

НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

6/1977

СЕРИЯ
ТЕХНИКА

Н. М. Шаруненко
А. Е. Фатеев

ПАМЯТЬ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЦВМ



Шаруненко Н. М. и Фатеев А. Е.

Ш 26 Память универсальных ЦВМ. М., «Знание», 1977.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Техника», 6. Издается ежемесячно с 1961 г.)

Брошюра представляет собой обзор развития запоминающих устройств — от первой памяти на электронных лампах до оптоэлектронных устройств будущего. Описываются структурные изменения в схемных решениях памяти ЦВМ разных поколений, принципы ее иерархической организации, подчеркивается ее роль в качестве материального ресурса вычислительных машин и систем и т. д.

Брошюра рассчитана на читателя, знакомого с техникой.

30502

6Ф7

© Издательство «Знание», 1977 г.

Выступая на встрече с представителями академий наук социалистических стран, Генеральный секретарь ЦК КПСС товарищ Леонид Ильич Брежнев подчеркнул, что, всемерно поощряя развитие фундаментальной науки, необходимо заботиться об органическом соединении с нею прикладных исследований, ускорять внедрение научных открытий в народное хозяйство. В решении этой задачи трудно переоценить значение вычислительной техники. Столь же велика ее роль при решении конкретных народнохозяйственных проблем и в первую очередь проблем управления. Вообще, сегодня принято считать вычислительные мощности, которыми располагает промышленно развитое государство, одним из показателей его научно-технического уровня.

В планах десятой пятилетки вычислительной технике (ВТ) уделяется большое внимание. Предполагается дальнейшее развитие и повышение эффективности автоматизированных систем управления и вычислительных центров с последовательным объединением их в единую общегосударственную систему сбора и обработки информации для учета, планирования и управления; создаются вычислительные центры коллективного пользования и т. д. Современная научно-техническая революция требует ускоренного роста объемов производства ВТ, повышения качества ее устройств. На протяжении ее недолгой, но достаточно бурной истории основные параметры технических средств ВТ во многом определяли запоминающие устройства (ЗУ). Так обстояло дело в прошлом, так, по-видимому, будет оно обстоять и в будущем. Сегодня на долю запоминающих устройств приходится до 80% оборудования ЦВМ и, естественно, стоимости. Поэтому в последнее время много говорят о необходимости разработки и выпуска средств памяти в опережающем темпе, что предполагает, с одной стороны,

повышение быстродействия и информационной емкости запоминающих устройств, а с другой — значительное снижение цены на них.

Цель предлагаемой вниманию читателей работы — рассказать о том, что представляют собой запоминающие устройства сегодня, проследить тенденции их развития, высказать некоторые суждения относительно их будущего.

Вчера...

Вычислительная техника совсем молода. Поэтому, несмотря на всю «популярность», терминология ее, принципы построения, функции не всегда четко представляются читателями. Авторы считают, что целесообразно сделать некоторые пояснения.

В цифровой вычислительной технике для записи дискретной информации используют, как известно, два символа: «0» и «1». Это позволяет хранить информацию с помощью наиболее простых и надежных элементов с двумя устойчивыми состояниями — триггеров (электронных, магнитных и др.). Для хранения каждого двоичного разряда (бита) необходим такой отдельный бистабильный запоминающий элемент. Этот запоминающий элемент должен быть прост в управлении (запись), способен длительное время находиться в определенном состоянии (хранение) и предоставлять возможность распознавать это состояние (выборка, или чтение информации). Если элемент используется многократно, предусматривается возможность возвращения его в исходное состояние (стирание информации).

Запоминающее устройство (ЗУ) — это устройство хранения дискретной информации в цифровых вычислительных машинах различного назначения. Основа запоминающего устройства — **накопитель** — комплекс (система) запоминающих элементов с двумя устойчивыми состояниями. Дискретная информация в ЗУ в виде слов или чисел хранится в группах элементов — **ячейках**; каждой из них присвоен свой адрес. По принципу действия ЗУ разделяются на устройства с произвольной и последовательной выборкой информации. В первых нужное число по любому адресу может быть считано или записано за один период обращения к

ЗУ — цикл. Блок-схема ЗУ изображена на рис. 1, она традиционна и не зависит от типа накопителя.

В ЗУ с последовательной выборкой (значительно большей информационной емкостью) процесс обращения занимает соответственно большее время. Оно затрачивается на механическое перемещение носителя мимо

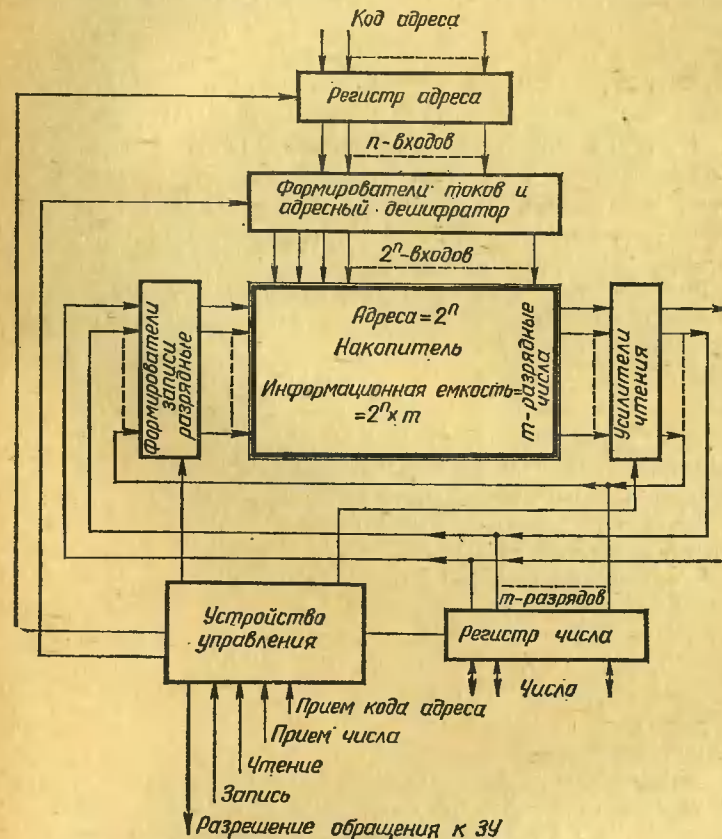


Рис. 1. Типичная блок-схема ЗУ с произвольной выборкой

неподвижного блока головок чтения-записи. Как правило, обращаются в таком ЗУ к большому массиву чисел (блоку).

Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) — это устройство хранения оперативной информации, не-

посредственно участвующей в операциях процессора ЦВМ. Оперативное запоминающее устройство (внутреннее запоминающее устройство) имеет более высокое быстродействие, в отличие от сравнительно медленно действующего, но способного хранить большие массивы информации внешнего ЗУ. Строится ОЗУ по принципу произвольной выборки информации. Минимальный период обращения, время выборки и время записи информации — параметры быстродействия ОЗУ. Основная характеристика ОЗУ — быстродействие, именно оно в основном определяет скорость работы ЦВМ.

Решение многих задач требует памяти большой емкости. Так как технически трудно и неэкономично строить быстродействующее ОЗУ большой емкости, то в нем хранят лишь часть информации, непосредственно участвующей в вычислительном процессе. Остальная информация, большего объема, хранится во внешнем более экономичном, но медленно действующем ЗУ и по мере надобности вводится в ОЗУ.

Интересно сопоставить параметры современных ЦВМ — производительность (миллионы операций в секунду), емкость памяти (более 10^9 бит) — с теми, которые приведены в первой газетной информации о ЦВМ всего лишь 36-летней давности: «Гигантская вычислительная машина, которая строится в колледже штата Айова, имеет «память» на 45 электронных лампах (!). Изобретатель — доктор Джон В. Атанасов, профессор физики... строит электрическую вычислительную машину, которая по принципу своей работы ближе к человеческому мозгу, чем любая другая машина... Машина будет содержать 300 (!) вакуумных ламп и будет использоваться для решения сложных алгебраических уравнений...»

В арифметическом устройстве и памяти первой действующей (с 1945 г.) электронной машины ЭНИАК использовались электронные лампы. Программа вычислений задавалась с помощью штекерного коммутатора, для настройки машины на новую задачу требовалось иногда до 8 ч. Емкость же памяти была 20 чисел. Если бы память машины была более емкой, она могла бы быть использована для записи программы. Однако в распоряжении разработчиков не было тогда достаточно по надежности, емкости и быстродействию ЗУ.

Основополагающие идеи построения цифровой вы-

числительной машины, сформулированные в 1946 г. Дж. Нейманом, сводились к рекомендациям: применять в ЦВМ двоичную систему счисления; размещать одновременно с задачей и программу в двоичном коде в запоминающем устройстве достаточной емкости и быстродействия; компенсировать трудности физической реализации ЗУ иерархической организацией памяти и т. д.

Однако прошло более пяти лет, прежде чем была реализована концепция хранимой в ЦВМ программы. Пришлось преодолеть существенные технические трудности, что удалось сделать только во введенной в эксплуатацию в 1952 г. машине по проекту ЭДВАК. Производительность машины удалось повысить более чем в 4 раза, благодаря тому что было разработано более емкое внутреннее ЗУ.

