

3379/4-78

Г-577

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



ЛЯП

P11 - 11504

Н.Н.Говорун, В.Л.Пахомов, С.А.Щелев

АНАЛИЗ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

1978

P11 - 11504

Н.Н.Говорун, В.Л.Пахомов, С.А.Щелев

АНАЛИЗ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Говорун Н.Н., Пахомов В.Л., Шелев С.А.

P11 - 11504

Анализ систем автоматизированного проектирования, изготовления и контроля печатных плат

Рассмотрены системы автоматизированного проектирования, изготовления и контроля печатных плат (САПР), их теоретическое, программное, информационное, техническое и технологическое обеспечение. Анализируются организационные вопросы создания, внедрения и эксплуатации САПР в условиях исследовательских ядерных центров и их экономическая эффективность. Показана необходимость комплексного решения обсуждаемой проблемы.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Govorun N.N., Pakhomov V.L., Shchelev S.A.

P11 - 11504

Analysis of Printed Circuit Board Design, Production and Control Systems

Analysis of printed circuit board design, production and control systems (CAB) is presented. The problems of theoretical, program, information, technical and technological provision are considered. The organization, introduction and exploitation of CAB in research nuclear centres and their economical efficiency are analyzed. The necessity of a complex solution of the problem considered is demonstrated.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Не нужно быть специалистом, чтобы видеть, насколько сложнее стала за последнее время создаваемая радиоэлектронная аппаратура (РЭА), и в то же время арсенал средств разработчиков остался практически без изменений. В основном проектирование ведется с помощью карандаша и бумаги.

Наличие этой все увеличивающейся диспропорции и придает особую актуальность проблеме автоматизации всего сквозного цикла проектирования, изготовления и контроля РЭА. Таким образом, необходимость автоматизации обусловлена:

- резким усложнением РЭА,
- расширением выполняемых ее функций,
- увеличением интеграции элементной базы,
- повышением трудоемкости,
- увеличением сроков разработки,
- быстрым моральным старением РЭА,
- трудностью, а часто и невозможностью исправления ошибок и внесения изменений,
- неэффективностью использования имеющихся человеческих ресурсов,
- увеличением численности разработчиков,
- трудностью выпуска, учета, хранения и размножения документации,
- трудностью технологической подготовки производства, тесно связанной с процессом проектирования.

Главное и необходимое условие широкого внедрения методов автоматизации в проектирование РЭА – это создание программного обеспечения, позволяющего эффективно использовать имеющиеся оборудование и средства вычислительной техники.

Заметим, что, хотя собранная печатная схема, как правило, является конструктивным элементом большого и значительно более сложного электронного устройства, прямые затраты, связанные с изготовлением печатной схемы, являются основной частью общей стоимости изготовления аппаратуры.

Далее излагаются соображения по проекту интерактивной системы автоматизированного проектирования, изготовления и контроля печатных плат (ПП) модулей КАМАК, "Вектор" и др., предусматривающему создание комплекса методов, программ и технологических установок, обеспечивающих весь процесс от разработки логической схемы до получения готовой платы. Очевидно, что только такой системный подход может обеспечить максимальную эффективность автоматизации. Однако разработка и внедрение подобных систем является трудоемким процессом. Поэтому особое внимание при их создании должно быть уделено вопросу организации разработки. А именно, необходимо обеспечить:

- определение области применения системы,
- выбор оптимальной структуры системы и методики проектирования,
- определение наиболее рациональной последовательности разработки составных частей системы и их внедрения,
- выбор типа ЭВМ,
- организацию ведения рабочего проектирования по системе,
- инвариантность структуры системы к изменениям технологии производства и способов проектирования,
- интерактивность системы,
- адаптивность системы,
- организацию внесения последующих изменений в проектируемую плату,
- организацию накопления и хранения информации (массивы данных, библиотеки программ, библиотеки элементов, справочных данных и т.п.),
- организацию обучения использованию системы с помощью самой системы,
- выбор технических средств (устройства подготовки данных, редактирования, выдачи конструкторской документации и т.п.),
- определение номенклатуры конструкторской документации, выпускаемой автоматизированным способом, и ее стандартизация,

- определение формы входной и выходной информации для каждого этапа разработки системы, единства методов ее записи на носителе, распределения памяти, единства кодов, форматов и т.п.,
- эффективное сочетание автоматического и ручного проектирования,
- автономное использование отлаженных программ системы для автоматизации конкретных задач.

Целесообразно основные силы сконцентрировать на решении главных задач, последовательно автоматизируя отдельные этапы проектирования и, по мере их отработки, использовать практически. В первую очередь необходимо автоматизировать:

- наиболее рутинные работы, требующие большого числа исполнителей;
 - трудоемкие и длительные по сроку работы, от которых больше всего зависит общий срок проектирования;
 - работы, в которых максимален эффект от применения ЭВМ (контроль, анализ, преобразование информации, поиск и т.п.);
 - работы, достаточно обособленные от других этапов проектирования;
 - работы, в которых наблюдается максимальное число ошибок разработчиков, приводящих к большим последующим изменениям.
- Вопросы применения ЭВМ для автоматизации проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства имеют свою специфику. Постановка таких задач информализована, а входная и выходная информация не является числовой.

Системы автоматизации проектирования /8/

В настоящее время как в СССР, так и за рубежом автоматизации проектирования уделяется большое внимание. Однако все известные у нас системы сильно связаны с отраслевыми конструктивами, технологией и типами обычно нестандартного технологического оборудования, а также нормальными по оформлению схемной и конструкторской документации. К тому же для ядерной электроники характерна большая доля аналоговых и цифро-аналоговых схем, проектирование которых на платах с двухсторонним монтажом не предусматривается существующими системами. Поэтому эти системы не применяются в ядерных центрах.

