

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Ц84а
П-217

12/v-75

11 - 8642

1732/2-75

В.Л.Пахомов, В.П.Коротков, А.И.Салтыков

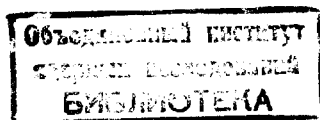
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГРАФ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

1975

11 - 8642

В.Л.Пахомов, В.П.Коротков, А.И.Салтыков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ Г Р А Ф
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ



В В Е Д Е Н И Е

Одной из характерных особенностей современных экспериментальных установок является широкое использование радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), изготовленной в различных системах и стандартах.

На блоки ядерной электроники возлагаются все более и более сложные задачи, что приводит к их усложнению, накладывает жесткие требования на технологию изготовления и увеличивает их удельный вес в создаваемых установках для физического эксперимента. Все это вступает в противоречие с конкретными возможностями их реализации. Чем сложнее требуется установка, тем более трудоемким становится процесс ее разработки и изготовления. Возможные сроки окончания разработок начинают сдерживать темпы развития современных экспериментальных исследований.

Радикальным средством сокращения сроков создания физических установок является автоматизация процессов их проектирования и изготовления. Несмотря на большой интерес к проблеме автоматизации проектирования вообще и к автоматизации проектирования и технологического изготовления блоков РЭА в

частности, вопросы использования этих методов не заняли ещё того места в практике проектирования, которого они, без сомнения, заслуживают.

Это соображение явилось одним из основных критериев при разработке системы ГРАФ. Главное внимание уделялось не только и даже не столько оригинальности и новизне предлагаемых методов, сколько их практической направленности.

Широкое внедрение методов автоматического проектирования и изготовления печатных плат и другой радиоэлектронной аппаратуры по существу не требует почти никаких дополнительных материальных затрат, а только необходимых организационных мероприятий.

Главным и необходимым условием является создание программного обеспечения системы автоматического проектирования и изготовления, позволяющего эффективно использовать имеющиеся в научных ядерных центрах оборудование и средства вычислительной техники.

Совершенствование технической базы - переход от дискретных полупроводниковых элементов к интегральным микросхемам, уменьшение размеров, ввод более жестких стандартов, совершенствование технологии - происходит во всё нарастающем темпе. Поэтому техническая база сложной экспериментальной установки часто успевает морально устареть ещё на этапе её проектирования.

Таким образом, первым доводом, определяющим необходимость совершенствования методов проектирования и изготовления, является требование сокращения сроков разработки. Вторым доводом - возможность сокращения (за счет автоматизации) потребности в непрерывном росте численности коллективов

разработчиков, которая приводит к снижению удельной производительности из-за трудностей эффективного управления.

Третий довод - повышение качества проектирования и изготовления. При "ручных" методах проектирования документация содержит значительное количество как принципиальных, так и технических ошибок, возникающих в процессе её оформления (черчения, копирования и т.п.), выявляемых в ходе производства. Общее количество последующих изменений нередко имеет тот же порядок, что и количество документов в комплекте документации.

Вместе с тем широкому применению методов автоматизации в этой области способствует наибольшая подготовленность инженеров-разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, поскольку в основе их лежит широкое использование возможностей, представляемых универсальными электронно-вычислительными машинами.

Система ГРАФ позволяет выполнять трассирование соединений на растре 246 x 146 с шагом 1,25 мм. Причем соотношение автоматического и "ручного" трассирования может меняться в пределах от 0 до 100%.

Система ГРАФ рассчитана на размещение до 100 интегральных микросхем на плате, или до 2000 характерных точек на каждом слое платы.

Система ГРАФ обеспечивает непосредственное изготовление плат на полуавтоматах АДМАП всех моделей, получение фотооригиналов в любом масштабе (до размера 800 x 800 мм) и обеспечивает обмен информацией со всеми ЭВМ ОИЯИ путем использования совместимых накопителей на МЛ типа ЕС и СДС.

Система ГРАФ может использоваться с фортранных станций. Система написана в основном на языке ФОРТРАН с необходимыми включениями программ на автокоде МАДШЕН для ЭВМ БЭСМ-6. Для работы с системой не требуется заказа библиотечных лент. Личная библиотека с системой ГРАФ записана на МЛ, длина её 15 зон. Счет идет с использованием динамического загрузчика. Создано также необходимое математическое обеспечение на ЭВМ "Наири-2".