Ламповое ЗУ емкостью не менее тысячи чисел в машине с хранимой программой было бы громоздким, ненадежным и дорогим. Нужны были другие технические решения. «На ранней стадии развития вычислительной техники решающий момент в проектировании электронных ЦВМ был связан с установлением возможности построить и наладить изготовление какого-либо определенного ЗУ. Как только это выяснилось, можно было приступить к конструированию машины», — так характеризовал позднее ситуацию американский ученый Н. Найсёноф. В машине ЭДВАК был применен новый тип ЗУ — на **ультразвуковых линиях задержки**. Память емкостью 1024 числа по 44 разряда позволяла затрачивать на операцию сложения 360 мкс. Конструктивно-технологические параметры этого ЗУ выгодно отличались от параметров лампового. Однако устройство было последовательного действия.

«Появление ЗУ на электроакустических линиях задержки, — отмечает академик С. А. Лебедев, — привело к созданию ряда машин последовательного действия... Не было никакого смысла увеличивать скорость выполнения арифметических действий, так как скорость машины от этого существенно не повысилась бы... Машины этого класса имели скорость порядка 1—2 тыс. операций в секунду».

Итак, на структуру ЦВМ первого поколения решающим образом влиял тип ЗУ; производительность машины зависела от его быстродействия и логической организации.

Только параллельная обработка машинных слов могла в конечном счете дать более высокую производительность. Ее удалось организовать, когда научились использовать электронно-лучевые трубки в качестве накопителя ЗУ; фирма ИБМ в 1953 г. начала серийное производство универсальных ЦВМ с хранимой программой. Оперативное ЗУ в этих машинах имело емкость 2048 чисел по 36 разрядов каждое и позволяло производить простое сложение за 62,5 мкс.

В самой быстродействующей в то время в Европе советской машине БЭСМ, введенной в эксплуатацию в 1952 г. коллективом, руководимым академиком С. А. Лебедевым, оперативное запоминающее устройство параллельного действия было выполнено на электронно-лучевых трубках с барьерной сеткой. Память емкостью 1023 39-разрядных чисел имела время выборки 10 мкс.

Серийное производство ЦВМ у нас в стране было начато в 1953 г. Память первых отечественных серийных машин «Стрела» на электронно-лучевых трубках имела емкость 2048 чисел.

Несмотря на то, что ЗУ на электронно-лучевых трубках имели, даже по современным понятиям, высокое быстродействие, в целом у них были те же недостатки, что и у ЗУ на лампах. В конце концов их вытеснили более простые, компактные, экономные и надежные устройства с произвольной выборкой информации на ферритовых тороидальных сердечниках. Следует отметить, что смена запоминающих элементов памяти ЦВМ произошла исключительно быстро (за 2—3 года).

Ферритовые тороидальные сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса имеют малое время переключения и большой выходной сигнал. Сердечник идеально хранит информацию, так как магнитный поток в элементе замкнут. Ничтожно малые поля рассеяния позволили плотно упаковывать запоминающие элементы в накопителе. Были также найдены способы температурной стабилизации параметров сердечников. Короче говоря, ферритовый тороидальный сердечник оказался почти идеальным запоминающим элементом для оперативных ЗУ в машинах второй половины 50-х годов.

Но запоминающие устройства на сердечниках и других магнитных элементах — это уже память машин второго поколения.

Итак, ферритовые сердечники значительно повысили

плотность упаковки элементов в накопителе. Следовательно, появились сравнительно компактные ЗУ повышенного информационного объема. Даже при ламповом управлении запоминающее устройство с ферритовым накопителем и дешифратором на ферритах и полупроводниковых диодах стало намного более надежным и эко-

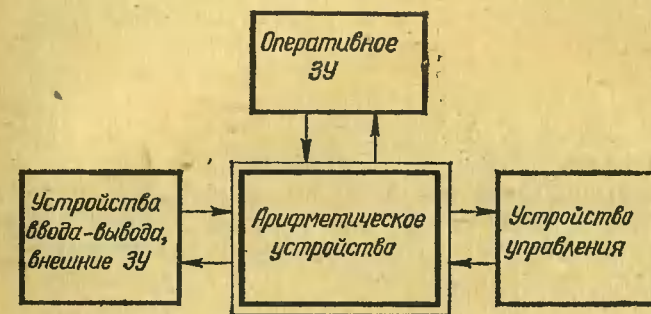


Рис. 2. Структурная схема машин первого поколения

номичным по сравнению с любым запоминающим устройством первого поколения равного информационного объема. Заметим, что ферритовые сердечники в сочетании с полупроводниковыми диодами начали использовать и для реализации логических функций. Были разработаны разные виды феррит-диодных ячеек для арифметических устройств в схемах управления ЦВМ (там, где при умеренном быстродействии требовалась повышенная надежность).

Та схема (рис. 2), по которой была построена первая машина с хранимой программой, долгое время использовалась без существенных изменений. Центральный блок структуры — арифметическое устройство, через него шла вся информация, от начала до конца решения задачи. Оперативное ЗУ работало совместно с арифметическим устройством (при выполнении вычислений), а также с устройствами ввода-вывода — при приеме и выдаче информации. Поскольку скорость ввода-вывода была значительно меньше скорости арифметического устройства, оперативное ЗУ простаивало значительную часть времени.

Во второй половине 50-х годов начинается переход к более совершенному типу структуры ЦВМ, ко «второ-

му структурному поколению». Уже в некоторых последних ламповых моделях для повышения быстродействия было предусмотрено временное распределение памяти между арифметическим устройством и устройствами ввода-вывода. Вся информация стала проходить через центральный узел машины — оперативное запоминающее устройство (рис. 3.).



Рис. 3. Структурная схема машин второго поколения

Появление машин второго поколения стало реально-стью в значительной мере благодаря созданию к тому времени компактной, быстродействующей оперативной памяти на ферритах; разработке различных форм параллельной работы узлов ЦВМ в процессе решения задачи, совершенствованию методов и языков программирования, а также налаживанию крупносерийного производства ЦВМ с применением унифицированных элементов и блочного принципа конструирования.

Окончательный переход к машинам второго поколения связан с организацией массового производства полупроводниковых миниатюрных диодов и транзисторов. Понятно, что на порядок выше стала плотность монтажа элементов ЦВМ, а производительность их возросла в среднем на два порядка. Одновременно существенно улучшились показатели надежности, в несколько раз

уменьшились потребляемая мощность и стоимость машин.

Существенное отличие характеристик нового поколения ЦВМ (повышение быстродействия, расширение класса решаемых задач, уменьшение потребляемой мощности, массы и габаритов и т. д.) раздвинуло рамки их применения. Кроме стационарных появились малогабаритные и бортовые ЦВМ, их начали применять в авиации, космической технике, при управлении объектами и технологическими процессами в системах, работающих в реальном масштабе времени. Короче, окончательно оформилась специализация ЦВМ: для научно-технических расчетов; для обработки больших массивов статистической и коммерческой информации (информационно-логические задачи); для решения специальных задач управления объектами и системами.

Наиболее мощные вычислительные машины второго поколения — СТРЕТЧ (ИБМ, США), Атлас (Великобритания), БЭСМ-6 (СССР), Контрол Дэйта 6600 (США) и др. Именно в таких машинах воплощены наиболее передовые структурные, схемно-технические и конструктивно-технологические идеи того времени.

Так, в системе СТРЕТЧ были три уровня совмещения операций, характерные для мультипрограммной работы ЦВМ:

разделение временных диаграмм блоков и устройств в процессе выполнения одной команды;

совмещение (во времени) подготовки и выполнения нескольких последовательных команд одной программы;

параллельное выполнение нескольких независимых программ (задач).

Были детально проработаны вопросы совмещения во времени процесса реализации нескольких последовательных команд одной программы. Для этого в схему включили сверхоперативное ЗУ (буферное), которое согласовывало работу основной оперативной памяти и арифметического устройства. Оно получает команды из основной памяти заранее, до их обработки арифметическим устройством. Всего в «буфере» могло находиться, на разных стадиях машинной обработки, более десяти команд.

Основную оперативную память машины разделили на блоки, временные диаграммы которых частично совмещались. Чтобы перекрыть время выполнения опера-

ций при обращении к различным модулям, чередовали адреса ячеек памяти: последовательно возрастающие адреса соответствовали различным блокам. Оперативное ЗУ в зависимости от комплектации ЦВМ могло содержать от 6 до 16 блоков.

Емкость блока ЗУ на ферритовых сердечниках равнялась 16384 словам по 64 разряда каждое (128 байт¹), минимальный период обращения к блоку составлял 2,1 мкс.

Всего в машине СТРЕТЧ использовалось 170 тыс. высокоскоростных транзисторов; время выполнения простой логической операции — 0,02 мкс. Фирма ИБМ выпустила пять образцов этой машины.