Рассмотрим некоторые из существующих систем.

1. Комплекс автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (КАПР) реализован на базе ЭВМ БЭСМ-6, М-220 и малой ЭВМ. Включает программы компоновки, размещения и трассировки многослойных печатных плат (МПП) размером 250x150 мм, имеющих до 9 слоев и содержащих до 96 микросхем (м/с). В КАПР применяется координатограф ЭМ-703 с фотоголовкой, автоматические сверлильные станки производства ГДР типа "Шмоль" и "Верь", графопостроитель.

2. Система АСКП-I на ЭВМ М-4030 АСВТ-М. Включает программы размещения и трассировки плат под м/с "Логика-2". Язык программирования - ассемблер. Работает в ДЭС АСВТ. Использует координатограф ЭМ-703.

Есть также система АСКП-2 на ЭВМ М-3000 АСВТ, более универсальная, чем АСКП-I.

3. Единая система автоматизации проектирования (ЕСАП) реализована на ЭВМ "System-L/50" и ЕС ЭВМ. Языки программирования - Usercod и ассемблер. Рассчитана на проектирование МПП ТЭЭ ЕС ЭВМ, содержащих до 96 м/с и изготавливаемых по технологии сквозной металлизации.

4. Автоматизированная система технического проектирования радиоэлектронной аппаратуры реализована на ЭВМ "Урал-II" с памятью 16К 24-разрядных слов. Включает программы размещения и трассировки МПП. В системе используется координатограф "Картимат-ШЕР".

Необходимо отметить, что разнообразные по назначению и возможностям системы автоматизации проектирования печатных плат есть на отечественных ЭВМ всех типов.

Из зарубежных систем можно назвать следующие:

1. Система на ЭВМ СДС-3300 (ВНР), язык программирования ФОРТРАН-IV, реализована компоновка, размещение, трассировка МПП, выдача п/л для станков АДМАП.

Для иллюстрации отношения фирм к автоматизации проектирования можно привести одну цитату:

"Фирмы, продолжающие работать по старинке и пытающиеся игнорировать машинное проектирование, в недалеком будущем потеряют конкурентоспособность и постепенно выйдут из игры"^{1/1}. Это было сказано в 1967 г.

2. Система ACSEL на ЭВМ IBM-7090. Разработка финансировалась Комитетом по атомной энергии США. Язык программирования - ФОРТРАН-II (на 99%). Реализуется размещение, трассировка МПП. Используется электронно-лучевой графопостроитель "Stramberg-Carlson 4020" для получения фотосаблонов. При $h = 0,64$ мм площадь платы 580 см². Содержит до 500 элементов, имеющих максимально 4 входа.

3. В Saclay (Франция) создана система на ЭВМ IBM-360 и РДР-8. Используется графический дисплей IBM-2250/3 и координатограф "Benson LNC 610".

Системы автоматического проектирования имеют все фирмы, выпускающие электронную аппаратуру. Некоторые системы сдаются в аренду (терминал), некоторые продаются полностью. В области систем автоматизации проектирования существуют специализированные фирмы.

Приведем некоторые сведения об основных мини-машинных системах автоматизации проектирования, выпускаемых фирмами США.

1. Фирма "Applied". ЭВМ РДР-II/05. Число терминалов - 5. Применяется устройство кодирования графической информации, цифровой планшет, графопостроитель, дисплей с планшетом и клавиатурой, НМЛ. Стоимость 122 тыс. дол.

2. Фирма "Auto-Trol". ЭВМ "Varian 620L/200". Число терминалов - 6. Применяется цифровой преобразователь с клавиатурой и дисплеем, интерактивный дисплей со светящимся указателем, телетайп, НМЛ. Стоимость 127 тыс. дол.

3. Фирма "Calma". ЭВМ "Nova 1220". Число терминалов - 6. Применяется цифровой преобразователь с клавиатурой и дисплеем, дисплей с планшетом и клавиатурой, телетайп, НМЛ. Стоимость 131 тыс. дол.

Одной из наиболее совершенных интерактивных мини-машинных систем автоматизации проектирования является система "Designer" фирмы "Computervision".

"Designer" является комплексной системой машинного проектирования, предназначенной для выполнения всего цикла конструкторских работ.

В системе применяются интерактивные терминалы LIS (Large Interactive Surface), устройство Autoscan, автоматически сканирующие графическую информацию и преобразующие ее в цифровой код.

Кроме того, система комплектуется дисплеями на запоминающих ЭЛТ и на ЭЛТ с восстановлением информации. В комплект включаются также планшетные графопостроители, большие планшеты для цифрового преобразования и запоминающие устройства большой емкости, включая кассетные и катушечные НМЛ и диски, крупноформатный высокоскоростной прецизионный фотокоординатограф.

В системе используется быстродействующая мини-ЭВМ с емкостью оперативной памяти 128К 16-разрядных слов, укомплектованная разнообразными устройствами ввода-вывода.

Проблема автоматизации проектирования включает широкий круг вопросов, которые можно условно подразделить на пять больших взаимосвязанных направлений:

- теоретического обеспечения,
- программного - " - ,
- информационного - " - ,
- технического - " - ,
- технологического - " - .