Общая блок-схема системы ГРАФ приведена на рис. I.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ ПРОБИВКЕ ПЕРФОКАРТ

Пробивку п/карт можно проводить на устройствах УПП-М-220, УШ-БЭСМ-6, ИСЛ-72, ИСТ-68, АРИТМА-130, АРИТМА-131^{1/2}. При этом необходимо выполнять следующие требования:

1. П/карта заполняется данными не более чем до 72-ой позиции, начиная с первой.
2. В интервале с 1-ой по 72-ю позицию разрешается вносить описание не более девяти точек.
3. На каждой п/карте после 72-ой позиции для удобства работы можно указать номер п/карты или любую другую информацию.
4. Переносить описание характерной точки (типа точки) или интегральной микросхемы с одной п/карты на другую ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

После пробивки п/карты следует по надпечатке проверить её на соответствие закодированным данным. Заметим, что если описание каждой линии схемы полностью содержится на одной п/карте, то п/карты в колоде данных можно тасовать в любом порядке. При кодировании рекомендуется пользоваться специальными бланками.

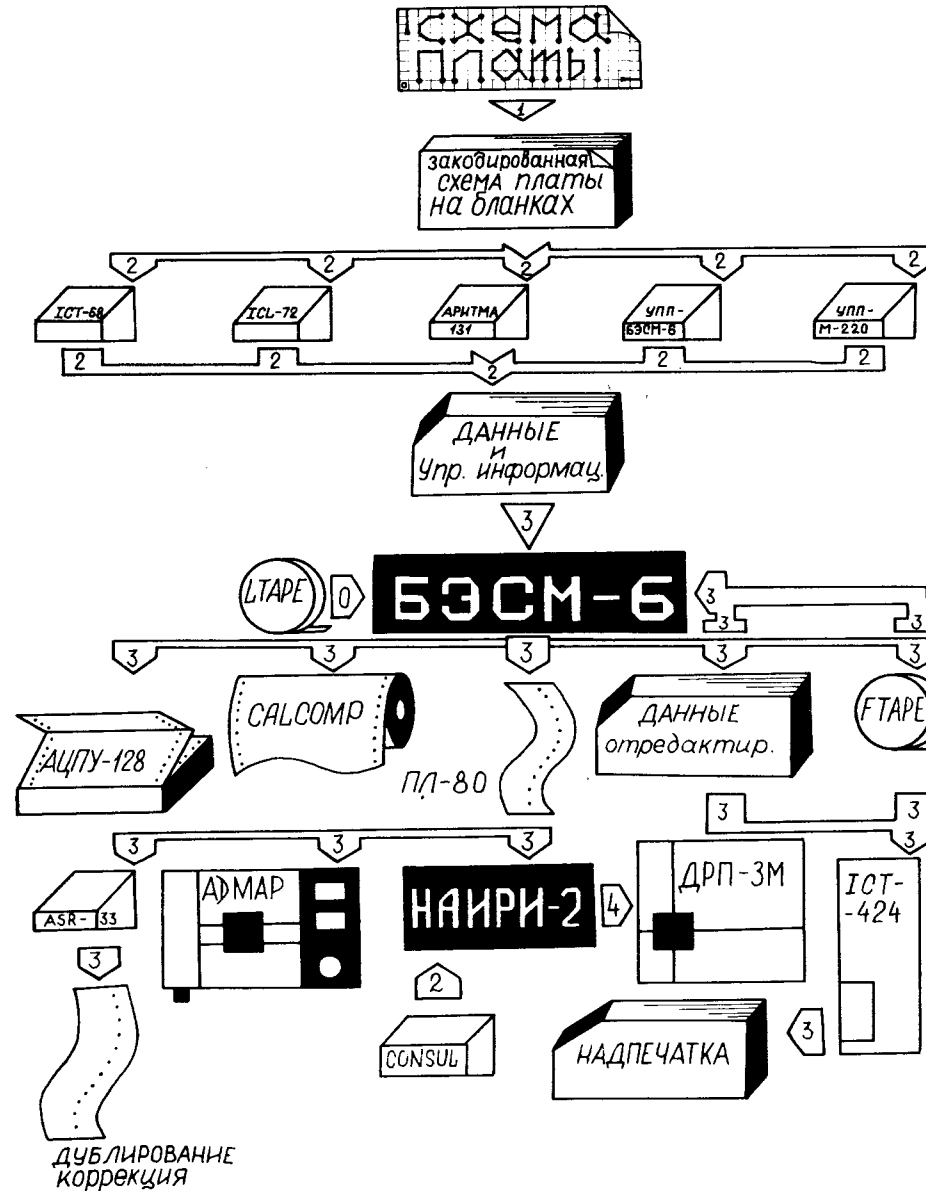


Рис. I. функциональная блок-схема системы ГРАФ.

ТРАССИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ

Система ГРАФ может осуществлять трассирование соединений (получение 2-слойной платы с печатным монтажом) независимо от применяемых типов функциональных элементов и разъемов на платах произвольной конфигурации до размера стандарта КАМАК включительно.

Разделение соединений по слоям платы производится автоматически, исходя из требований минимальной длины печатных соединений и их ортогональности на разных слоях платы.

Соединения, трассирование которых оказалось невозможным, печатаются в виде таблицы оптимального навесного монтажа.

Трассирование соединений осуществляется на свободном поле платы, оставшемся после задания положения функциональных элементов, проводников, запрещенных зон и так далее, на растре с шагом 1,25 мм.

При кодировании необходимо выполнение следующих условий:

1. Задать расположение функциональных элементов (микросхем) на рисунке платы или расположение соединяемых точек.

2. Конец (начало) соединения система ГРАФ определяет в п/карте по 8 пробелам в конце (начале) групп соединяемых точек (комплексов).

Пример:

I
↓

M, I, 20, B100, IO, MI00030, M099, 45

Заметим, что если необходимо получение навесного монтажа (например, для укладки шин и кабелей в стойке), то ГРАФ может выдать попутно таблицу оптимального навесного монтажа.

СОСТАВЛЕНИЕ РИСУНКА ПЛАТЫ С ПЕЧАТНОЙ СХЕМОЙ

Рисунок печатной схемы слоев платы выполняется на растровой бумаге в удобном для составителя масштабе, например, на миллиметровой бумаге в масштабе 2:1 (лучше всего пользоваться специальными бланками). Соединения разных сторон (слоев) платы удобнее выполнять в разных цветах. Контактные площадки следует размещать в узлах координатной сетки (см. рис. 2, 3). Максимальные размеры платы не должны превышать 182,5 x 307,5 мм, что соответствует растру 146 x 246 точек. При проектировании рисунков печатных схем разрешается использовать 8 направлений, т.е. проводник должен идти по узлам растра. При дальнейшем кодировании слоев платы кодировку можно производить в любом порядке, т.к. ГРАФ оптимизирует процесс обхода рисунка платы при ее изготовлении.

КОДИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В программе ГРАФ предусмотрены четыре фиксированных положения интегральной микросхемы относительно её первого вывода (ножки). Необходимое положение микросхемы при кодировке достигается указанием номера ориентации (см. рис. 4), а также координат её первого вывода. На п/карте указывается символ "M", затем номер ориентации и координаты первого вы-

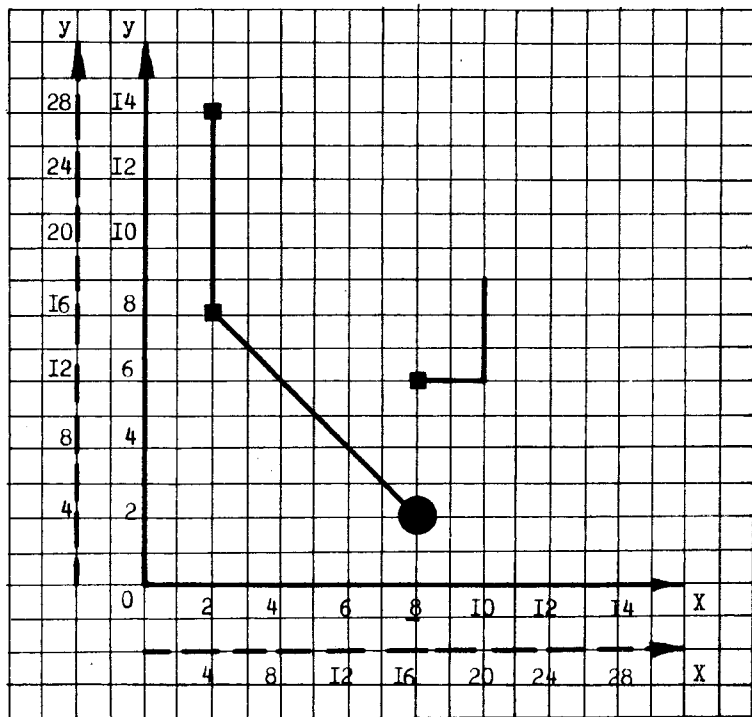


Рис.2. Расположение линий на растрах.

вода на определенных позициях. Описание следующей интегральной микросхемы должно начинаться через две позиции (два пробела). Координаты X и Y должны занимать по три соответствующих позиции.

