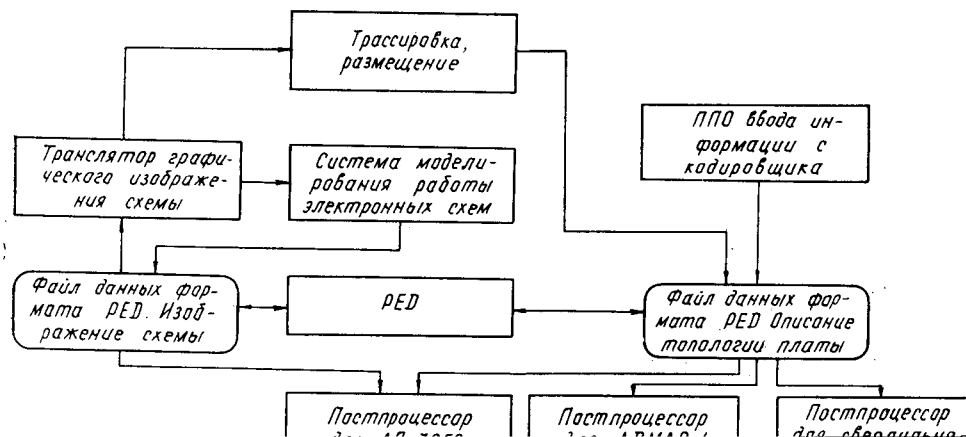
УДК 681.5

**С. Г. ДЕМЕНТЬЕВ, В. Г. СЕЛИВАНОВ**  
(Томск)

#### **ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ О ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЕ В САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

Системы автоматизированного проектирования (САПР) печатных плат, разрабатываемые в настоящее время, основываются на широком использовании средств автоматической или диалоговой трассировки и автоматического размещения элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1—3].

Исходными данными для программ трассировки и размещения являются список межэлементных связей (цепей) и перечень элементов, входящих в схему, которые составляются и вводятся, как правило, вручную. Подготовка и ввод этой информации в ЭВМ — трудоемкий и утомительный процесс, требующий значительных затрат времени. Такая процедура ввиду ее однообразия чревата появлением многих ошибок в синтаксических конструкциях входного языка и в описании топологии схем, причем если неточности синтаксиса можно определить с помощью программной диагностики, то ошибки в описании топологии зачастую выявляются уже в процессе настройки готового модуля РЭА [4]. В последнее время создаются системы, в которых этот процесс автоматизируется, и возникает сквозная автоматизированная технологическая цепочка получения фотошаблонов печатных плат [5, 6]. Совершенствуется и ввод графической информации о топологии печатных плат. В дополнение к традиционным кодировщикам, программное обеспечение для которых продолжает развиваться [7], появились устройства автоматического считывания координат изображения [8]. В некоторых системах используется ввод информации о схеме с помощью графических дисплеев [9], однако программная реализация и используемые



дисплеи (ЭПГ-400) не позволяют обрабатывать графические описания больших схем.

Вместе с автоматизацией процесса получения топологии одним из важных требований, предъявляемых к САПР печатных плат, является обеспечение автоматического или автоматизированного документирования разрабатываемых топологий и схем РЭА. Эта задача активно решается разработчиками [9, 10].

В связи с изложенным можно предположить, что совместное решение задачи автоматизированного получения конструкторской документации и автоматического создания списков цепей и имен элементов для программ размещения, трассировки и для системы логического моделирования составит определенный интерес для разработчиков. Программные средства, решающие эту задачу, реализованы для САПР, элементы которой описываются в данной работе. Файл графического описания электронной схемы, формируемый графическим редактором, используется для построения списков связей, элементов, номеров масок фрагментов графического изображения схемы средствами специальной программы-транслятора [11].

**Состав и структура САПР.** В состав системы входят ИВК-2 на базе ЭВМ СМ-4, кодировщик графической информации ПКГИО, графопостроитель АП 7252, ленточный перфоратор, фотопостроитель АДМАР-4 и 4 АРМа конструктора на базе растрового цветного графического дисплея [12].

Указанные аппаратные средства обслуживаются программами-постпроцессорами для фотопостроителя; подсистемой программного обеспечения (ППО) для ввода информации с кодировщика, ее редактирования и преобразования в формат данных графического редактора, программой-редактором графической информации РЕД [13]. Кроме того, в составе программного обеспечения имеются программы авторазмещения [14], автотрассировки, система логико-временного моделирования работы электронных схем [15] с графическим отображением движущихся по схеме сигналов, а также описываемая здесь программа-транслятор графического изображения схемы, создающая списки цепей и имен элементов.

Базовым форматом данных для всех программ является внутренний формат представления данных графического редактора. Структура взаимодействия программ схематично представлена на рис. 1. Стрелками показаны направления движения информации.