Рассматривая вопросы автоматизации проектирования, нельзя не учитывать, что проектирование - процесс творческий и его полная автоматизация, если она вообще осуществима и целесообразна, представляет собой дело будущего. Реальный подход в настоящее время заключается в наиболее полном сочетании возможностей ЭВМ и человека. Эвристический характер проектирования, таким образом, делает актуальной задачу построения систем автоматизации проектирования (САП) именно интерактивного (эргатического) типа, основанных на эффективном взаимодействии элементов в системе "человек-технические средства проектирования".

Теоретическое обеспечение

Возможность автоматизации проектирования электронных схем базируется на результатах, полученных в области

- формализации расчетных этапов анализа и синтеза сложных электронных схем,
- создания операционных систем, работающих в реальном времени,
- разработки методов нелинейного и динамического программирования,
- численных методов оптимизации,
- теории оптимального управления и автоматического регулирования,

- теории графов, комбинаторики и математической логики,
- теории целочисленного программирования,
- эвристических методов,
- создания языков программирования высокого уровня и сложных структур данных,

- моделирования и минимизации булевой логики.

Использование аппарата теории графов является удобным при формулировке и решении задач проектирования топологии электронных схем. Граф, сохраняя всю содержательность и наглядность отображаемой им электронной схемы, позволяет строить формальные алгоритмы преобразования, а при использовании своих матричных эквивалентов и списочных структур данных легко обрабатывается на ЭВМ.

Задача технического проектирования печатной схемы складывается из следующих этапов:

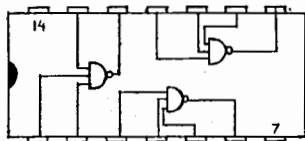
- компоновки микромодулей,
- размещения их на плате,
- трассировки печатных проводников.

Далее идет задача изготовления схемы с учетом всех требований технологии и задача автоматического контроля готовых плат и элементов.

Рассмотрим эти этапы более подробно.

Задача компоновки состоит в размещении логической схемы на заданном наборе микромодулей. При этом необходимо такое преобразование логической схемы, чтобы все типы ее элементов имели аналоги среди компонент набора микромодулей и не терялась информация о схеме. Заметим, что цепи питания и "земли" на логических схемах обычно опускаются. Эта задача решается путем разрезания графа схемы на подграфы с минимизацией числа связанных модулей и числа связей между модулями. Математически это многоэкстремальная задача о назначениях. На практике для ее решения применяются следующие алгоритмы:

- перебора (перестановки),
- последовательной оптимизации (итерационные),
- силовой компоновки,
- теории графов,
- Монте-Карло.



Тройка трехходовых позитивных HE-III элементов (MН7410, TESLA).

Задача размещения состоит в расположении графа схемы на плоскости с минимизацией суммарной длины соединений, вычисляемой по матрице смежности. Эта задача сводится к известной проблеме раскрашивания карты минимальным числом цветов, или другими словами, нам нужно найти оптимальную нумерацию вершин неориентированного графа схемы. За критерий оптимизации может быть принят также минимум длины самой длинной связи или минимум числа пересечений проводников.

Уменьшение длины проводников приводит к повышению быстродействия и помехоустойчивости схем. Кроме этого, так как величина суммарной длины соединений и число пересечений находятся в корреляционной зависимости, выбор такого критерия облегчает в дальнейшем задачу трассировки.

Для решения задачи размещения применяются следующие алгоритмы:

- силовые алгоритмы, элементы рассматриваются как материальные объекты, между которыми действуют силы притяжения-отталкивания;
- алгоритмы перебора, перестановки;
- итерационные алгоритмы последовательной оптимизации;
- алгоритмы теории графов;
- алгоритм ветвей и границ.

Задача трассировки состоит в размещении графа схемы на плоскости. При этом минимизация внутрисхемных пересечений сводится к определению планарности графа. Если граф планарен, получаем его плоскую реализацию, в противном случае производится декомпозиция графа на плоские подграфы.

Получение печатного монтажа осуществляется:

- алгоритмом Ли,
- лучевым алгоритмом,
- алгоритмом каналов,
- различными эвристическими алгоритмами.

Задача трассировки подразделяется на следующие подзадачи:

1. Определение списка проводников.
2. Распределение проводников по слоям платы.
3. Упорядочение проводников.
4. Размещение проводников.

По первому пункту, если проводники идут от точки к точке (см. рис.а), то ранг каждой точки ≤ 2 и задача соединения элементов сводится к задаче коммивояжера:

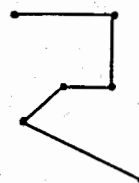


Рис.а



Рис.б

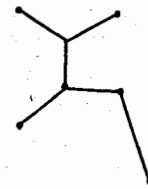


Рис.в

Если ранг точки произволен, то решение - это минимальное дерево (см. рис.б).

Если допускается введение дополнительных вершин в граф схемы, то решение имеет форму минимального дерева Штейнера (см.рис.в).

По второму пункту размещение по слоям состоит в разнесении проводников на минимальное количество слоев так, чтобы не было пересечений в каждом слое. Эта задача относится к классу задач, рассматривающих хроматическое число графа и проблему четырех красок, которая до сих пор еще не решена.

По пункту 3 задача упорядочения сводится к определению последовательности соединений заданного количества пар точек. Этой проблеме посвящено очень мало работ.

По пункту 4 размещение проводников - это определение минимального пути соединения между двумя несвязанными элементами. Необходимо заметить, что путь минимальной длины не всегда является приемлемым, так как он может помешать прокладке других путей. Если бы можно было создать эффективную процедуру удаления и повторной прокладки путей, вызывающих осложнения, то можно было бы обеспечить 100%-ную прокладку всех соединений.