Машина Контрол Дэйта 6600 была организована по мультипроцессорному принципу. Основное (центральное) оперативное ЗУ на ферритовых сердечниках с временем обращения в 1 мкс (!) состояло из 32 блоков емкостью по 32 кбайта каждый. Блоки объединялись таким образом, что возможна была одновременная выборка 10 слов; а это при решении некоторых задач было равноценно уменьшению времени обращения к ЗУ до 100 нс (!). Функциональные блоки ЦВМ работали параллельно, что повышало производительность системы. Существенным для параллельной работы функциональных узлов было введение сверхоперативного транзисторного ЗУ емкостью 56 слов в состав центрального процессора ЦВМ.

Мультипроцессорная организация довела быстродействие системы до 3,3 млн. операций/с. Причем при решении некоторых научно-технических задач производительность этой ЦВМ в 20 раз превышала производительность машины СТРЕТЧ. Всего фирмой «Контрол Дэйта» было выпущено около десяти систем «6600».

Отечественная вычислительная машина БЭСМ-6 предназначена в основном для решения научных и народнохозяйственных задач. С 1966 г., в течение ряда лет, она входила в число наиболее мощных однопроцессорных вычислительных систем в мире. Быстродействия в 1 млн. операций/с удалось добиться при сравнительно умеренных аппаратных средствах (60 тыс. транзисторов) в основном благодаря удачному совмещению операций, применению сверхоперативного ЗУ, а также рас-

слоению (перекрытию временных диаграмм блоков) основной оперативной памяти, что позволяло производить выборку информации из основной памяти каждые 300 нс.

Даже столь краткий обзор наиболее мощных машин и систем второго поколения дает наглядное представление о том, какой гигантский скачок произошел за десять с небольшим лет. Это во многом объясняется повсеместным использованием в ЗУ ферритовых тороидальных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса. Только благодаря одному этому удалось за несколько лет увеличить более чем в 200 раз информационную емкость и в несколько десятков раз быстродействие оперативного ЗУ. Увеличение емкости и быстродействия позволило, в свою очередь, реализовать структурные усовершенствования, о которых говорилось выше.

Не вдаваясь в технические детали, они достаточно освещены в специальной литературе, отметим лишь некоторые важные особенности ферритовых ЗУ. Бистабильный тороидальный ферромагнитный элемент имеет прямоугольную петлю гистерезиса и переключается при считывании или записи информации током, образующимся при сложении как минимум двух управляющих полуктоков нужной полярности.

При изменении намагниченности сердечника от состояния «ноль» до состояния «единица» в считывающем проводнике вырабатывается импульсный сигнал. Площадь сигнала пропорциональна величине переключенного магнитного потока. Величины управляющих токов, амплитуда считанного сигнала и его длительность зависят не только от индукции и коэрцитивной силы магнитного материала, но в значительной степени от геометрии и диаметра сердечника. Отметим, что чем меньше размеры сердечника, тем быстрее и меньшими токами он переключается.

Повышение быстродействия и информационной емкости ферритовых ЗУ в основном сопровождалось непрерывным уменьшением размера сердечника накопителя. Много было сделано и по оптимизации параметров магнитного материала: его индукции, коэрцитивной силы, температурной стабильности и т. д. Были разработаны разнообразные конструкции накопителей на ферритовых сердечниках. Однако, как правило, все они комплектовались из так называемых ферритовых матриц — двух-

¹ 1 кбайт = 1024 слова по 8 разрядов каждое.

мерных сеток управляющих и считывающих проводников, в перекрестьях которых помещены ферритовые сердечники.

Ферритовые запоминающие устройства по логической организации схем накопителя можно разделить на три группы: трехмерные — с совпадением токов (3Д); двухмерные — с непосредственной выборкой (2Д); 2,5-мерные — с комбинированной выборкой (2,5Д). Первые ферритовые ЗУ имели логическую организацию 2Д и 3Д.

В типичном трехмерном ЗУ каждый сердечник прощит четырьмя или тремя проводками: двумя селективирующими, считывания и запрета. Селективирующие обмотки по строкам и столбцам всех матриц, количество которых определяет разрядность ЗУ, соединены последовательно. Обмотка считывания и запрета одного разряда проходит через все сердечники матрицы; часто число сердечников в матрице определяет число адресов в ЗУ, а число матриц в накопителе («кубе») — его разрядность. В двухмерных ЗУ сердечник выполняет только функцию запоминания, а в ЗУ с организацией 3Д и 2,5Д еще и функцию последней ступени дешифратора адреса.

Наиболее быстрая — схема 2Д, у нее минимальные задержки в накопителе, кроме того, она допускает режим форсированного считывания. Значительно экономичнее по электронному оборудованию управления, но более медленная — схема 3Д. Схема 2,5Д занимает промежуточное положение (о ее достоинствах мы еще будем говорить).

Повысить быстродействие ферритовых ЗУ большого объема за счет уменьшения диаметра сердечника сложно, из-за трудностей прошивки накопителя, ведь мы имеем дело с сердечником диаметром в доли миллиметра. Поэтому предлагались схемы прошивки ЗУ с минимальным количеством проводников, проходящих через сердечник. Но уменьшение числа проводников прошивки в свою очередь усложняет схему управления, а иногда ведет к уменьшению быстродействия ЗУ.

При применении сердечников диаметром в доли миллиметра управление (селектирование) производится токами в сотни миллиампер, в сердечнике считывается полезный сигнал не менее 15—20 мВ с длительностью, рав-

ной долям микросекунды. Отношение сигнал-помеха в ферритовых ЗУ всегда лучше $3/1$ и т. д.

Блоки ферритовых ЗУ в машинах второго поколения имели емкость 16—128 кбайт и быстродействие 1—5 мкс. Оперативная память могла состоять из нескольких однотипных блоков, количество которых зависело от класса ЦВМ.

Иерархический принцип построения памяти стал известен еще в 1946 г. а впервые реализован в 1949 г. Общее количество информации, необходимое для решения сложных задач, достигает десятков и сотен миллионов слов; время же обращения к оперативному ЗУ, во избежание замедления работы вычислителя, не должно превышать микросекунд (для мощных машин — долей микросекунд). Высокие требования к объему памяти и одновременно быстродействию ее всегда были и будут противоречивыми. Их чрезвычайно трудно реализовать в одном устройстве. Наиболее реальная возможность, но тоже паллиативная, преодолеть это противоречие — одновременно использовать в машине иерархию запоминающих устройств различных по емкости и быстродействию (рис. 4).

Большие массивы информации хранятся во внешних электромеханических ЗУ с накопителями на магнитных барабанах (НМБ), дисках (НМД) и лентах (НМЛ). И то, что имеются механические узлы, накладывает ограничение скорости считывания и записи информации. Для хранения информации, непосредственно участвующей в конкретных операциях, служит быстродействующая главная оперативная память. Между главной оперативной памятью и внешними ЗУ происходит обмен информацией по мере решения задачи (или нескольких задач). Эти массивы информации, однако, не превышают емкость ЗУ более высокого уровня.

К некоторым ячейкам оперативной памяти приходится обращаться многократно. Адреса их в течение вычислительного процесса меняются, но найдены методы вероятностного определения этой активной зоны адресов в информационном массиве. При перемещении информации из этой зоны оперативной памяти в буферное ЗУ, работающее в темпе работы вычислителя, существенно повышается скорость решения задачи. Естественно, что такой обмен между главной памятью и буферным ЗУ

происходит многократно, но тем реже, чем больше объем буфера.

Иерархический — принцип построения памяти эффективен при решении большинства задач. Однако он тем эффективнее, чем оптимальнее реализован алгоритм обмена массивами информации между всеми видами ЗУ в

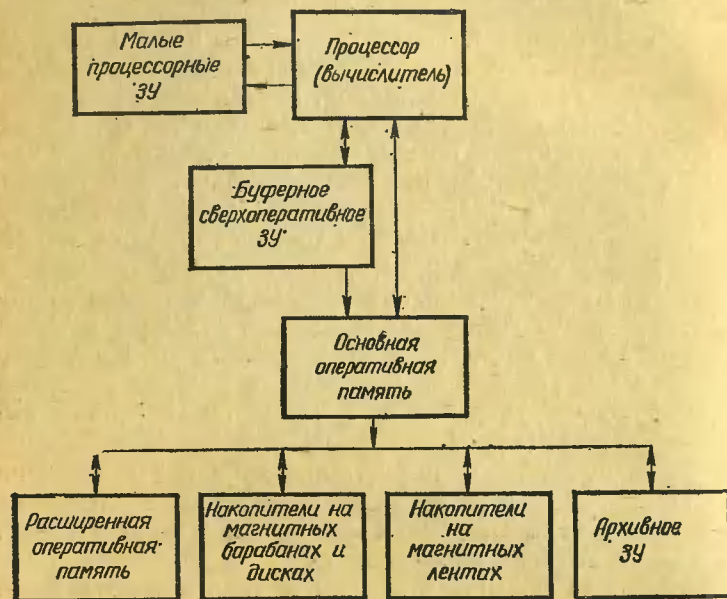


Рис. 4. Иерархическая система памяти

их иерархии. Увеличение ступеней памяти и некоторая избыточность емкостей ЗУ на различных ступенях иерархии повышают эффективность иерархического принципа.