**Постановка задачи.** Задача автоматизации процесса создания описания схемы в формате, пригодном для ввода в программы автотрассировки, авторазмещения и графического моделирования работы электронных схем, ставится следующим образом: при условии, что рисунок схемы строится на экране цветного графического дисплея средствами графического редактора PED, требуется выработать правила построения рисунка и маркировки элементов изображения для их однозначного распознавания так, чтобы полученный рисунок удовлетворял требованиям конструкторской документации, и разработать программное средство, позволяющее получить списки связей, номеров масок фрагментов изображения, список элементов, а также создать файлы документации: перечень элементов, спецификацию и ведомость покупных изделий для схемы — в результате обработки описания изображения, хранящегося в файле внутреннего формата графического редактора.

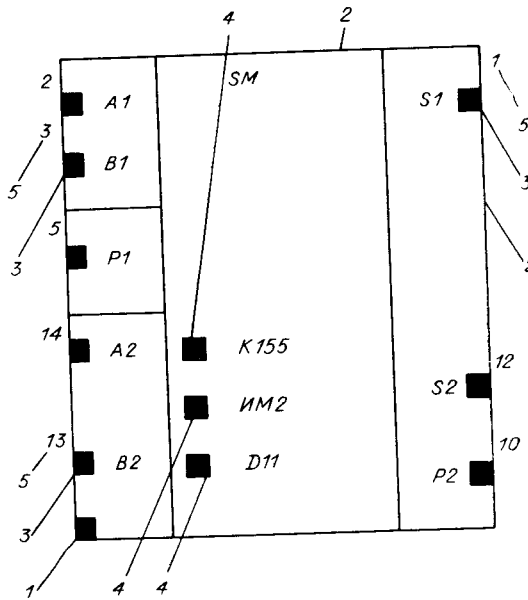


Рис. 2

**Построение рисунка схемы.** Элементы рисунка, создаваемого на экране цветного графического дисплея, строятся средствами редактора PED из набора цифр, букв, специальных символов, а также графических элементов типа круг и прямоугольник. При этом линия получается путем прорисовки трассы перемещения графического элемента (круг, прямоугольник) из одной точки экрана в другую. Каждое изображение, построенное таким образом, может быть записано в файл-макрос и после этого может использоваться в качестве готового фрагмента для построения любого другого рисунка. Эта возможность, предоставляемая графическим редактором, служит для создания изображения каждого отдельного элемента и для однозначного его распознавания. Для однозначного распознавания выводов элементов, самих элементов и их маркировки используются «точки подсказки», которые рисуются синим или зеленым цветом в отличие от схемы, прорисовываемой красным цветом в слое 1 графического редактора. Рис. 2 иллюстрирует изображение элемента типа микросхема, рис. 3, а — резистора, конденсатора и транзистора. Здесь цифрами обозначены: 1 — «точка подсказки» «нуля» элемента, 2 — контур, 3 — «точки подсказки» выводов, 4 — «точки подсказки», определяющие зоны описаний имени и позиционного обозначения элемента, 5 — номера выводов, 6 — величина емкости или сопротивления.

Информация, относящаяся к элементу и не зависящая при переходе от одной схемы к другой и изменении местоположения картинки внутри схемы, записывается в файл-макрос при его построении; обозначения, зависящие от места использования изображения элемента (величины емкостей и сопротивлений), расставляет разработчик на экране графического дисплея. Графические примитивы, используемые для построения изображения элемента («точки подсказки», линии, буквы и цифры), ставятся по определенным правилам в заданные позиции для того, чтобы при обработке файла-описания рисунка схемы программа-транслятор могла однозначно их распознавать. Из набора созданных таким образом

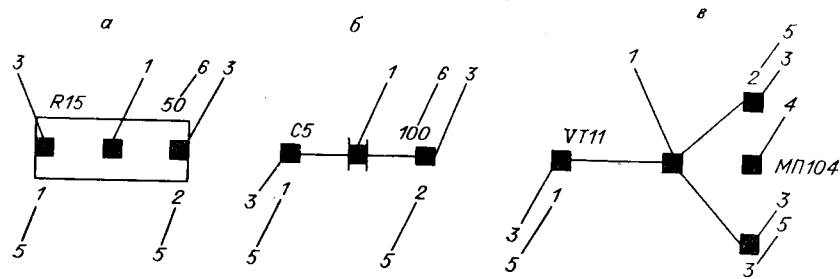


Рис. 3

файлов-макросов формируется библиотека изображений элементов, которая хранится на магнитном диске.

Рисунок схемы строится путем вызова на экран дисплея изображений элементов и соединения точек контактов линиями, имеющими определенные маски и обозначающими проводники. Для удобства разработчика предусмотрена возможность строить графические фрагменты типа «шина» или «жгут»; считается, что проводник, вошедший в шину, имеет общий с ней путь вплоть до той точки, где он выходит из нее; точки входа и выхода имеют цифровую маркировку. Кроме того, можно создавать изображения элементов типа разъем, земля, контактное пересечение проводников и вход-выход внешней связи.