Пример: (см. рис.4)

```
I
↓
M1...3...3...101...10...
```

```
I
↓
M4...12...15...10...99...
```

КОДИРОВАНИЕ РИСУНКА ПЛАТЫ

1.1. Жесткий формат

Жесткий формат применяется при кодировании плат, печатный монтаж которых выполнен на растре с шагом 1,25 мм. При кодировании рисунка платы в этом формате необходимо учитывать следующие особенности:

1. В жестком формате отсутствует символ признака окончания линии "□" (см. далее), а введен символ признака её начала "Г".

2. При набивке п/карт информация о координатах X и Y должна занимать соответственно по три позиции (см. рис.2).

Пример:

```
I
↓
TM...2...14...M...2...8...V...8...2TM...8...6
```

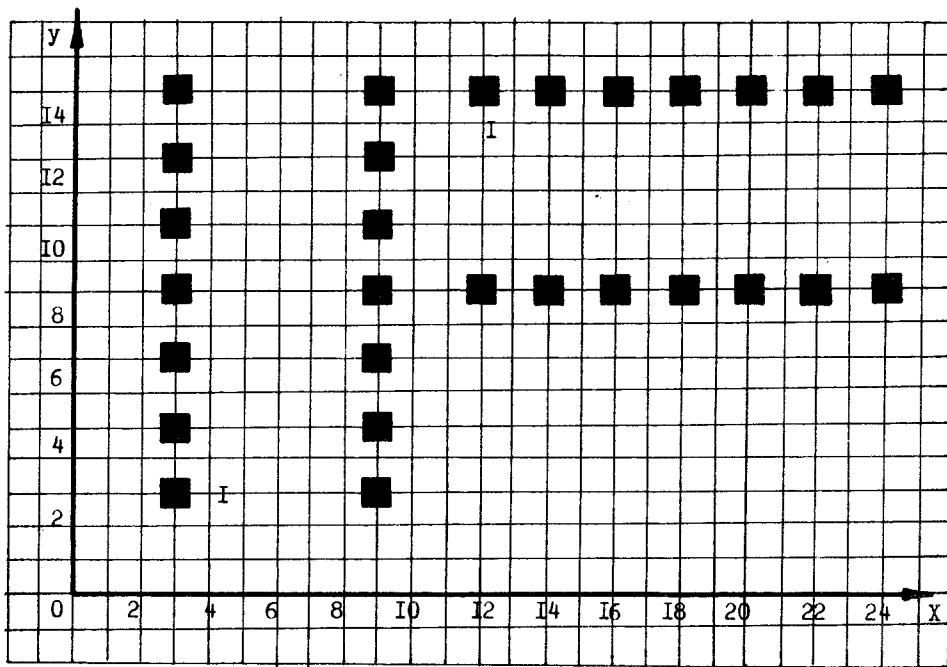


Рис.3. Расположение контактных площадок для выводов интегральных микросхем на растре 1,25 мм.

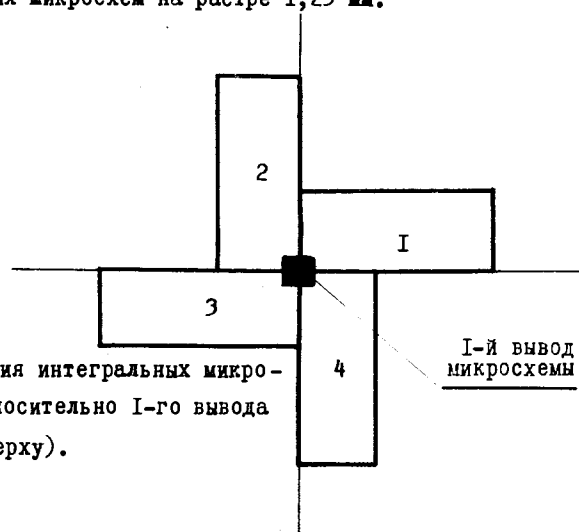


Рис.4. Ориентация интегральных микросхем относительно I-го вывода (вид сверху).

1.2. Свободный формат

Свободный формат применяется при кодировании плат или частей плат, печатный монтаж которых невозможно разместить на растре с шагом 1,25 мм. В нем можно использовать шаг 2,5 мм (большой шаг АДМАПа) и 0,25 мм (малый шаг АДМАПа).

Для описания рисунка печатного монтажа применяются следующие символы:

- М - малая точка припайки и сверление малых отверстий;
- В - большая точка припайки и сверление больших отверстий;
- I - точка излома проводника;
- З - за два малых шага до этой точки перо АДМАПа поднимется и после её прохождения, через I малый шаг, опустится, если необходимо;
- § - сверление большого отверстия;
- С - сверление малого отверстия;
- § - конец описания точки (аналог перевода строки - возврата каретки для размещения на I-ой п/карте описания более одной точки);
-] - признак последней точки соединения (конец проводника);
- , - разделитель;
- . - разделитель;
- ⌋ - игнорируется.