Как известно, накопители на магнитной ленте — устройства большого информационного объема в системе иерархии ЗУ — первоначально были заимствованы из техники магнитной записи звука. Однако применение системы кодирования информации, специфичной для ЦВМ, реализация скоростных методов ее ввода и вывода с произвольных участков ленты через некоторое время сильно видоизменили конструкцию и схему этих устройств.

Барабан с магнитным покрытием в качестве носителя в электромеханическом ЗУ уменьшил время выборки информации до миллисекунд по сравнению с минутой в ЗУ на лентах. Впервые ЗУ на магнитном барабане было опробовано в ламповой машине в 1949 г. Оно имело емкость 1024 числа. У магнитного барабана значительно большая линейная скорость относительно головок, чем у ленты. Но так как длина магнитной дорожки — носителя информации — определяется диаметром барабана, то емкость ЗУ ограничена габаритами накопителя, а они, в свою очередь, высокими механическими требованиями к устройству. Сложна также технология изготовления и установки блока головок относительно поверхности накопителя. Поэтому в машинах третьего поколения они в основном были заменены накопителями на магнитных дисках.

Использование в качестве внешних запоминающих устройств накопителей на магнитных дисках было определено необходимостью иметь внешнее ЗУ очень большой емкости при сравнительно малом времени выборки информации. Синтез ЗУ на магнитном диске во второй половине 50-х годов стал весьма важным этапом развития памяти ЦВМ.

В 1956 г. фирма ИБМ разработала плавающие магнитные головки на воздушной подушке. Это позволило создать новый тип ЗУ, который впервые был опробован в машине ИБМ 305 РАМАК. Информация записывалась на 50 магнитных дисках, насаженных на общую ось, вращающуюся со скоростью 1200 об/мин. Запись и считывание осуществлялись двумя головками, перемещающимися над каждой из сторон диска. Диаметр диска (600 мм) позволял разместить на обеих сторонах 200 концентрических магнитных дорожек с 400 бит информации на каждой. Таким образом, емкость первого ЗУ такого типа составила уже 40 млн. бит. Среднее время обращения к любой ячейке — 500 мс.

В более поздних конструкциях ЗУ этого типа магнитные головки также поместили на подвижные рычаги. Но каждая магнитная головка перемещается рычагом вдоль радиуса диска и работает в пределах определенной группы дорожек, поэтому на рычаге располагается несколько головок. Разбиение концентрических магнитных дорожек на группы обусловлено в первую очередь необходимостью получить высокую точность установки

головки на выбранную дорожку (так как величина перемещения и точность установки обратно пропорциональны), а также различной линейной скоростью движения участков поверхности, что непосредственно влияет на амплитуду выходного сигнала. В связи с этим, усилители воспроизведения, обслуживающие разные группы дорожек, должны иметь разные коэффициенты усиления.

Различная линейная скорость участков носителя определяет еще одну особенность записи — неодинаковую ее плотность вдоль магнитных дорожек. Максимальная плотность записи — на внутренних дорожках, поэтому на внешних она подбирается такой, чтобы скорость выдачи данных с внешних и внутренних дорожек была бы приблизительно одинаковой.

Условия «плавания» магнитных головок зависят от их расстояния от оси вращения. Сделать одинаковыми условия работы головок можно, повысив чистоту обработки поверхностей диска. Для перемещения блока головок применяются пневматические, гидравлические и электромагнитные приводы.

В зависимости от размеров и количества дисков в пакете емкость накопителей в середине 60-х годов колебалась от десятков до сотен миллионов двоичных знаков, а среднее время выборки — в пределах десятков сотен миллисекунд.

Наибольшие эксплуатационные удобства предоставляют накопители со сменными пакетами дисков. Но, конечно, более высокое быстродействие у ЗУ, в которых пакет дисков не меняется.

Хотя ЗУ на дисках появились впервые в машинах первого поколения и широко использовались в машинах второго поколения, однако, наибольшее значение придается им при разработке машин третьего поколения; без них невозможно было бы реализовать все достижения в области математического обеспечения ЦВМ.

Рассмотрим верхнюю ступень иерархической памяти — **сверхоперативное буферное ЗУ**. Пожалуй, этот уровень ЗУ был наиболее «слабым» звеном в иерархической памяти машин второго поколения. В самом деле, подсчитано, что для эффективной работы иерархической системы памяти мощной машины емкость буферного ЗУ должна быть по крайней мере равной $(0,5-1) \cdot 10^5$ бит. Период обращения к такому ЗУ должен пол-

ностью соответствовать быстродействию арифметического устройства, чтобы обмен информацией между буферным запоминающим устройством и вычислителем происходил в темпе работы последнего.

Для больших машин быстродействие буферного ЗУ должно быть в пределах 50—200 нс, что соответствует производительности от сотен тысяч до миллионов операций в секунду. Однако реализация буферного ЗУ емкостью 10^5 бит на дискретных активных элементах потребовала бы минимум 300 тыс. (!) быстродействующих транзисторов. Такое не приемлемо по экономическим соображениям из-за громадной потребляемой мощности, недопустимо больших габаритов буферного ЗУ и т. д. Более того, недостаточная плотность запоминающих элементов в накопителе привела бы к большим задержкам сигналов в соединениях и связях, что, в свою очередь, снизило бы скорость устройства, собранного даже на самых быстрых транзисторных элементах. Поэтому буферные ЗУ столь большой емкости не разрабатывались даже для самых мощных машин и систем второго поколения. Малые вспомогательные процессорные ЗУ в виде набора из нескольких триггерных регистров выполнялись на тех же логических элементах, на которых строился процессор машины. А если сверхоперативное ЗУ выделялось в какой-либо мощной машине в отдельный конструктивный узел, то и в этом случае оно имело емкость не более 64 слов. Заметим, что для построения ЗУ даже такой емкости требуется не менее 15—20 тыс. транзисторов.

Таким образом, ограничение по емкости сверхоперативных буферных ЗУ не позволяло оптимально использовать иерархическую память машин второго поколения в ее верхней ступени, а следовательно, получить высокую вычислительную мощность ЦВМ при еще приемлемой стоимости машинных операций.

Хотя создание ЗУ на ферритах — выдающееся достижение вычислительной техники 50-х годов и эти магнитные элементы завоевали монопольное положение в оперативной памяти ЦВМ, разработчики продолжали искать такие запоминающие элементы, которые позволили бы построить сверхоперативное ЗУ высокого быстродействия с необходимыми технико-экономическими характеристиками. Если бы удалось разработать экономичный, компактный магнитный элемент, способный

переключаться быстрее ферритового сердечника, не было бы необходимости в структурных усложнениях оперативной памяти, например, в перекрытии временных диаграмм блоков ОЗУ (расслоении) и т. д. А если бы такой новый элемент переключался за единицы наносекунд, то оперативное ЗУ стало бы верхней ступенью иерархической памяти и отпала необходимость в буферном ЗУ. Поиск новых запоминающих элементов проводился в направлении синтеза интегральных элементов, или, точнее, матриц (групп) таких запоминающих элементов, выполненных за единый технологический цикл.

Заметим, что при уменьшении диаметра ферритового сердечника до 0,5 мм и менее удается создать весьма плотный дискретный накопитель. Но, увы, быстродействие его недостаточно для сверхоперативного ЗУ.

В 1961 г. в экспериментальной машине Линкольнской лаборатории Массачусетского технологического института начало работать оперативное ЗУ на новых быстродействующих элементах — тонких магнитных пленках. Память, организованная по логической схеме 2Д, имела емкость 1024 13-разрядных числа и работала с циклом 0,37 мкс(!). С 1962 г. тонкие пленки стали применяться в серийных машинах. Одной из первых применила пленочные ЗУ малого объема фирма «Барроуз» в серийной машине Д825. Интенсивные исследования в этом направлении проводила фирма ИБМ и многие другие.

Новые интегральные магнитные элементы изготавливались в виде матриц — групп элементов (до нескольких тысяч) на общей проводящей или диэлектрической подложке — напылением сверхтонкого слоя пермаллоя (около 1000 Å) в высоком вакууме. Магнитопленочный плоский элемент в силу своей геометрии имеет разомкнутый магнитный поток, очень большой разматывающий фактор, нормальный к плоскости подложки, и вследствие этого бистабильное состояние вдоль наведенной оси анизотропии в плоскости элемента. Это позволяет управлять намагниченностью элемента импульсами тока в ортогональных плоских проводниках (печатных или электроосажденных). В результате, в сборке элементов уже отпадает трудоемкая операция прошивки проводниками магнитной матрицы.

Но самое замечательное свойство нового элемента — высокое быстродействие. В умеренных магнитных полях,

создаваемых импульсами тока в сотни миллиампер, элемент переключается когерентным вращением намагниченности за наносекунду (!). Точнее, элемент практически безынерционен; следует отметить и то, что в силу планарной геометрии он высоко термостабилен, это выгодно отличает его от ферритового.