Внешние связи могут быть двух типов: принадлежащие только данному листу схемы и ведущие к фрагментам схемы, которые строятся на других листах изображения и хранятся в отдельных файлах графического описания. Маркировка этих элементов и рисунка схемы в целом также производится по определенным правилам, обеспечивающим однозначное распознавание каждого компонента изображения, в то же время рисунок схемы удовлетворяет требованиям ЕСКД и может быть выведен на графопостроитель средствами САПР для получения чертежа на бумаге [16].

На рис. 4 приведен фрагмент схемы, построенный в соответствии с описанными правилами. Здесь 1 — «точка подсказки» вывода разъема;

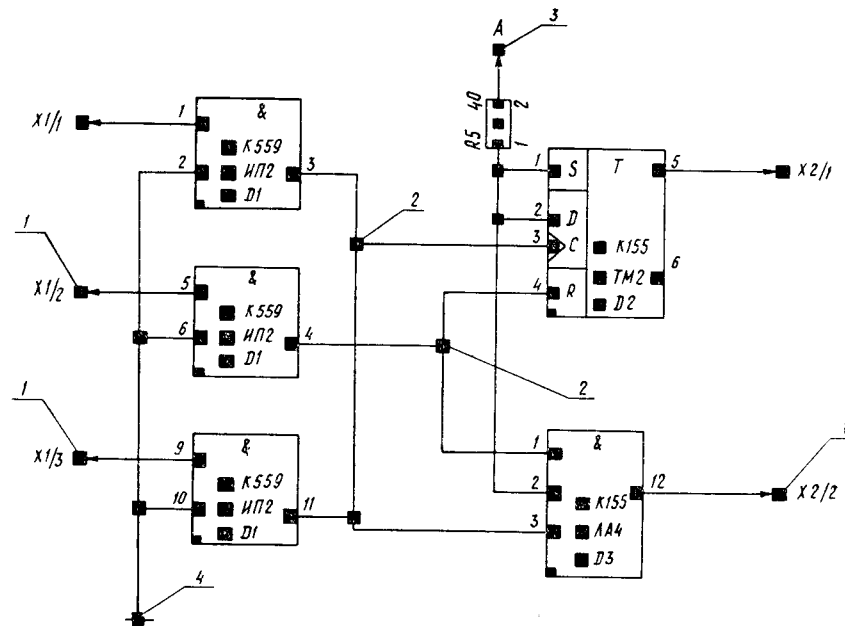


Рис. 4

2 — точка пересечения проводников, принадлежащих одной цепи; 3 — вывод внешней связи; 4 — заземление схемы.

**Работа транслятора.** Программа-транслятор обрабатывает двоичный файл представления графической информации о схеме, созданный графическим редактором, производит распознавание элементов изображения и строит списки связей, имен элементов и номеров графических фрагментов на простых входных языках программ автотрассировки и логического моделирования, как это описано в [11]. Нужно отметить, что способ обработки фрагментированных схем, выполненный в трансляторе, позволяет не только обрабатывать большие схемы, но и готовить входные списки для системы моделирования с разбивкой их по фрагментам, что дает возможность создания отображения работы электронной схемы на несколько графических экранов одновременно, реализуемую в настоящее время в системе логико-временного моделирования.

Одной из важных задач САПР является автоматизация документирования. С этой целью в составе транслятора созданы подпрограммы, использующие информацию об именах элементов, подготовленную на этапе построения списков, для получения файлов, содержащих перечень элементов, спецификацию и ведомость покупных изделий для обрабатываемой схемы, выполненных в соответствии с требованиями ЕСКД. Подпрограммы документирования используют информационные файлы, которые содержат сведения о технических условиях (ТУ) на элементную базу. В данной редакции транслятор не формирует ТУ для конденсаторов и резисторов, так как для этого требуется либо слишком сложная информационная база, либо внесение в рисунок схемы лишней информации, не соответствующей ГОСТу на изображения элементов принципиальных схем. Для этих элементов ТУ формируются в режиме ручного редактирования текстовым редактором. Так же заносится в файл номер документа и другая изменяемая сопроводительная информация, содержащаяся в штампе документа. Такое совмещение автоматического построения и ручного дополнения получаемой документации обеспечивает достаточно высокую скорость документирования и в то же время позволяет избежать больших сложностей, которые могли бы возникнуть, если бы эта задача решалась полностью в автоматическом режиме.

Так как рисунок схемы строится в соответствии с требованиями ЕСКД и может быть выведен на графопостроитель, то почти вся документация, относящаяся к конкретной схеме, получается средствами подсистемы ввода и обработки графических изображений принципиальных схем РЭА, ядром которой является транслятор. Эксплуатация транслятора совместно с программой вывода чертежей существенно повысила пропускную способность технологической цепочки, качество и быстроту документирования.