Данные в свободном формате диагностируются и обрабатываются только частью системы ГРАФ, так как вся система рассчитана на шаг 1,25 мм.

Описание любой точки соединения должно начинаться с указания координат в соответствующих шагах по оси X и Y, затем

указывается тип точки и, если надо, признак конца проводника. Заканчиваться описание точки должно символом " \$ ".

Для облегчения кодирования и набивки п/карт свободный формат допускает опускание повторяющихся значений координат и символов характера точек.

Пример: (см. рис.2)

| Полное описание | Упрощенное описание |
|-----------------|---------------------|
| I,7,M \$ | I,7M \$ |
| I,4,M \$ | ,4 \$ |
| 4,I,B J \$ | 4,IB J \$ |
| 4,3,M \$ | ,3M \$ |
| 5,3,I \$ | 5I \$ |
| 5,4.5,I J \$ | ,4.5 J \$ |

Тип (характер) точки J, введенный для исключения повторного рисования контактных площадок и т.п., можно не применять, так как эти точки определяются программно.

Кодирование соединений можно производить в любой последовательности, так как в системе ГРАФ предусмотрена оптимизация очередности обхода соединений как при сверлении, так и при рисовании. После кодирования рисунка платы переходят к набивке п/карт. Для удобства последующей проверки информации по надпечатке в п/карте рекомендуется до и после символа " \$ " делать по пробелу.

Пример:

```
I
↓
I,7M $  ,4 $  4,IB J $
```

ПОДГОТОВКА ПАКЕТА ЗАДАЧИ

Пользователь, работая с системой ГРАФ, может за один проход ЭВМ БЭСМ-6 получить желаемые результаты обработки задачи сразу о нескольких типах плат с печатным монтажом, пакеты данных которых будут располагаться в СТРОГОМ соответствии с описываемой ниже компоновкой пакета задачи (см. рис.5).

I. Пакет задачи

```
1
↓
* NAME  _
* ASSIGN TIME  _
* PASS  _
* ASSIGN LTAPE  _ _ _ _ R(1)
* CHECK (1)  _
* PERSONAL LIBRARY
* NO  _ LOAD  _ LIST
* CALL  _ FICMEMORY
* EXECUTE
```

-п/карты мониторной системы "ДУБНА"

```
1
↓
BOF - (END OF FILE) - пакет данных для n-плат;
                               п/карта, сообщающая об окончании данных,
1
↓
* END  _ FILE           содержащихся в пакете задачи;
                               - п/карта мониторной системы "ДУБНА";
                               п/карта - диспетчерский конец.
```

Примечание: Если в задаче есть указание на выдачу результата на п/карты или работу с рабочей МЛ, то необходимо в управляющие п/карты мониторной системы "ДУБНА" добавить соответствующие п/карты:

```
↓
* ASSIGN  _ PUNCH
* ASSIGN  _ FTAPE
```

П/карты, расположенные после п/карты E O F, не обрабатываются системой.