Оптимистически настроенные конструкторы решили, что при переключении пленочного элемента за 3 нс можно сформировать интегральные тонкопленочные ЗУ с циклом 20 нс. А так как сборка тонкопленочных накопителей избавлена от прошивки, то за короткий промежуток времени сверхбыстродействующие ЗУ на тонких магнитных пленках полностью вытесняют ЗУ на ферритах. И в начале 60-х годов в вычислительной технике начался «пленочный бум».

Но кроме увлечения магнитопленочной технологией, многих ученых стали интересовать триггеры на транзисторах в интегральном исполнении — как запоминающие элементы сверхоперативных ЗУ. Дело не только в том, что во много раз уменьшаются габариты ЗУ и потребление энергии, но и в том, что значительно возрастает надежность. Ведь полупроводниковая интегральная схема с несколькими десятками элементов так же надежна, как и дискретный полупроводниковый прибор: в интегральной схеме внутри многокомпонентных структур отсутствуют принципиально ненадежные паяные соединения. Быстродействие интегральных полупроводниковых микросхем памяти также предполагалось очень высоким. Отметим, что конкурирующие полупроводниковая и магнитная интегральные технологии имеют много общего и дополняют друг друга.

...сегодня...

Итак, в первой половине 60-х годов появились машины третьего поколения и в весьма короткий срок завоевали рынок. Значение этого трудно переоценить, так как именно с эффективным использованием вычислительной техники третьего поколения связывают успехи научно-технической революции. Настоящее вычислительной техники — это широкое использование машин и систем третьего поколения.

Уже на базе относительно ограниченного количества

машин второго поколения с созданным к тому времени математическим обеспечением были решены многие важные научные задачи, которые без вычислительной техники решить было невозможно. Толчок к интенсивной разработке и массовому распространению универсальных ЦВМ дала потребность в решении многочисленных информационно-логических и экономико-статистических задач. Напомним, что при решении экономических задач мы имеем дело с огромными массивами информации. Поэтому существенно повышаются требования к информационному объему памяти ЦВМ, номенклатуре и производительности устройств ввода-вывода, узлам коммутации внешних устройств с процессором и т. д.

Именно в решении экономических задач с помощью ЦВМ заинтересована основная масса пользователей. Было разработано множество алгоритмических языков высокого уровня — для расширения сферы применения ЦВМ в экономике, преодоления трудностей программирования на машинных языках, испытываемых многочисленными «недостаточно квалифицированными» пользователями.

Широкий и разнородный круг потребителей определил блочный (агрегатный) принцип построения ЦВМ, предусматривающей возможность варьировать состав оборудования системы по желанию потребителя. И что самое главное для массового пользователя, была существенно понижена стоимость ЦВМ и машинного времени.

Наконец, на развитие средств вычислительной техники третьего поколения существенно повлиял интерес (особенно в СССР и США) к машинному управлению объектами в реальном масштабе времени.

Любопытно, как оценивали эксперты состояние и перспективы вычислительной техники на рубеже 60-х годов. Так, Д. Килнер (Англия) в сентябре 1960 г. в обзорном докладе Британскому обществу по вычислительной технике отмечал большие успехи в разработках ЦВМ второго поколения; это и увеличение быстродействия в 100 раз, параллельная работа устройств, создание новых типов памяти, мультипрограммирование и т. д. И тем не менее он отметил, что эти машины — как бы «динозавры вычислительной техники». Он писал, что проводятся большие исследовательские работы по созданию новых элементов для ЭВМ. Цель работ в том,

чтобы найти новые методы переключения и запоминания, обеспечивающие большее быстродействие, а также более дешевые элементы, и в конечном итоге уменьшить стоимость вычислительных машин... Именно экономические соображения стали одним из стимулов поиска новых, более дешевых элементов, что связано с проблемой надежности. Именно экономические соображения, определяющие при выборе между использованием малых машин и использованием времени на больших машинах; именно экономические соображения становятся критерием ценности методов автоматического программирования и методов параллельного выполнения программ.

Переход к интегральной технологии явился логическим следствием работ по миниатюризации ЦВМ. Вопросы миниатюризации актуальны на всех этапах развития вычислительной техники. Выяснилось, что в плане миниатюризации полупроводниковые и в конечном счете монолитные интегральные микросхемы оказались самыми эффективными. Впервые идея интегральной схемы была предложена в 1952 г. В 1961 г. фирма «Тексас Инструментс» задействовала бортовую ЦВМ с тактовой частотой 100 кГц на 587 интегральных схемах. В 1960 г. интегральная схема стоила 450 долларов, в 1963 г. цена уменьшилась до 23 долларов за штуку и приблизилась к уровню стоимости эквивалентного набора схем на миниатюрных дискретных компонентах.

В середине 60-х годов было объявлено о выпуске машин третьего поколения на интегральных схемах (типичная структурная схема машин третьего поколения показана на рис. 5). Исследования, разработка и производство этой новой техники стоили очень дорого. Так, на разработку системы 360 фирмой ИБМ было истрачено 500 млн. долларов. Для производства новой серии фирма построила пять новых заводов, затратив на это еще 5 млн. долларов. По оценке экспертов, создание серии 360 обеспечило фирме в 70-х годах лидирующее положение на мировом капиталистическом рынке (более 70% от полной стоимости сбыта всех ЦВМ).

Каковы же основные достоинства машин третьего поколения?

1. Возможность обрабатывать коммерческие и научные данные одновременно (универсальность).
2. Новые принципы организации ЦВМ (очень боль-

шие емкости ЗУ, иерархия скоростей, микропрограммное управление, гибкая защита памяти, простота перемещения программ с помощью эффективной операционной системы).

3. Относительная независимость логической структуры от принципов физической реализации устройств,

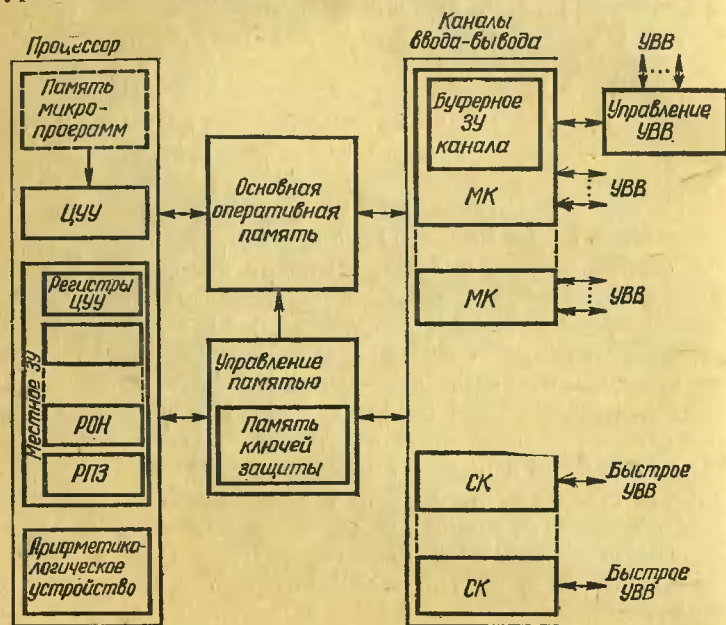


Рис. 5. Типичная структура машины третьего поколения

ЦУУ — центральное устройство управления; РОН — регистры общего назначения; РПЗ — регистры с плавающей запятой; МК — мультиплексный канал; СК — селекторный канал; УВВ — устройство ввода-вывода

что позволяет совмещать программы для больших и малых моделей (совместимость на уровне программы распространяется и на различные «применения» — научные, коммерческие, решение задач в реальном масштабе времени и т. д.).

4. Стандартность сопряжения процесса и устройств ввода-вывода благодаря мультиплексным и селекторным каналам ввода-вывода; отсюда высокая скорость передачи данных,

5. Существенное усовершенствование внешних ЗУ, в том числе на дисках.

6. Приспособленность к самоуправлению при решении задач в реальном масштабе времени, мультипрограммировании и работе с разделением машинного времени между пользователями, для чего разработана мощная операционная система — набор служебных управляющих программ, связанных между собой главной управляющей программой.

7. Возможность модифицировать комплекс оборудования устройствами, созданными на основе новой технологии.

Производительность машин третьего поколения рассчитывается по количеству задач, решаемых за определенный период времени, а не по числу бит, перерабатываемых за микросекунду. Такой подход потребовал значительно увеличить пропускную способность ЦВМ при использовании операционной системы (что предполагает минимум «ручного» труда программистов, и уменьшение времени «пребывания» задач в системе). Высокие эксплуатационные характеристики были достигнуты благодаря полному аппаратному контролю машинных сбоев, программной диагностике сбоев и отказов.

Таковы важнейшие принципы единой архитектуры систем ЦВМ третьего поколения.

Один из крупнейших по масштабам и сложности проектов социалистических стран — создание Единой системы электронных вычислительных машин (ЕС ЭВМ). Разработка этой серии машин третьего поколения по объему капиталовложений, количеству организаций-соисполнителей, составу разработанных технических средств и математического обеспечения стала самой крупной программой в истории развития вычислительной техники в Советском Союзе и социалистических странах.