Программное обеспечение

Требования к составу программного обеспечения определяются требованиями к САПР как инструменту проектирования, обладающему большим сроком жизни, легко адаптирующемуся под различные методы проектирования и технологии изготовления и имеющему широкий диапазон возможных применений.

С точки зрения принципов построения САПР рассматривается как специализированная операционная система. Программные средства САПР можно подразделить на средства общесистемного математического обеспечения (МО) (операционной системы, системы программирования и т.п.) и средства специального МО. САПР должна разрабатываться с учетом максимального использования возможностей, предоставляемых ОС общего назначения.

Для обеспечения задач проектирования от системы общего МО требуется наличие в ней

- развитых языков программирования,
- развитого языка управления задачами,
- диалогового режима работы,
- мультидоступа,
- языков описания банка данных,
- языков управления банком данных,
- системы редактирования и отладки,
- мультипрограммности,
- развитого МО графических дисплеев и графопостроителей,
- обобщенной файловой системы,
- системы защиты и сохранности файлов,
- МО обработки списочных структур данных (графических),
- МО совместной работы большой и малой ЭВМ, эмуляции малой ЭВМ и разработки ее программного обеспечения на большой ЭВМ.

Таким образом, для реализации САПР требуется мощная ЭВМ с развитым математическим обеспечением типа БЭСМ-6 или старших моделей серии ЕС. Т.к. разработка ядерной электроники производится во всех лабораториях ОИЯИ пространственно-удаленных друг от друга, то для обеспечения доступа всех пользователей к САПР необходимо строить систему на базе центрального вычислительного комплекса ОИЯИ.

По способу организации САПР иерархична и наращиваема, ядро системы составляет транслятор с языка проектирования. Отличие

САПР от операционной системы общего назначения заключается в подборе проблемно-ориентированных языков управления, описания и обработки информации. Разработка этих языков является главной задачей, при решении которой основной работой является унификация программ, механизмов управления и информации по способу организации, структуре и форме представления. Важными свойствами этих языков являются многоуровневость и расширяемость.

При разработке языков описания и управления архивом и банком данных может быть использован опыт, накопленный при создании информационно-поисковых систем, редакторов связей, загрузчиков и языков обработки списков.

Универсальная графическая ОС обеспечивает базу для формирования, редактирования, запоминания 2- и 3-мерной графической информации, а также различных манипуляций с такой информацией.

САПР должна позволять каждому своему пользователю создавать свое собственное матобеспечение, ориентированное на решение конкретной задачи, вносить в нее нужные особенности, включать новые программы, не нарушая выполнения операций.

Структура системы должна создавать иллюзию вычислительной службы "мгновенно" готовой к работе по запросу пользователя, как в случае, если бы он постоянно пользовался услугами большой ЭВМ. Для сокращения среднего времени ожидания необходимо использовать малую ЭВМ для всех работ по обслуживанию внешних устройств, редактированию и т.п., а большую ЭВМ - только для счета, который малая ЭВМ не в состоянии выполнить в разумные сроки.

Процесс машинного проектирования в реальном масштабе времени, давая выигрыш в календарном времени, отличается еще свойством адаптации в противоположность процессам, ход которых установлен заранее. А адаптивные процессы согласно теории конечных автоматов часто приводят к результатам, которые либо вообще невозможно, либо слишком сложно получить в процессах с заранее установленным ходом (при пакетной обработке).

Требования к редакторским функциям системы - это ввод исходной информации и изменение уже введенной, которая может представлять:

- описание цепи,
- описание нового элемента,
- описание платы,
- новые "команды", которые должны быть добавлены к существующей системе команд.

- справочные материалы, пояснения и т.д.

Информационная служба системы дает информацию о работе с системой (обучение пользователей), содержании системной библиотеки и личных архивов, ходе выполнения программ и т.п.

Эффективность решений, получаемых с помощью САПР, эффективность использования ЭВМ и всего набора внешнего оборудования целиком и полностью зависит от программного обеспечения.

Технологическое обеспечение

Разработка, развитие и эксплуатация САПР требуют создания специализированной службы, обеспечивающей ее функционирование и техническое оснащение. Создание новых служб, перестройка организационной структуры подразделений и функциональных связей между ними, выработка квалификационных требований к новым специальностям, методологии автоматизированного проектирования, изготовления и контроля (наладки) РЭА являются важнейшими проблемами при создании САПР. Решение этих проблем позволит высвободить квалифицированных специалистов для творческого труда, повысить качество, снизить стоимость и сократить сроки изготовления РЭА.

Важную роль играет технологический маршрут проектирования. Организация рационального маршрута позволяет снизить непроизводительные затраты времени на передачу и согласование работ, сократить время всего технологического цикла.

Разработка конструкторской документации для печатной платы средней сложности размером 170x180мм чертежно-графическим методом (ручным) занимает 35-40 рабочих дней. В связи с этим желательно результаты решения любой задачи проектирования получать от ЭВМ в форме готовых документов (в соответствии с требованиями ЕСКД* и ЕСТД**), не требующих ручного переоформления и непосредственно пригодных для дальнейшего размножения и обращения. Эту задачу можно решить, применяя современные графопостроители, координатографы, печатающие устройства и копировально-множительную аппаратуру.

Всю документацию, архив необходимо перевести на машинные носители.

Важно уже сейчас, на этапе создания первых систем автоматизи-

*Единая система конструкторской документации.

**Единая система технологической документации.

зированного проектирования, готовить их будущих хозяев. Без организации обучения использованию САПР, конечно, не может быть и речи ни о какой эффективности, облегчении труда и вообще о применении этих методов.