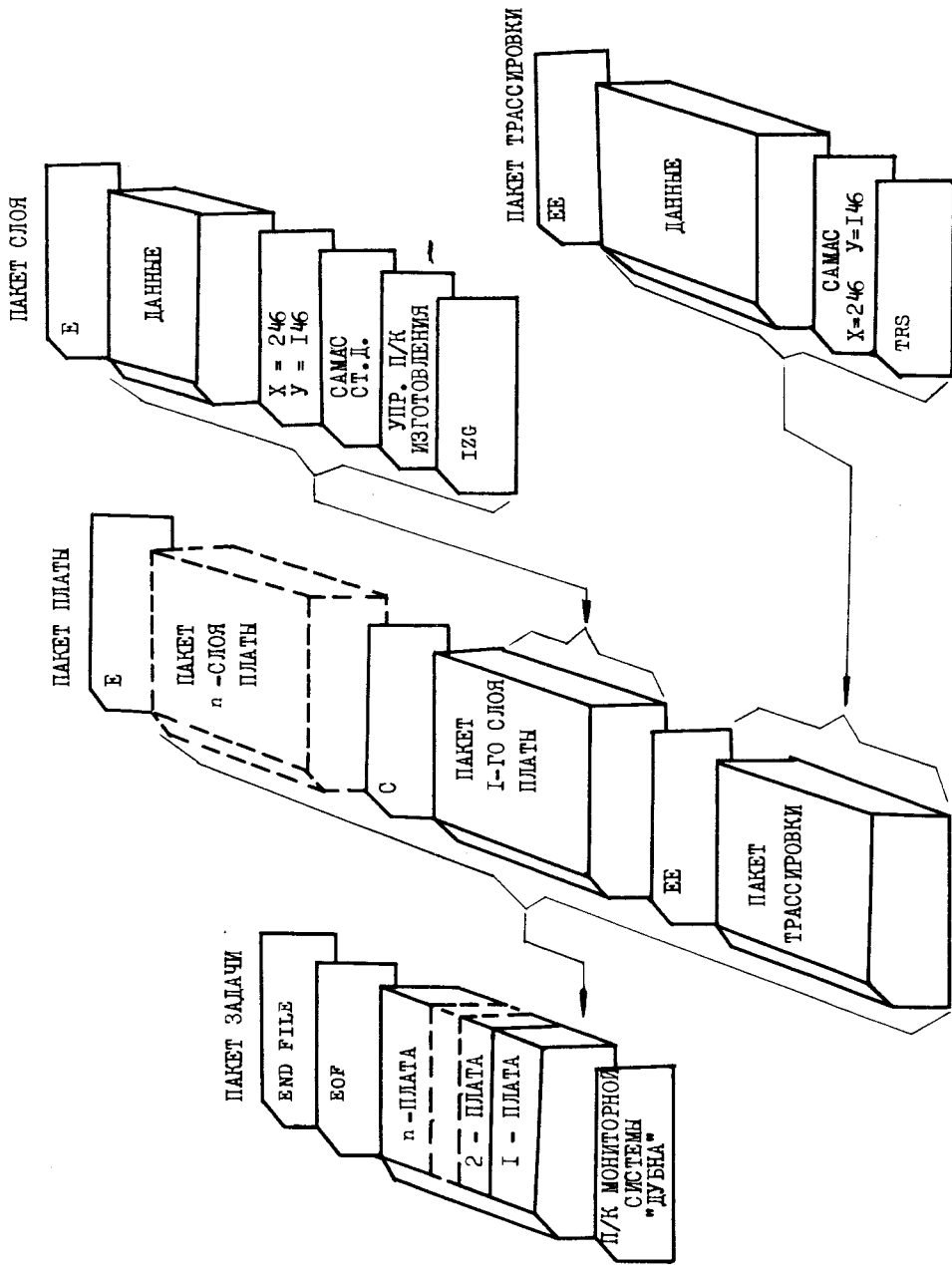


Рис.5. Схема компоновки кода перфокарт для ввода в БЭМ-6.

1.1. Пакет платы

Пакет платы содержит в себе:

- 1) пакет трассировки;
- 2) п/карту, признак конца данных; для трассировки

I
↓
EE

- 3) пакет данных I-го слоя платы (сторона монтажа);
- 4) п/карту с указанием символа "C" (*continue*) - продолжение данных;

I
↓
C

- 5) пакет данных n-слоя платы;
- 6) п/карту - признак конца данных; платы (END)

I
↓
E

1.1.1. Пакет трассировки

Содержание пакета:

- 1) управляющая п/карта трассирования

I
↓
TRS

- 2) п/карта с названием платы и её размерами.

Пример:

I
↓
ЛВТА 246 146 комментарий по 12 н/з.

- 3) данные для трассировки;
- 4) п/карта, характеризующая конец данных (совпадает с п/картой 2 п.1.1).

1.1.2. Пакет слоя

Пакет слоя комплектуется в следующем порядке:

1) п/карта изготовления

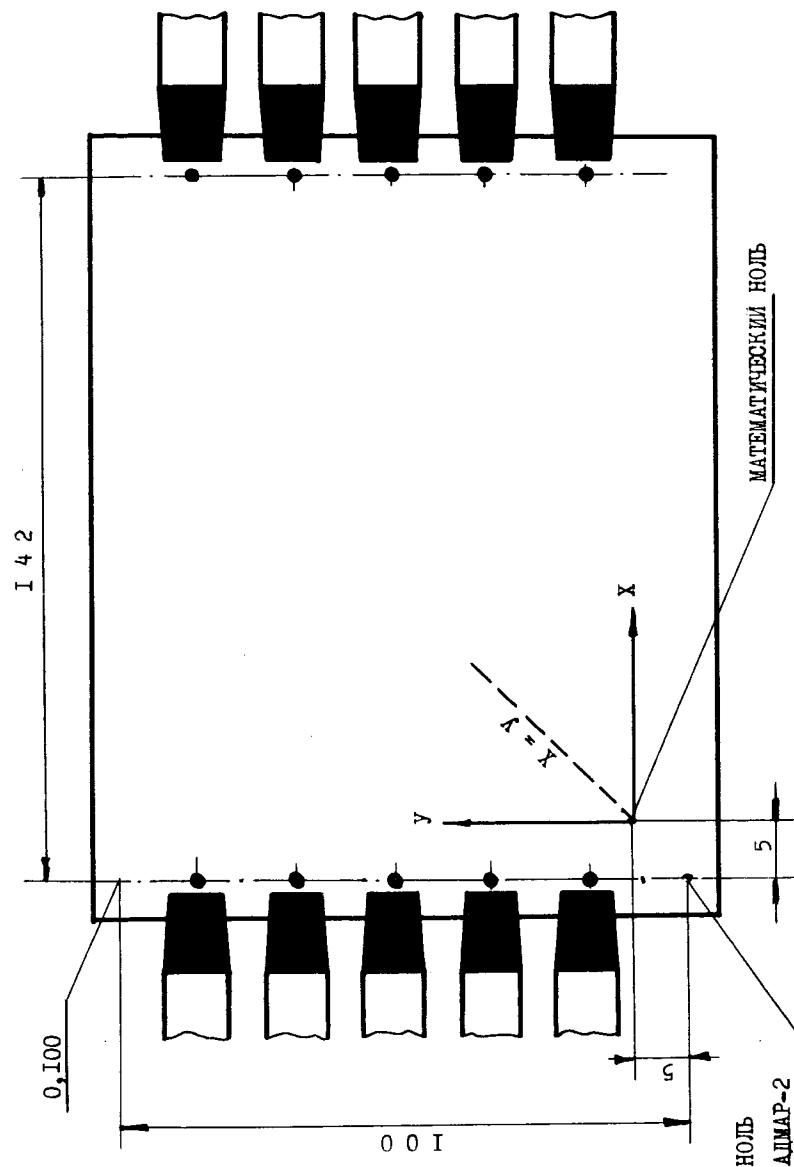
I
↓
IZG

Примечание: п/карта TRS ставится, если в пакете платы есть данные для автоматической трассировки. В этом случае в пакете не требуется п/карта IZG. Если данных для трассировки нет, то ставится только п/карта IZG и система обрабатывает все пакеты слоев, воспринимая каждый вне связи с другими.

2) управляющая п/карта процесса изготовления. Её коды:

X0 = 0000] - используются для сдвига рисунка платы по осям X и Y.
Y0 = 0000

- A - выдача п/ленты для управления процессом рисования на устройстве АДМАП (см. рис.6) /5/.
- P - печать рисунка платы на АЦПУ (при использовании жесткого формата).
- R - печать рисунка разъема КАМАК на АЦПУ.
- C - рисование платы (слоя) на графопостроителе СА СОМР (1:1).
- L - применяется при кодировке рисунка платы (слоя) в свободном формате.
- T - используется при необходимости получения п/ленты для рисования обратной стороны платы (стороны деталей) на устройстве АДМАП.
- S - выдается п/лента для управления процессом сверления больших отверстий (B,S) на п/автомате АДМАП.
- C - выдача п/ленты для управления процессом сверления малых отверстий (M,C) на устройстве АДМАП.
- L - используется при необходимости получения любой п/ленты (заказ ПЛ - 80).
- K - применяется для выдачи пронумерованной колоды п/карт с исходными данными после оптимизации обхода соединений платы.
- B - выдача управляющей п/ленты к графопостроителю на базе ДРП-3М (2:1).



Размеры указаны в шагах (1 шаг = 2,5 мм)
Рис.6. расположение заготовки платы и системы координат на АДМАП-2 (вид сверху).

T - используется при необходимости транспонирования рисунка платы относительно прямой X=Y (см. рис.6).
 При использовании этого символа следует изменить соответствующим образом п/карту с максимальными размерами платы.

X/A = 0000 } - указываются координаты исходной точки начала
 Y/A = 0000 } рисования платы (в малых шагах) на устройстве АДМЛП.

Пример:

X/A = 0000

Y/A = 1000

L = 0000 - максимальное расстояние по оси X (в малых шагах) рисунка платы для рисования стороны деталей на устройстве АДМЛП.

Перечисленные коды управляющей п/карты действительны только на позициях, указанных в таблице.

3) п/карта, содержащая информацию о названии платы и её стороне (слое), в данном случае - стороне деталей. В п/карте должно быть расположено по позициям:

название - с I + 6,

комментарии - с 7 + I2,

сторона платы - с I3 + I8.