Кратко особенности системы были сформулированы так: ЕС ЭВМ представляет собой семейство программно совместимых ЭВМ, построенных на единых интегральной элементной и конструктивно-технологической базах. Составление программы решения той или иной задачи, в принципе, не зависит от конкретной модели, на которой она будет решаться. Решение будет отличаться лишь временем ее выполнения.

Характерной особенностью ЕС ЭВМ является вы-

сокий уровень унификации и стандартизации, охватывающих конструктивно-технологическую и элементную базы, структурные решения и систему программирования. Это позволило организовать эффективную кооперацию при производстве ЕС ЭВМ всех сотрудничавших в данной работе социалистических стран.

В жесткой конкурентной борьбе с другими поставщиками ЦВМ фирма ИБМ выпустила на рынок серию «360», применив в первых моделях «промежуточную» интегральную технологию. Серия рекламировалась на 1964 г., выпуск начался через 1,5 года, тем не менее фирма не сумела избавиться от некоторых недостатков.

В серии отсутствовали малые и сверхмощные машины;

вместо монолитных интегральных схем были использованы гибридные микросхемы, изготовленные по промежуточной комбинированной технологии;

серия была недостаточно приспособлена для организации больших систем с автоматическим распределением (разделением) машинного времени между абонентами.

Между выпуском первой модели 360/30 и последней — двенадцатой — прошло 6 лет. В 1971 г. в продажу поступила самая мощная модель 360/195 — первая, полностью построенная на монолитных интегральных схемах.

В странах — членах СЭВ технология машин серии ЕС ЭВМ была сразу ориентирована на монолитные интегральные схемы. Всего в комплект первой очереди ЕС ЭВМ вошло восемь моделей: ЕС-1010, ЕС-1020, ЕС-1021, ЕС-1022, ЕС-1030, ЕС-1033, ЕС-1040, ЕС-1050. Производительность наиболее мощной из них, ЕС-1050, — 500 тыс. операций в секунду.

Что же отличает память наиболее типичных систем третьего поколения первой очереди?

Основная оперативная память выполнена на ферритовых сердечниках. В ИБМ 360/50, центральной модели системы 360, средней по классу и поэтому интересной для массового пользователя, основная оперативная память имеет цикл 2 мкс. Типовая емкость оперативной памяти — 262 кбайт. Ферритовые блоки ЗУ в наиболее производительных моделях системы 360 имеют цикл 0,75 мкс.

В машинах ЕС ЭВМ первой очереди оперативные ЗУ также построены на ферритовых сердечниках. Основная оперативная память блочного типа в зависимости от класса машины имеет емкость от 64 кбайт до 1024 кбайт. При выборе запоминающего элемента сомнений не было, поскольку к началу разработок ферритовые сердечники были самыми распространенными, дешевыми и надежными элементами.

Чтобы получить необходимое быстродействие при большом информационном объеме памяти и достаточно широком температурном диапазоне, пришлось разработать миниатюрные сердечники со сравнительно малым временем переключения, достаточным отношением сигнал/помеха, небольшими токами управления и необходимой термостабильностью. Для крупносерийного производства технология изготовления таких сердечников оказалась производительной, простой, легко осваиваемой и, следовательно, дешевой.

В основной памяти ЕС ЭВМ применили трехпроводную схему логической организации — 2,5Д. Она экономичнее схемы 2Д по оборудованию, быстродействие ее выше, чем у схемы 3Д, благодаря более коротким во времени переходным процессам в разрядно-считывающем тракте после записи информации. Кроме того, повышению быстродействия ЗУ способствует сокращение рабочего цикла управляющих импульсов.

Число проводов, пронизывающих сердечник, в схеме 2,5Д в общем случае на один меньше, чем у 3Д, что упрощает и удешевляет прошивку накопителя. Помехоустойчивость ее выше, так как число полувывбранных сердечников в ней, определяющих уровень помех полувозбуждения, меньше, чем в схеме 3Д; кроме того, нестабильность токов управления в ней может быть в 2 раза больше, чем в системе 3Д. Благодаря этому при одинаковых требованиях к разбросу параметров сердечников и формирователей тока область работоспособности ЗУ расширяется.

При создании основной оперативной памяти для ЕС ЭВМ первой очереди были найдены оригинальные схемотехнические и конструктивно-технологические решения. В памяти модели ЕС-1020 применен сердечник с внешним диаметром 0,8 мм, что позволило в блоке емкостью 64 кбайт получить цикл 2,0 мкс.

В основной оперативной памяти моделей ЕС-1030 и

ЕС-1050 установлен однотипный магнитный блок емкостью 128 кбайт с сердечниками внешнего диаметра 0,6 мм. Благодаря этому цикл в блоке равен 1,25 мкс. Ферритовые матрицы магнитных блоков основной оперативной памяти изготовлены по единой технологии (тонкие маски точно ориентируют сердечники по строкам и столбцам; сердечники закрепляются на липкой основе — прошивка механизмуется и упрощается). К достоинствам магнитных блоков ЕС отнесем и высокую плотность расположения сердечников в накопителях, что уменьшило длины и сопротивления линий с сердечниками, облегчило формирование токов управления нужной стабильности.

Емкость блочной основной оперативной памяти ЕС ЭВМ можно наращивать в ЕС-1020 от 64 до 256 кбайт, в ЕС-1030 от 128 до 512 кбайт, в ЕС-1050 от 256 до 1024 кбайт и т. д. В ЕС-1050 при емкости основной памяти от 512 кбайт используется расслоение, что существенно увеличивает производительность машины.

Таким образом, в наиболее типичных системах третьего поколения первой очереди ИБМ 360 и ЕС ЭВМ основная оперативная память — ОЗУ на ферритовых сердечниках, параметры которых по емкости и быстродействию соответствуют лучшим образцам ЗУ на ферритах в машинах второго поколения. Как уже говорилось, был уменьшен диаметр сердечников (до 0,6 мм), использована логическая организация 2,5Д, применены в управлении ЗУ монолитные интегральные микросхемы общего назначения. Все это, а также конструктивно-технологические решения, свойственные ЦВМ третьего поколения, позволили примерно в 3 раза увеличить удельную информационную мощность ЗУ.

В составе типичной машины третьего поколения (рис. 5), кроме основной памяти, имеется большой набор ЗУ различной емкости и быстродействия. В буферных ЗУ каналов ввода-вывода быстродействие должно быть сравнимо со скоростью работы основной оперативной памяти. Это позволяет компоновать их из одинаковых ферритовых сердечников без особых схемных ухищрений. Однако процессорные ЗУ формируются из быстродействующих запоминающих элементов. Уже упоминалось о разработке таких элементов, в том числе, о тонких магнитных пленках (ТМП). Память на этих элементах стала составной частью систем ИБМ-360 и ЕС

ЭВМ, однако не в том объеме, как предполагалось вначале.

За высокое быстродействие новых пленочных элементов пришлось «платить» существенно более сложной технологией. Кроме того, поскольку в них магнитный поток разомкнут, обнаружилось так называемое «сползание» намагниченности под действием магнитных полей от полувозбужденных проводников. Чтобы преодолеть эффект сползания, потребовалось несколько лет дополнительных исследований. И еще: геометрия ТМП ограничивает величину выходного сигнала до 1—1,5 мВ.

В ЗУ на ТМП, в силу принципа работы запоминающих элементов, можно было применить лишь логическую схему 2Д. Она, как известно, требует большего количества электронного оборудования, нежели схемы 3Д и 2,5Д.

Сложная технология и стоимостные характеристики ограничили применение тонких пленок в ЗУ машин третьего поколения. Наиболее приемлемы оказались ТМП со средним информационным объемом и быстродействием 0,4—0,2 мкс, т. е. в диапазоне параметров, где применение других магнитных элементов, в том числе ферритовых, было бы затруднительно. Фирма ИБМ применила тонкие магнитные пленки также и в основной оперативной памяти одной из мощных моделей системы 360. Емкость ее составила сотни килобайт, а быстродействие — 120 нс. Эта уникальная разработка, продемонстрировавшая предельные возможности магнитных пленок, не была внедрена в серийное производство, видимо, по экономическим соображениям.

В машинах ЕС ЭВМ первой очереди при разработке малых ЗУ рассматривались различные технические решения. При выборе запоминающихся элементов руководствовались в основном требуемым быстродействием. Для ЗУ с циклом 1—2 мкс удобнее были ферритовые сердечники; для ЗУ с циклом в доли микросекунды более быстрые — тонкие магнитные пленки (планарные, или цилиндрические). Сверхбыстродействующие ЗУ с выборкой менее 100 нс могли быть реализованы только на активных элементах — полупроводниковых интегральных схемах. Так, местная процессорная память модели ЕС-1050 — регистры центрального устройства управления (ЦУУ), общего назначения (РОН), регистры для арифметических вычислений с плавающей запя-

той (РПЗ) общей емкостью около 1 кбайт с циклом 160 нс — была сформирована на интегральных биполярных микросхемах общего назначения.

Следующий по быстродействию среди ЗУ малого объема была память ключей защиты (ПКЗ); среднее время выборки информации 160 нс (с учетом времени сравнения ключей — 220 нс), цикла — 300 нс. В этом ЗУ посчитали целесообразным использовать планарные магнитные пленки.