По мере оснащения аппаратного комплекса и создания соответствующего программного обеспечения все большее число работ будет выполняться с автоматизированных рабочих мест (АРМ) в режиме диалога с ЭВМ. Создать хотя бы одно такое оснащенное рабочее место необходимо уже сейчас.

Опыт эксплуатации станков АДМАР показал необходимость оснащения их фотоголовками и головками для воскования переходных отверстий и, кроме того, необходимость использования в этих станках возможности работать на линии с ЭВМ. Такой режим позволяет

- легко вносить любые изменения (поправки) в процессе изготовления платы,
- эффективно использовать "геометрический вывод",
- избежать влияния ошибок перфорации и чтения п/л,
- производить автоматическую диагностику работы станков и локализацию неисправностей,
- упростить проверку управляющей программы.

В настоящее время для контроля и наладки вновь изготовленных блоков и при выходе из строя старых используются различные параметрические тестеры. Причем этим заняты высококвалифицированные инженеры. Такую работу можно автоматизировать, используя автоматические функциональные тестеры и соответствующее МО. Актуальность этой задачи растет с ростом сложности и количества современных электронных блоков и стоимости квалифицированного труда. Для эффективного использования таких тестеров необходима разработка универсального проблемно-ориентированного языка тестирования электронных блоков.

Приведем примеры таких устройств:

1. Система автоматического тестирования САТ4 (ПНР). Используется ЭВМ МЭРА-305, МД МЭРА-9425, мозаичное АЦПУ, вывод п/л. Производительность - 60 плат-час, число рабочих мест - 16, максимальное число контактов разъема - 192.

2. Установка ТЕСТОМАТ (ВНР). Установка позволяет производить как функциональное, так и параметрическое тестирование. Может работать как на линии с ЭВМ, так и автономно от п/л.

Для контроля микросхем можно использовать устройство MSI - TESTER (ВНР), также работающее как с ЭВМ, так и автономно.

Техническое обеспечение

Во-первых, необходимо определить тип вычислительной системы подходящей для решения задачи. Давний спор о том, как обеспечить наиболее эффективное использование вычислительной мощности, решился в настоящее время в пользу систем коллективного пользования ЭВМ с дистанционной обработкой данных. Рассмотрим более подробно требования, предъявляемые к такой вычислительной системе нашей задачей.

Итак, для реализации САПР необходимы:

- интерактивность (время ответа 1-5 с),
- большая емкость запоминающих устройств,
- высокая производительность,
- гибкая система прерываний,
- защита памяти,
- счетчик времени,
- мультипрограммность,
- совмещение работы внешних устройств,
- селекторный и мультиплексный каналы с возможностью адресации многих внешних устройств,
- развитая система программирования,
- минимальные аппаратные и программные доделки и переделки.

Рассмотрим детальнее работу инженера с САПР.

Язык разработчика радиоэлектронной аппаратуры - это язык радиосхем. В зависимости от назначения электронные схемы делятся на структурные, функциональные, принципиальные и др. Наиболее полное представление о принципе действия прибора дает принципиальная схема. На ней все элементы изображаются в виде условных графических обозначений - символов. Система этих символов образует своеобразную азбуку схем. В настоящее время введена Единая система конструкторской документации (ЕСКД), составной частью которой являются государственные стандарты на условные графические обозначения в схемах и стандарты на правила выполнения схем, в которых описано более тысячи символов.

Все это требует в первую очередь наличия в САПР устройств ввода/вывода информации и, конечно, библиотеки элементов, соот-

Распределение малых ЭВМ по лабораториям ОИЛП

№ п/п	Наименование	ЛВТА	ЛЯЦ	ЛЯР	ЛНФ	ЛВЭ	ОЕНУ	СНЭО	Страна	Память	Слово
1.	НР-2116В		1			1			США	32К	16
2.	НР-2116С							I*	США	32К	16
3.	НР-2100		1						США	32К	16+1
4.	НР-21МХ						3	I	США	32К	16+
5.	М-6000		3						СССР	8К	16
6.	"Параметр"								СССР	8К	16
7.	РДР-8/4			1			1		США	4К	12
8.	ТРА-1001		1	1	2	1		I	ВНР	16К	12
9.	ТРА-1001/1			1	1			I	ВНР	16К	12
10.	ТРА-1				1	2		I	ВНР	16К	12
11.	"Электроника-100"								СССР		12
12.	РДР-11/20				1				США	20К	16
13.	ТРА-70/25					1			ВНР	16К	16+2
14.	СМ-3				1				СССР	8К	16
15.	М-400				1				СССР	8К	16
16.	ЕС-1010	2	3			4			ВНР	32К	16+2
17.	VT-1010В					1			ВНР	16К	8
18.	"Наврж-2"		1						СССР	2К	36
19.	СДС-160А	1							США		
20.	"Multi"-8								Франция	4+16К	8
21.	KRS-4200		1	1					ГДР	16К	16

№ п/п	Наименование	ЛВТА	ЛЯЦ	ЛЯР	ЛНФ	ЛВЭ	ОГМУ	СНЭО	Страна	Память	Длина слова
1.	СДС-6500	1							США	128К	60
2.	БЭСМ-6	1							СССР	64К	48
3.	СДС-1604А	2			1				США	32К	48
4.	БЭСМ-4	2			1				СССР	16К	45
5.	"Минск-32"			1					"-"	64К	37
6.	"Минск-2"		1						"-"	8К	37
7.	ЕС-1040		1					1	ГДР	256К	32

ветствующей с ЕСКД. Эти устройства ввода/вывода должны обеспечивать оперативный обмен информацией между разработчиком и ЭВМ (интерактивность) на привычном языке схем, чертежей и т.п. и иметь соразмерное задаче рабочее поле. Этим требованиям лучше всего в настоящее время удовлетворяют графические дисплеи. По типу применяемых электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) дисплеи делятся на два класса: с обновлением изображения и на запоминающих трубках.

