

В. Е. МЕЖОВ

(Воронеж)

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
В ИНТЕРАКТИВНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ 15УТ-4-017**

Создание унифицированной интерактивной графической системы 15УТ-4-017 позволило автоматизировать наиболее трудоемкие этапы логического моделирования, схемотехнического проектирования, конструирования топологии ИС и БИС [1, 2]. В [2] приведены основные характеристики прикладного пакета программ проектирования печатных плат (ПП) с помощью системы 15УТ-4-017. В рамках настоящей работы рассматриваются язык описания исходных данных и диалога, а также основные методы решения задач проектирования ПП в системе 15УТ-4-017.

К языковым средствам общения при проектировании ПП в системе 15УТ-4-017 относятся язык описания исходных данных (ЯОИД) и язык диалога в процессе проектирования, которые являются подмножествами входного языка ЯЗОС-У [3].

Подмножество ЯОИД.

Состав программы на ЯОИД ::= <блок начала описания (БНО)>
<блок описания библиотечных элементов (БОБ)>
<блок описания контура платы (БОП)>
<блок описания компонентов (БОК)>
<блок описания связей (БОС)>
<блок описания текста (БОТ)>
<блок окончания ввода (БОВ)>

Структура каждого блока представляется в следующем виде:

<структура блока> ::= <идентификатор названия блока (ИН)>
<рабочие операторы блока (РО)>
<оператор конца блока (ОК)>

<ИН> ::= <ИН БНО>/<ИН БОБ>/<ИН БОП>/<ИН БОК>/<ИН БОС>/
<ИН БОТ>/<ИН БОВ>

<ИН БНО> ::= .PES
<ИН БОБ> ::= .LIV
<ИН БОП> ::= .VOA
<ИН БОК> ::= .COM/.REF
<ИН БОС> ::= .CON
<ИН БОТ> ::= .TEX
<ИН БОВ> ::= CTRLZ

<РО> ::= <РО БОБ>/<РО БОП>/<РО БОК>/<РО БОС>/<РО БОТ>/
<РО БОВ>

<РО БОБ> ::= <идентификатор библиотечного элемента (ИБЭ)> — <X₀> —
<Y₀> — <N₀> — <X₁> — <Y₁> — <N_n>/<РО БОБ><N_{px}> —
<[S_x — S_y]/<РО БОБ><N_{py}> — <[-S_x — -S_y]

<ИБЭ> ::= <L><число>

<X₀>, <Y₀> — размеры элемента; <N₀> — общее количество выводов (контактных площадок (КП)) библиотечного элемента; <X₁>, <Y₁> — координаты центра контактной площадки левого нижнего угла библиотечного элемента (принятого за точку отсчета координат); <N_n> — код контактных площадок, характеризующий их типоразмер; <N_{px}> — число КП по оси X; <N_{py}> — число КП по оси Y; S_x — шаг размещения КП по оси X; S_y — шаг размещения КП по оси Y;

<РО БОП> ::= <L><n + 1>

$$\langle X'_1 \rangle - \langle Y'_1 \rangle$$

$$\langle X'_n \rangle - \langle Y'_n \rangle$$

$$\langle X'_1 \rangle - \langle Y'_1 \rangle$$

n — число углов контура платы; $\langle X'_1 \rangle, \langle Y'_1 \rangle; \dots; \langle X'_n \rangle, \langle Y'_n \rangle$ — координаты точек излома контура платы

$\langle PO \text{ БОК} \rangle ::= \langle \text{идентификатор компонента (ИК)} \rangle - \langle \text{ИБЭ} \rangle / \langle \text{ИК} \rangle$
 $\langle N_n - N_q \rangle - \langle \text{ИБЭ} \rangle / \langle PO \text{ БОК} \rangle - \langle N_c \rangle / \langle PO \text{ БОК} \rangle - \langle N_o \rangle$
 $\langle \text{ИК} \rangle ::= \langle \text{идентификатор} \rangle$

N_n, N_q — начальный и конечный номера компонента данного типа;
 N_c — код слоя ПП; N_o — код ориентации компонента;

$\langle PO \text{ БОС} \rangle ::= \langle .\text{СОДЕ} \rangle - \langle N_m \rangle / \langle \text{ИК} \rangle - \langle N_p \rangle - \langle \text{ИК} \rangle - \langle N_p \rangle \langle PO \text{ БОС} \rangle$
 $- \langle \text{ИК} \rangle - \langle N_p \rangle / \langle \text{ИК} \rangle \langle N_n - N_q \rangle - \langle N_p \rangle \langle PO \text{ БОС} \rangle$

$\langle .\text{СОДЕ} \rangle$ — идентификатор; $\langle N_m \rangle$ — код, определяющий ширину проводника связи; $\langle N_p \rangle ::= \langle \text{число} \rangle$ — номер вывода (контакта) компонента;
 $\langle PO \text{ БОТ} \rangle ::= \langle .\text{СОДЕ} \rangle - \langle N_m \rangle \langle \text{необходимый текст (НТ)} \rangle \langle N_c \rangle - \langle N_o \rangle - \langle N_s \rangle / \langle PO \text{ БОТ} \rangle \langle \text{НТ} \rangle \langle N_c \rangle - \langle N_o \rangle - \langle N_s \rangle$

N_s — код обозначения зеркального отображения текста;
 $\langle OK \rangle ::= .EOF$

Для редактирования или перемещения файлов исходных данных во внешней памяти системы 15УТ-4-017 применяются операторы, описанные в [2].