Пермалловые пленки со сверхтонкой прослойкой меди (для ликвидации эффекта «сползания») и суммарной толщиной в 1200 Å изготавливались методами интегральной технологии: вакуумное напыление на дюралевые подложки — матрицы емкостью 1,7 кбит. Вместе с накладными печатными проводниками из тонкого фольгированного диэлектрика и магнитным замыкателем пленочные матрицы образуют магнитный блок в виде типового элемента замены (ТЭЗ), на котором расположена также оконечная ступень адресного дешифратора из интегральных диодных сборок. Логическая схема устройства — типа 2Д. Максимальное быстродействие магнитного блока памяти ключей защиты 120—150 нс, оно ограничено временем затухания помехи от записи информации.

В местной памяти модели ЕС-1030 со временем выборки 400 нс были применены цилиндрические магнитные пленки (ЦМП) с направлением оси анизотропии по окружности проводника. Как и плоские пленки, ЦМП изготавливали по интегральной технологии. На подложку — проволоку из бериллиевой бронзы — электролитически наносится пленка из пермаллоя, носитель информации. Нанесение пленки и контроль ее параметров происходит непрерывно при протягивании проволоки через установку. Отрезки проволоки с магнитным покрытием вместе с пятывитковыми адресными обмотками, плетеными на автомате, образуют матрицы емкостью 2,5 кбит. Магнитный блок собран из двух таких матриц по схеме 2Д.

Большинство машин третьего поколения — с микропрограммным управлением. Это значит, что понадобились быстродействующие постоянные ЗУ, работающие только на считывании информации. Принцип микропрограммного управления был выдвинут в 1957 г. и впервые реализован в специализированных ЦВМ. Но по-на-

стоящему широкое поле деятельности он получил с появлением первых систем третьего поколения.

Так, например, память микропрограмм ЕС-1020 и ЕС-1030 должна была иметь время считывания информации 650 и 350 нс, а емкость 64 и 32 кбайт соответственно. Поэтому в них стали использовать запоминающие элементы трансформаторного типа из феррита с линейной характеристикой. В ПЗУ ЕС-1020 применены П-образные сердечники с замкнутым магнитопроводом и сменные кодовые карты с печатной обмоткой из тонкого фольгированного диэлектрика в качестве носителя информации. В ПЗУ ЕС-1030 с разомкнутым магнитопроводом — в виде Е-образных сердечников из пар П-образных сердечников с проводными адресными кодовыми обмотками.

Сущность микропрограммного управления в том, что каждая машинная операция управляется специальной микропрограммой, хранящейся в ПЗУ. Следовательно ПЗУ — источник управляющих сигналов, оно выполняет функции устройства управления ЦВМ. Вычислительная машина структурно очень гибка: предусмотрена возможность варьировать состав операций (набор команд), заменяя содержимое ЗУ микропрограмм. С другой стороны, наладка машины упрощена, а стоимость устройства управления снижена. Быстродействие же ЦВМ с таким управлением ограничено скоростью работы микропрограммного ЗУ. И только с появлением интегральных быстродействующих элементов ПЗУ принцип микропрограммного управления был реализован во всех без исключения моделях ЦВМ систем третьего поколения.

Какие же внешние ЗУ у первых машин третьего поколения?

В структурной схеме (см. рис. 5) внешние ЗУ отнесены к устройствам ввода-вывода (УВВ). Ввод — термин, обозначающий передачу массивов информации от внешнего по отношению к центральному процессору источника в основную оперативную память; вывод — передачу информации из основной оперативной памяти внешнему источнику.

Отдельные УВВ подключаются непосредственно к каналам связи ЦВМ главным образом для того, чтобы операции ввода-вывода выполнялись одновременно с операциями процессора, т. е. для эффективной парал-

лельной работы устройств: это основной принцип работы современной вычислительной техники. Канал фактически представляет собой малую ЦВМ. Он, подобно процессору, реализует некую программу, составленную из хранимых в основной памяти команд.

Накопители на магнитных дисках используют как промежуточную быструю память между основной оперативной памятью и НМЛ. Большие массивы данных, особенно при решении экономико-статистических задач, хранятся в НМЛ. Однако данные, к которым приходится обращаться часто, а также часто используемые программы, которые не умещаются в основной памяти, хранятся в НМД.

В предыдущей главе говорилось об основных особенностях и работе магнитного диска. Добавим, что НМД считают устройством с так называемым прямым доступом, в котором выборка информации значительно короче, чем из НМЛ. В качестве носителя в НМД используется магнитный диск с ферролаковым покрытием. Типовой сменный пакет емкостью 7,25 Мбайт в машинах третьего поколения — набор из 6 дисков, количество рабочих поверхностей в пакете — 10, рабочих дорожек на каждой поверхности — 200 (и 3 запасных), емкость одной дорожки — 3,625 кбайта, магнитных головок — 10. Среднее время выборки информации — 85 мс, скорость выдачи данных — 156 кбайт/с, частота вращения диска — 2400 об/мин.

Мы так подробно остановились на характеристике НМД, поскольку именно эти устройства — основной вид внешней памяти прямого доступа в первых системах третьего поколения. Их использование позволило реализовать возможности математического обеспечения, позволило ЦВМ эффективно работать в многопрограммном режиме с минимальным вмешательством оператора. Что касается традиционных накопителей на магнитной ленте, то, например, при разработке ЕС ЭВМ первой очереди в основном модернизировали НМЛ второго поколения: повышали их надежность; перерабатывали устройства управления под стандартный интерфейс, приводили их в соответствие требованиям международных стандартов. Типичное НМЛ в ЕС ЭВМ 5017 имеет емкость катушки 22 Мбайт, среднее время выборки информации — 75 с, максимальную скорость передачи данных — 64 кбайт/с.

В машинах второго и в первых системах третьего поколения при определенных достижениях в совершенствовании основного ЗУ не удалось, однако, в полной мере развить иерархическую память в ее верхней ступени. Из-за отсутствия достаточно компактных, быстродействующих и дешевых элементов в структуре системы практически нет сверхоперативной буферной памяти повышенной емкости. По той же причине не были эффективно реализованы преимущества микропрограмного управления в мощных моделях.

С 1971 г. фирма ИБМ начала выпуск нового семейства машин 370, которые можно фактически считать второй очередью систем третьего поколения ЦВМ. И здесь уже были в основном ликвидированы недоработки предыдущей серии.

Система 370 логически продолжает «классическое» направление в структуре ЦВМ и принципах программирования; они сложились за два предыдущих десятилетия, и в то же время стали воплощением новейших идей современной интегральной микроэлектроники. К основным особенностям системы 370 следует отнести:

1. Более высокий уровень производительности как абсолютный, так и относительный (отнесенный к стоимости оборудования).

2. Расширение функциональных возможностей процессоров — точность до 30 десятичных знаков, большой объем управляющих операций.

3. Эффективное использование систем ввода-вывода (одновременная работа внешних устройств на высоких скоростях).

4. Выполнение техническими средствами дополнительных функций по программному обеспечению работы в режимах мультипрограммирования, автоматического разделения машинного времени между абонентами и многопроцессорной работы.

5. Автоматическое обнаружение и исправление значительной части ошибок (имеется аппарат диагностики неисправностей).

6. Более совершенное математическое обеспечение.

В трех последних моделях ИБМ 360 были опробованы новые архитектурные, схемные и конструктивно-технологические решения; они нашли должное место в машинах второй очереди. Так, в модели 360/67, ориентированной исключительно на работу в режиме автомати-

ческого разделения машинного времени между абонентами, была реализована идея виртуальной памяти; в моделях 360/85 во многих узлах использовались монолитные интегральные схемы, а в машине 360/195 других схем уже не было. Кроме того, в две последние модели установили сверхоперативную буферную память.

Идея виртуальной памяти, сформулированная впервые в 1963 г., заключается в том, что в машину вкладывают технические средства динамической переадресации при обращении к различным ступеням иерархической памяти и соответствующие операционные программы. Все это как бы расширяет основную оперативную память, объем которой, с точки зрения программиста, превышает реальный объем основной памяти. Эта условная основная оперативная память называется «виртуальной», а логические адреса для адресации ячеек виртуальной памяти называются «виртуальными адресами». Для пользователя виртуальная память намного превосходит истинную физическую оперативную память; в последней есть только те массивы виртуальной памяти, к которой обращались в самое недавнее время.

При обращении пользователя к массивам, отсутствующим в действительной основной памяти, они вводятся туда из внешней памяти вместо массивов, интерес к которым наименее вероятен. Перемещение массивов происходит автоматически, без указания на это в программе пользователя. Для осуществления этого процесса адреса, используемые программой, представляют в виде логических адресов. Динамическая переадресация предполагает перекодирование логического адреса в соответствующий истинный, который определяет область реальной памяти. В системах второй очереди переадресацию осуществляют применительно к двум типам блоков (массивов) информации — сегментам и страницам. Сегмент — это блок последовательных логических адресов емкостью 64 кбайт или 1 Мбайт. Страница — блок памяти в 2 или 4 кбайт. Логические адреса перекодированы в истинные с помощью двух таблиц перекодировки — сегментов и страниц — отображающих текущее распределение действительно установленной основной памяти. Содержание таблиц обычно хранится в процессорной (местной) памяти (рис. 6).