Достоинства ЭЛТ с обновлением изображения:

- простота изменения яркости линий и текстуры,
- селективное стирание, изменение,
- использование светового пера.

Недостатки:

- низкая разрешающая способность,
- большое время воспроизведения сложных изображений (становятся заметными мелькания),
- необходимость хранения "картинки" в оперативной памяти ЭВМ. Эти недостатки обходятся обычно с помощью фрагментации изображений.

Достоинства ЭЛТ с запоминанием изображения:

- мелькание при любой сложности изображения отсутствует,
- воспроизведение не требует оперативной памяти ЭВМ.

Недостатки:

- световое перо не применяется,
- размеры и разрешающая способность меньше, чем у ЭЛТ,
- селективное стирание, редактирование, изменение невозможны.

В дисплеях основным средством ввода данных является световое перо, а также трекбол, джойстик и функциональная клавиатура.

Таким образом, для эффективной работы пользователя в САПР необходимы графические дисплеи на ЭЛТ с обновлением изображения. Приведем некоторые данные таких дисплеев.

Широко применяются дисплеи IBM-2250, безусловно, чрезвычайно интересны цветные дисплеи типа Intecolor - 8000, Sonographic - 12.

Графический дисплей VU - 2000 фирмы "Sinfra" (Франция) выпускается в двух вариантах: одноцветный и цветной. Размер экрана (530 мм по диагонали) и возможность адресации 2048 линий по каждой оси позволяют получать изображение совмещенного чертежа 2-слойной платы в масштабе 1:1, что чрезвычайно важно при проектировании и контроле.

Дисплеи на ЭВМ с восстановлением изображения

Тип	Рабочее поле, мм	Разрешение	ЭВМ	Фирма, страна
VU-2000	405x305	2048x2048		Франция
ГД'71	360x360	1024x1024	ТРА-70	ВНР
			ЕС-1010	"--"
			VT-1010B	"--"
"Дельта"	280x280	1024x1024	"Электро-ника-100"	СССР
ЕС-7064	250x250		ЕС	"--"
"Экран-572"	256x200		"Электроника К-200"	"--"
СИГД	240x240		М-6000	"--"

Разработчику доступны световое перо, буквенно-цифровая клавиатура, функциональная клавиатура и трекбол (координатный шар), что позволяет осуществить легкий для запоминания и мощный по возможностям диалог с ЭВМ.

Полуавтоматические устройства считывания и кодирования координат (оцифровщики)

Тип	Рабочее поле, мм	Шаг перемещения, мм	Фирма, страна
"Вектор-1301"/I3/	850x600	0,25	СССР
"Минск-2002"/I3/	500x500	0,05	СССР
"Харомат"	1500x1130	0,01	"Хаген систем" ФРГ

Аналогичные устройства: РА-01 (ВНР), "Аскорекорд - П" (Карл Цейс, Иена, ГДР), "Бенсон - 600" (Бенсон, Франция), НР (НР, США), Контактные планшеты фирм "Rand", "Telefunken", GDT - I (ВНР).

Для считывания координат ограниченно пригоден АДМАР (геометрический ввод).

Представляет интерес приемно-передающая аппаратура телеавтографной связи (разрешение 5 линий/мм, включается в телефонную линию).

Идеальным является применение в указанных целях устройств типа "Autoscan" фирмы "Computervision" (США), полностью автоматически считывающих графическую информацию прямо с чертежа в ЭВМ.

Графопостроители

Тип	Рабочее поле, мм	Шаг, мм	Кол-во цветов	Толщина линий	Скорость, мм/с
ЕС-7051	1050x1000	0,025 0,05	3	0,3 0,5 0,8	50
ЕС-7052	420x рулон	0,05 0,1	3	0,3 0,5 0,8	200
ЕС-7053	841x рулон	0,05 0,1	3	0,3 0,5 0,8	150

Координатографы

Тип	Рабочее поле, мм	Скорость, мм/с	Фирма, страна
ЭМ-703/8/	1200x1200	10	СССР
"Минск-2000"/I3/	500x500	10	СССР
"Кардимат-III" (BR)	1500x900	20	"Карл Цейс Иена", ГДР
"Корадомат" (КАЦ-2I)	1600x1300	50	"Коради", Гвейцария
"Кингматик"	1500x1200	80	"Консберг", Норвегия

Все перечисленные координатографы управляются от п/л, точность их $\pm 0,05$ мм, ширина воспроизводимых линий - от 0,3 мм и больше, все они могут работать с фотогологией.

Сложность чертежей, высокие требования к их точности: достоверности требуют применения прецизионных графопостроителей, управляемых ЭВМ. В связи с этим представляет интерес графопостроительная система "Вектор", построенная по принципу программно-управляемой модульной системы в соответствии со стандартом КАМАК.

Ее характеристики:

Рабочее поле - 841x594 мм.

Носитель - бумага, пленка, фотопластинка и т.п.

Рабочий узел - шариковый; рашидограф; резец (с адаптацией по направлению резания); фотоголовка (с микроскопом для контроля); сверильная головка; оптическая головка (служит для контроля, содержит проектор и микроскоп).