Программа-транслятор состоит из 20 отдельных модулей и содержит около 6000 операторов языка Паскаль, в ней широко использована оверлейная структура перекрытий программных секций, оперативная память распределяется динамически, и по мере обработки внутренних промежуточных списков занимаемая ими память освобождается. Весь комплекс программного обеспечения САПР работает в операционной среде ОС — РВ.

**Заключение.** Правила построения изображений схем и радиоэлементов совместно с использованием транслятора графических изображений схем позволяют одновременно решать три трудоемкие задачи ввода информации в САПР: создавать списки цепей и имен элементов для программ автотрассировки и авторазмещения, списки номеров масок фрагментов рисунка для системы логико-временного моделирования с графическим отображением работы схемы и автоматизировать процесс получения конструкторской документации в той его части, которая касается электронных схем. При этом уменьшается трудоемкость процесса построения рисунка схемы и ввода его в ЭВМ, а списки цепей, имен

элементов и номеров масок фрагментов рисунка получаются автоматически, и их создание не требует сколько-либо существенных затрат времени. Таким образом, реализуется своеобразный синтез автоматизации документирования — направления работ, описываемого в [10], и ввода информации о схеме в ЭВМ [5, 9].

Недостатком данной разработки можно считать жесткую зависимость транслятора от формата представления данных графического редактора PED. PED был реализован для работы с цветным растровым графическим дисплеем, поэтому использование транслятора для работы с другим типом графического дисплея прямо зависит от того, возможно ли применение редактора PED на линии с этим дисплеем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Л. Б., Дыбой В. Л., Межов В. Е. и др. Интерактивная графическая система нового поколения для САПР микроэлектроники // Автометрия.— 1986.— № 5.
2. Абрайтис Л. Б., Блонские И. С. Машинный метод проектирования топологического рисунка БИС // Упр. сист. и маш.— 1980.— № 4.
3. Петренко А. И., Тетельбаум А. Я., Забалуев Н. Н. Топологические алгоритмы трассировки многослойных печатных плат.— М.: Радио и связь, 1983.
4. Чачко С. А. Анализ и классификация ошибок проектировщика в автоматизированной системе проектирования // Кибернетика и вычислительная техника.— 1984.— № 61.
5. Sprigg V. Use of CAD to produce printed circuit artworks for board manufacture // CG-83: Comput. Graph. Int. Conf. Proc., London 1983, Pinner.— 1983.— P. 391.
6. Юрашанский Е. Г., Юрин К. Э. Система интерактивного редактирования топологии СБИС // Автометрия.— 1986.— № 4.
7. Грабинский Б. Р. Символьно-сканирующее кодирование в конструировании печатных плат // Упр. сист. и маш.— 1987.— № 1.
8. Шендерович Ю. И. Основные тенденции в автоматизации проектирования больших интегральных схем // Вопросы автоматизации проектирования интегральных схем: Сб. ст. АН УССР.— Киев: ИК, 1978.
9. Баталов Б. В., Русаков С. Г., Фролов В. В. и др. Комплекс программ автоматизированного расчета электрических характеристик интегральных схем на мини-ЭВМ (мини-АРИС) // Микроэлектроника и полупроводниковые приборы: Сб. ст./ Под ред. А. А. Васенкова.— М.: Радио и связь, 1984.— № 9.
10. May M., Mennecke P. Layout of schematic drawing // Syst. Anal. Modelling Simulation.— 1984.— 1, N 4.— P. 307.
11. Дементьев С. Г., Селиванов В. Г. Транслятор графического описания изображения принципиальной схемы РЭА в список цепей // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов».— Рига: ИЭиВТ АН ЛатвССР, 1986.— Т. 3.
12. Ковалев А. М., Талныкин Э. А. Графический дисплей растрового типа для систем двухкоординатного проектирования // Автометрия.— 1984.— № 4.
13. Талныкин Э. А. PED — графический редактор в системе проектирования печатных плат // Автометрия.— 1984.— № 5.
14. Тючкалов И. В. Структурный подход к задаче размещения разногабаритных элементов // Автометрия.— 1984.— № 6.
15. Селиванов В. Г., Тючкалов И. В. Моделирование работы электронных схем на логическом уровне // Электронное моделирование.— 1986.— 8.— С. 84.
16. Тючкалов И. В., Дементьев С. Г., Селиванов В. Г. PАР — графическая поддержка САПР // Тез. докл. рег. научн.-практ. конф. «Молодые ученые и специалисты — ускорению научно-технического прогресса».— Томск: Изд-во ТГУ, 1986.

*Поступила в редакцию 16 апреля 1987 г.*