Пример:

I 6 7 I2 I3 I8
 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
 Л В Т А Б С А М А С Л С Т Д . Л

4) п/карта с максимальными размерами стороны (слоя) платы.

Пример:

I 6 8 I5 I7
 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
 X M A X=2 4 6 Л У M A X= I 4 6

Т а б л и ц а

Расположение кодов управляющей п/карты по позициям

| Номер позиции | Символ | Номер позиции | Символ |
|---------------|--------|---------------|--------|
| 1 | X | 28 | T |
| 2 | 0 | 29 | 0 |
| 3 | = | 30 | X |
| 4 | 0 | 31 | M |
| 5 | 0 | 32 | A |
| 6 | 0 | 33 | = |
| 7 | 0 | 34 | 0 |
| 8 | Л | 35 | 0 |
| 9 | У | 36 | 0 |
| 10 | 0 | 37 | 0 |
| 11 | = | 38 | Л |
| 12 | 0 | 39 | У |
| 13 | 0 | 40 | M |
| 14 | 0 | 41 | A |
| 15 | 0 | 42 | = |
| 16 | Л | 43 | 0 |
| 17 | A | 44 | 0 |
| 18 | P | 45 | 0 |
| 19 | R | 46 | 0 |
| 20 | C | 47 | Л |
| 21 | L | 48 | Б |
| 22 | T | 49 | = |
| 23 | S | 50 | 0 |
| 24 | C | 51 | 0 |
| 25 | L | 52 | 0 |
| 26 | K | 53 | 0 |
| 27 | B | | |

Остальные позиции не используются.

- 5) колода п/карт данных о закодированной стороне (слое) платы.
- 6) п/карта признака конца данных

I
↓
E

Диагностика

Диагностика в системе ГРАФ печатается на АЦПУ в понятном для пользователя виде, то есть открытым текстом. В случае появления печати типа

*** ОШИБКА_#

необходимо в настоящее время обращаться к автору, т.к. это внутрисистемная диагностика, контролирующая работу ЭВМ, внешнего оборудования и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для широкого внедрения системы ГРАФ в практику проектирования необходимо, по-видимому, в условиях ОИЯИ максимально использовать имеющееся оборудование и системы, в частности, использовать терминальные станции, оснащенные мини-ЭВМ, которые позволяют вести ввод/вывод/данных и работу в режиме диалога. Думается, что первоочередным оборудованием, обеспечивающим существенное сокращение доли ручного труда и полное использование системы ГРАФ, является наличие шаговых графопостроителей с рабочим полем, достаточным для воспроизведения фотооригинала печатной платы в масштабе 2:1.

Необходим также графический дисплей со световым пером, так как установка подобного типа в процессе проектирования позволяет осуществлять активную связь разработчика с ЭВМ, что существенно повысит производительность и качество проектирования.

Для ввода рисунка платы желательно также использование устройств ввода графической информации планшетного типа.

На этапе изготовления необходимо и, как показала практика, возможно применение оборудования, позволяющего получать фотшаблоны печатных плат непосредственно с ЭВМ, минуя стадию изготовления фотооригиналов и их фотографирования.

Универсальность методов автоматического проектирования позволяет использовать их и в других отраслях науки и техники. Например, проектирование любых коммуникаций (транспортных путей, кабельного хозяйства, трубопроводов и т.п.) аналогично трассированию соединений на плате, причем система ГРАФ выдает оптимальный (минимальный по длине) план прокладки этих коммуникаций.

Авторы благодарят И.Ф. Колпакова, С.А. Шелева, И.М. Иванченко, В.В. Федорина, А.В. Афанасьева за внимание и помощь при выполнении работы; И.М. Мельниченко, А.А. Щуравина, А.П. Сапожникова, В.В. Галактионова, Г.Л. Мазного, Е.В. Черных, Е.Д. Городничего и З. Трейбала - за ценные советы и обсуждения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г.Л.Мазный. Мониторная система "Дубна", ОИЛИ, II-5974, Дубна, 1972.
 2. Н.П.Гавриш и др. Графопостроитель на шаговых двигателях на базе ДРП-ЗМ . ОИЛИ, II-7285, Дубна, 1973.
 3. Установка для производства печатных плат. Тип: АДМАП. Руководство. Будапешт, XI, ул. Каринти Фридеш, 22.
 4. Применение вычислительных машин для проектирования цифровых устройств . Сборник статей под ред. Н.Я.Матвяхина. Изд-во "Советское радио", М., 1968.
- В.Д.Лахомов. Оптимизация работ АДМАП, ОИЛИ. Ю- 468, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 февраля 1975 г.