Подмножество ЯДП. Для эффективной организации с помощью ЯДП интерактивного диалога в процессе проектирования ПП использованы два основных вида операторов — генерации процедур автоматизированного проектирования и вызова процедур проектирования. Первые соответствуют управляющим директивам пользователя, по которым готовится необходимый набор процедур для их последующего вызова в режиме проектирования, т. е. осуществляется генерация состояния ожидания прерывания по запросу. Второй вид операторов — директивы, позволяющие непосредственно выполнять прерывание по запросу и тем самым загружать в ОЗУ ЭВМ необходимый программный модуль, соответствующий выбранной процедуре.

Состав программы и структура блоков ЯДП имеют следующий вид:
 $\langle \text{состав программы на ЯДП} \rangle ::= \langle \text{блок генерации процедур проектирования (БГП)} \rangle \langle \text{блок вызова процедур (БВП)} \rangle$

$\langle \text{структура блока} \rangle ::= \langle \text{операторы БГП} \rangle \langle \text{операторы БВП} \rangle$

$\langle \text{оператор БГП} \rangle ::= \langle \text{наименование функции проектирования (НФП)} \rangle$
 $\langle N_F \rangle ::= 1/2/3/4/5$

N_F — обозначение клавиш функциональной клавиатуры СД-номеров функций проектирования;

$\langle \text{НФП} \rangle ::= \langle \text{идентификатор} \rangle$.

Функции проектирования включают ввод-вывод данных, ручное размещение компонентов ПП, ручную трассировку связей компонентов, автоматическое размещение компонентов, автоматическую трассировку связей компонентов, проверку технологических допусков.

$\langle \text{оператор БВП} \rangle ::= \langle \text{идентификатор процедуры проектирования (ИПП)} \rangle / \langle N_p \rangle / \langle \text{запрос системы (ЗС)} \rangle / \langle \text{параметр процедуры} \rangle$

$\langle \text{ИПП} \rangle ::= \langle \text{идентификатор} \rangle$

$\langle N_p \rangle ::= 1/2/3/4/5$

N_p — номер процедуры проектирования;

$\langle \text{ЗС} \rangle ::= \langle \text{идентификатор} \rangle$

$\langle \text{параметр процедуры} \rangle ::= \langle \text{ФК} \rangle / \langle \text{идентификатор} \rangle / \langle \text{команда прерывания от маркера} \rangle$

$\langle \text{ФК} \rangle$ — функциональная клавиша СД.

Для реализации функции ввода-вывода данных предусмотрены следующие процедуры: ввод исходных данных в ASCII-кодах, вывод файла

топологии ПП, удаление элементов ПП из файла, дополнительный ввод элементов ПП, выход из режима проектирования, закрытие файла топологии, вывод управляющей информации для сверлильных станков, вывод информации на фотографопостроитель, получение информации для автоматизированной сборки ПП.

Основой комплекса проектирования ПП являются программные модули размещения элементов ПП и трассировка их связей.

Предусмотрено решение задачи размещения в ручном и автоматическом режимах. В ручном режиме оператор с помощью маркера графического дисплея может определить координаты точек привязки $x \in X$, $y \in Y$ по выбранному критерию обеспечения конструктивно-технологических ограничений.

Для автоматического размещения элементов ПП в системе 15УТ-4-017 используется вариант предварительного ручного размещения по матрице с последующей коррекцией размещения согласно критерию уменьшения суммы длин связей, который допускает вмешательство разработчика на любом итерационном цикле.

Для оценки качества размещения элементов ПП применяется следующее соотношение:

$$(\exists x_i^{(\mu)} \in X; \exists y_i^{(\mu)} \in Y) \Rightarrow L_{\text{св}}^{(\mu)} = \min_{n=1, \tau} (L_n),$$

$$L_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^k l_{im},$$

где $x_i^{(\mu)}, y_i^{(\mu)}$ — набор координат точек привязки элементов ПП μ -го цикла размещения; $L_{\text{св}}^{(\mu)}$ — показатель оценки качества размещения; L_n — общая длина связей элементов ПП; τ — число циклов размещения; p — число элементов ПП; k — число связей i -го элемента; l_{im} — длина m -й связи i -го элемента.

Данный метод размещения прост в реализации, обладает высоким быстродействием; при этом эффективно используется память ЭВМ.

В режиме размещения предусмотрено выполнение операций указания посадочных мест элементов ПП, линейного перемещения и вращения элементов, а также линейного сдвига и матрицы размещения. Эти операции осуществляются либо с помощью задания необходимых числовых значений на клавиатуре символьного дисплея, либо с помощью маркера управления графическим дисплеем (ГД) после вызова требуемой операции.