Крепление носителя - электростатическое, магнитное.

Шаг (h) - 0,05 мм.

Скорость - 500 + 1500 мм/с.

Точность - 0,1 - 0,2 мм.

Количество перьев - 2 + 4.

Есть второй вариант системы с рабочим полем 400 x 400 мм и h = 0,02 мм.

В систему входит пакет программ на ФОРТРАНЕ для ЭВМ "Минск-32" и "Минск-22".

Информационное обеспечение

Банк данных

Важное значение имеет задача размещения информации в удобной для работы форме. Банк данных представляет собой хранилище информации, предназначенной для использования всеми программами САПР, причем эта информация должна быть легко доступна. Разработчики также могут иметь доступ к банкам данных через свои терминалы, скажем, для просмотра интересующих их параметров при выборе соответствующих элементов. Однако все эти удобства и преимущества требуют разработки программного обеспечения по управлению данными.

Структура данных об электрической цепи - это по существу упорядоченное представление всей информации, необходимой для анализа данной цепи. Она облегчает доступ к такой информации, как, например, информация о всех элементах, подключенных к данному узлу, или о всех узлах данного типа, что упрощает анализ благодаря исключению из программ ряда поисковых операций, требующих больших затрат времени и трудоемких расчетов. Общая структура данных не должна накладывать ограничений на возможные программы. Для такой ор-

ганизации удобнее всего использовать блоки памяти переменной длины, динамически размещаемые в памяти ЭВМ в процессе работы, например, образовать структуру, состоящую из звеньев и указателей. Звенья - это блоки смежных ячеек, содержащих информацию о цепи, элементе и т.п. Указатели - это адреса звеньев, которые служат для объединения звеньев в строки нескольких классов.

Описание строится по иерархической системе: стойка-крейт-плата-элемент-вентиль- и т.д. Такой структуре данных соответствует определенная операционная система ОС, используемая для обработки данных. ОС интерпретирует команды верхнего уровня и обеспечивает получение результатов, которые необходимы разработчику. Типичная команда пользователя может иметь следующую форму:

ж Перечислить все элементы, имеющие входы от элемента Д32.

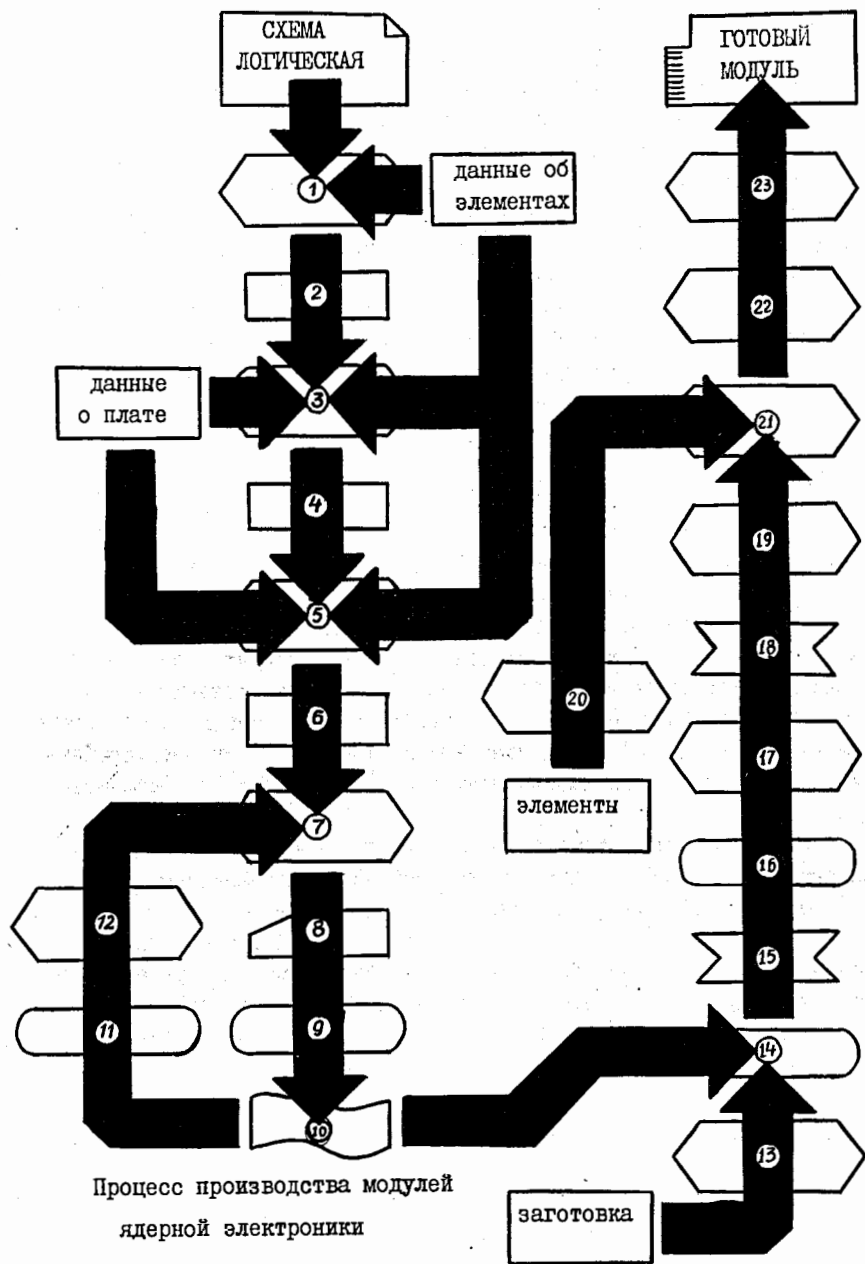
Заключение

Автоматизация проектирования и изготовления электронных устройств перешла из области теоретических исследований в сферу интенсивного практического использования.

В отличие от некоторых других областей применения ЭВМ автоматическое проектирование является наиболее "открытым объектом", поскольку его результаты, подчас не всегда соответствующие ожиданиям, видны всем и о них судят все. Прогресс в решении этой задачи всецело определяется оснащением ЭВМ соответствующими периферийными устройствами ввода/вывода графической информации в графическом виде.

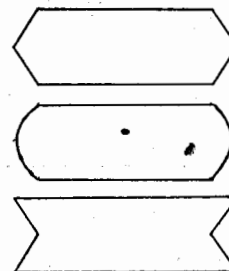
Любая система автоматизированного проектирования должна быть системой итеративного типа, предусматривающей возможность повторного проведения отдельных этапов проектирования.

Главной проблемой, стоящей перед исследователями в данной области, является разработка моделей и алгоритмов для решения задачи трассировки. Эта проблема еще не нашла четкого теоретического обоснования.



Пояснение к блок-схеме процесса производства модулей ядерной электроники

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 1. Компоновка | 12. Редакция |
| 2. Принципиальная схема | 13. Сверление установочных отверстий |
| 3. Размещение | 14. Сверление заготовки |
| 4. Схема размещения | 15. Металлизация |
| 5. Трассировка | 16. Рисование по заготовке |
| 6. Монтажная схема | 17. Воскование отверстий |
| 7. Кодировка | 18. Травление |
| 8. Подготовка данных | 19. Контроль печатного монтажа |
| 9. Счет на ЭВМ | 20. Контроль элементов |
| 10. Управляющие п/л АДМАРа | 21. Сборка |
| II. Контрольное рисование | 22. Пайка |
| | 23. Контроль работы модуля |



ручная операция

автоматизированная операция

химическая обработка

Об эффективности САПР можно судить по данным, приведенным в описании системы АСКП-I.

Этапы	Ручное проектирование		Автом. проектирование	
	Время, ч	Затраты, руб.	Время, ч	Затраты, руб.
Кодирование исходных данных	-	-	4	5.3
Перфорация	-	-	3	4
Размещение элементов и прокладка проводников	120	238	0,25	20
Получение эскиза на координатографе	-	-	1	2
Ручная дотрассировка платы	-	-	8	16
Получение управляющих п/л для изготовления фотошаблона	-	-	0,25	20
Изготовление заготовки фотошаблона	80	132	4	8
Получение фотошаблонов	1	1.5	1	1,5

Итого: 201 ч. 371.5 руб. 21.5 ч. 76.8руб.

Т.к. весь цикл разработки должен быть повторен для каждой новой платы (что типично для НИИ), то ясна необходимость внедрения САПР.

Литература

1. C.J.FISK, D.L.CASKEY, L.E.WEST. 'ACCEL:AUTOMATED CIRCUIT CARD ETCHING LAYOUT', PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL.55, NOVEMBER 1967 (SPECIAL ISSUE ON COMPUTERS IN DESIGN).
2. M.A.BREUER. 'RECENT DEVELOPMENTS IN THE AUTOMATED DESIGN AND ANALYSIS OF DIGITAL SYSTEMS', PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL.60, JANUARY 1972 (SPECIAL ISSUE ON COMPUTERS IN DESIGN).
3. J.F.JARVIS. 'THE DESIGN OF INTERACTIVE GRAPHICS AIDS TO MASK LAYOUT', PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL.60, JANUARY 1972.
4. M.E.D'IMPERIO. 'DATA STRUCTURES AND THEIR REPRESENTATION IN STORAGE', ANNUAL REVIEW IN AUTOMATIC PROGRAMMING, N.5, PERGAMON PRESS, 1969.
5. SCARLETT J.A., PRINTED CIRCUIT BOARDS FOR MICROELECTRONICS, VAN NOSTRAND REINHOLD, 1970.
6. P.W.CASE. 'A BRIEF LOOK AT THE EVOLUTION OF DESIGN AUTOMATION', COMPUTER, VOL.5, MAY/JUNE 1972.
7. 'FOCUS ON CRT TERMINALS', ELECTRONIC DESIGN, VOL.23, NO.22, 1975.
8. Системы автоматизации проектирования. "Радиоэлектроника за рубежом", № 14, 1976.
9. А.Н.Покровский. Обзор алгоритмов компоновки, размещения модулей и трассировки печатного монтажа при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. Вопросы радиоэлектроники, серия общетехническая, 14, 1967.
10. Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ, вып.3, 1972.
11. Анишев П.А. и др. О проекте систем автоматизированного проектирования в микроэлектронике. "Управляющие системы и машины", 2, 1974.
12. Курков Е.В. Исследование, разработка и внедрение подсистемы машинного проектирования и автоматизированного изготовления узлов ядерной электроники. ОИЯИ, 13-8115, Дубна, 1974.
13. Материалы секции вычислительной техники 21 республиканской научно-технической конференции. Лит.ССР, Каунас, 1971.
14. Обмен опытом в радиопромышленности, 6, 1975.

15. Обмен опытом в радиопромышленности, 4, 1972.
16. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. М., "Сов.радио", 1977.
17. Гольдина Л.Л., Ландау И.Я. Автоматизированная система проектирования печатного монтажа. Приборы и системы управления. №6, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 апреля 1978 года.