Для автоматической трассировки соединений элементов в системе 15УТ-4-017 применяется эвристический алгоритм ортогонального типа. Модель коммутационного поля представляет собой набор ортогональных магистралей со сторонами, параллельными осям X и Y монтажного поля платы.

Такая модель в ОЗУ ЭВМ представляется множеством зон (ячеек), образуемых выбранной для проектирования сеткой с шагом H_n . Зоны идентифицируются признаком, который показывает, занят или нет данный набор (или отдельная зона) отрезками трасс проводников, контактными площадками, монтажными отверстиями.

Для хранения модели монтажного поля, образованного множеством зон, в памяти ЭВМ используется списковая файловая структура, имеющая частично-последовательную организацию. Файл начинается с описания левой нижней зоны на поле платы при ее «стандартном» положении (вид со стороны навесных элементов, разъемы внизу) и состоит из разделов, каждый из которых определяет законченный в направлении X платы ряд зон. Информация о местоположении раздела с требуемой зоной хранится в справочнике файла, описывающего модель монтажного поля платы, и имеет такую последовательность построения: координаты точки привязки начальной зоны; признак занятости зон; число

подряд идущих зон, соответствующих данному признаку; признак занятости; число зон и т. д.

Максимальный объем ОЗУ при таком представлении модели поля ПП для режима автоматической трассировки определяется следующими выражениями:

$$G = 2I + 6J + N_x/2 + N_y/2 + 1,2 \text{ СЭ},$$

$$G < 8000,$$

где I — число контактов, занимающих по одному ШКС; J — число контактов, занимающих более одного ШКС; N_x и N_y — число шагов сетки по оси X и Y соответственно.

Задача трассировки для каждой отдельной связи сводится к выбору зон, определяющих размеры и направление отрезков (сегментов) данной трассы.

Работа алгоритма осуществляется по следующим основным этапам: определение размера ортогональных магистралей трассировки, составление списка связей, определение порядка соединений, прокладка трасс.

Составление списка связей и определение порядка соединений проводятся с учетом ортогональности проводящего рисунка печатных плат, при которых трассы прокладываются параллельно координатным осям по свободным зонам, причем горизонтальные и вертикальные отрезки располагаются в смежных слоях ПП, а межслойные переходы выбираются в местах пересечения магистралей.

Данный алгоритм требует в несколько десятков раз меньше вычислений, чем алгоритмы, основанные на волновом принципе, и обеспечивает трассировку до 85% связей элементов ПП. Имея преимущество в простоте реализации и обладая приемлемым быстродействием, алгоритм позволяет оптимальным образом организовать распределение памяти для своей работы. Затраты памяти, отводимые под начальные рабочие файлы при программной реализации алгоритма, определяются геометрическими размерами платы и числом контактов и компонентов по следующей формуле:

$$\sigma = [(X_2 - X_1) + 1] + [Y_2 - Y_1] + 2 \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^k t_{im},$$

где σ — емкость ОЗУ в байтах; X_1, Y_1, X_2, Y_2 — координаты левой нижней и правой верхней точек координатной сетки чертежа печатной платы в ШКС; t_{im} — количество контактов i -го элемента.

Величина σ не остается постоянной во время работы программы трассировки, а растет пропорционально числу проложенных отрезков трасс.

Связи элементов ПП, не разведенные с помощью алгоритма автоматической трассировки, проектируются в ручном режиме при помощи устройства управления маркером на экране ГД с использованием интерактивных процедур «Построение отрезка прямой», «Построение замкнутой области», «Модификация отрезка и области», «Перемещение отрезка прямой» и «Удаление отрезка прямой».

После выполнения процедур размещения и трассировки в системе предусмотрен контроль допустимых расстояний «проводник — проводник», «проводник — контактная площадка (КП)», «проводник — металлизированное отверстие (МО)», «КП — КП», «КП — МО». При обнаружении ошибок в местах нарушений высвечивается идентификатор, определяющий характер ошибок.

Нарушения минимальных расстояний «проводник — КП» или «проводник — МО» устраняются автоматически с помощью алгоритма сужения критического участка проводника.

На заключительном этапе проектирования ПП система обеспечивает получение управляющей информации для подготовки чертежей ПП на

графопостроителях ЭМ-721, ЭМ-732, ЭМ-7022, для создания фотооригиналов на установках КПА-1200, ЭМ-538 (и др.), для автоматической сверловки и сборки ПП на станках с ЧПУ с оптимизацией времени их работы.

... системы автоматического проектирования 15УТ-4-017.— Электрон. пром-сть, 1979, вып. 6.

3. Толстых Б. Л., Межов В. Е. Входной графосимволический язык интерактивной графической системы 15УТ-4-017.— Электрон. техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1979, вып. 4.

*Поступила в редакцию 4 июня 1982 г.;
окончательный вариант — 28 июля 1982 г.*