Техническая реализация виртуальной памяти в машинах третьего поколения сдерживалась и недостаточ-

ным объемом внешних ЗУ прямого доступа. Увеличение объема накопителей на магнитных дисках при широком использовании НМД с емкостью 29 и 100 Мбайт сняло это ограничение. Отметим, что уже с конца 60-х годов в Советском Союзе положительный практический опыт использования виртуальной организации памяти с при-

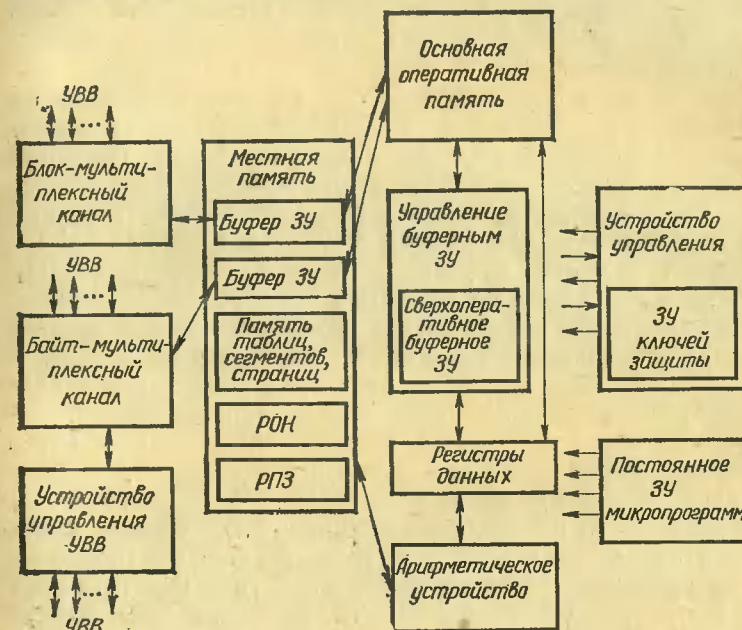


Рис. 6. Структура машин третьего поколения второй очереди

менением сначала накопителей на магнитном барабане, а позднее — НМД, был получен при создании вычислительных систем на базе машин БЭСМ-6.

Одна из проблем, которую необходимо решить разработчикам быстродействующей вычислительной системы, заключается в том, что основная оперативная память имеет меньшее быстродействие, чем арифметическое устройство. Попытки уменьшить различие в быстродействии центрального процессора и памяти предпринимались, как уже отмечалось, постоянно. Пробовали и быстрые регистры, и временное совмещение операций, и расслоение памяти. Но при этом все же не достигали нужного эффекта. Наконец, в машине ИБМ 360/85

установили быстродействующую буферную память; ее встроили в процессор. К такой буферной сверхоперативной памяти программа не может обращаться, она как бы не существует для программиста. В ней хранят содержимое зон основной памяти, непосредственно участвующее в вычислительном процессе; обслуживается она центральным процессором на динамической основе. Основная память и буферное ЗУ разбиты на зоны, каждая из них состоит из постоянного количества блоков. При первом обращении процессора к блоку памяти этот блок перемещается в буферную память. При последующих обращениях выборка информации производится уже главным образом из буферного ЗУ.

Подобную организацию работы памяти использовали также в переходной модели 360/195 и в моделях 155 и 165 системы 370. Буферная память в ИБМ 370/155 построена на основе ЗУ емкостью 8 кбайт. Относительное время выборки уменьшается по сравнению с временем выборки из основной памяти на порядок.

При запросе данных процессором устройство управления буферного ЗУ ищет адреса запрашиваемой информации в его адресном массиве. Если данные находятся в буфере, то они передаются в процессор без обращения к основной памяти. Если же в буфере их не оказалось, то приходится обращаться к основной памяти и данные попадают в процессор непосредственно из нее; кроме того, они заносятся и в буфер. В общем случае буферные системы памяти исключительно эффективны: экспериментальные исследования показали, что около 90% данных, к которым обращался процессор, находились в буферной памяти.

Таким образом, сформировать верхнюю ступень иерархической памяти стало возможно после появления сверхбыстродействующего ЗУ повышенного информационного объема. Например, буферное ЗУ ИБМ 370/165 имеет емкость до 16 кбайт (более 10^5 бит) и период обращения — 80 нс. Такие параметры — результат применения монолитных интегральных полупроводниковых схем ЗУ, из которых собирают накопитель буферного ЗУ.

В машинах второй очереди ЕС ЭВМ усовершенствованы система математического обеспечения, архитектура, схемно-структурные решения, элементная база, технология и конструкция основных видов технических

средств, причем максимально учтены последние достижения мировой вычислительной техники.

Микропрограммный принцип управления типичен для всех моделей второй очереди ЕС ЭВМ. Используются сверхбыстродействующие ЗУ как постоянные, так и оперативные на полупроводниковых монолитных БИС. Если в переходной модели ЕС-1033 быстродействие постоянного ЗУ микропрограмм на ферритах при выборке информации составляло 150 нс, а цикл — 300 нс, то в последующих моделях быстродействие полупроводниковой памяти микропрограмм меньше 90 нс (при емкости в десятки килобайт).

Чем еще отличается память машин второй очереди ЕС ЭВМ?

Во всех машинах второй очереди реализована виртуальная память. Это предоставляет возможность программисту использовать в программе до 16 Мбайт информации, адресуемой памяти для размещения программ и данных при истинной емкости основной оперативной памяти меньшего объема. Кроме того, виртуальная память помогает ускорить процесс подготовки программ, значительно упрощает их структуру; без нее нельзя эффективно организовать как однопроцессорные, так и многопроцессорные вычислительные системы.

В ЕС ЭВМ второй очереди применено сверхоперативное буферное ЗУ на монолитных интегральных микросхемах во всех моделях. Местная память процессора — также на полупроводниковых больших интегральных схемах. Существенно улучшены характеристики основной оперативной памяти. Так, например, оперативная память ЕС-3206 емкостью 1 Мбайт имеет цикл 1,1 мкс, время выборки 0,55 мкс; она построена по модульному принципу и размещается вместе с электропитанием в стандартной стойке ЕС ЭВМ.

Основные внешние ЗУ с прямым доступом в системах второй очереди — память на магнитных дисках емкостью 29 и 100 Мбайт. Это, как уже говорилось, позволило реализовать в системах виртуальную организацию памяти, для чего требуется большой объем ЗУ с прямым доступом. Типичным дисковым ЗУ машин второй очереди является, например, установка ИБМ-2314; в ней 8 модулей, сменный пакет модуля из 11 дисков емкостью 29 Мбайт. Скорость обмена данными с НМД равна 312 кбайт/с. Информационный объем памяти ус-

тановки от 29 до 239 Мбайт; среднее время выборки информации — 60 мс.

-Дисковая запоминающая установка типа ИБМ-3330 — последнее слово в области НМД. Это модульное высокопроизводительное внешнее ЗУ со сменными пакетами дисков. Скорость передачи данных — 806 кбайт/с, максимальная информационная емкость — 800 Мбайт. В каждом модуле установки два пакета дисков емкостью по 100 Мбайт. Головки чтения-записи — подвижные. Среднее время доступа к информации — 30 мс, скорость вращения пакета — 3600 об/мин.

Небольшое резюме. В машинах третьего поколения еще широко применяются ферритовые ЗУ — в качестве основной оперативной памяти. С появлением сверхбыстродействующих полупроводниковых интегральных микросхем памяти стало возможным реализовать прогрессивный микропрограммный принцип управления.

Интегральные микросхемы явились также основой для синтеза верхней ступени иерархической памяти: сверхоперативные буферные ЗУ повышенного информационного объема с циклом менее 100 нс. Производительность ЦВМ существенно повысилась благодаря быстрой буферной памяти на интегральных схемах. Большие интегральные схемы начинают также использоваться в основной оперативной памяти.

Внешними ЗУ с прямым доступом служат накопители на магнитных дисках. Емкость НМД возросла с 7,25 Мбайт в первых машинах до 29 и 100 Мбайт в новейших разработках; причем значительно снизилась удельная стоимость ЗУ и повысилась их надежность. Наличие больших емкостей внешней памяти с прямым доступом позволило широко внедрить эффективную виртуальную организацию памяти.

...завтра

За последние десятилетия объем памяти ЦВМ увеличился от нескольких тысяч до миллиардов слов, уменьшилась стоимость и резко повысилась надежность элементов. Прогрессивные методы управления, такие, как хранение громадных массивов информации в иерархической памяти виртуальной организации, позволили эффективно использовать дешевую, но медленную внеш-

нюю память, практически не снижая быстродействия процессора.

Память стали рассматривать как один из **ресурсов вычислительной системы**, который можно с экономической точки зрения сопоставлять с другими ресурсами, такими, как затраты труда на программирование и стоимость управления системой. В качестве ресурса память и программное управление ею доминируют в стоимостных оценках технических средств большинства современных вычислительных систем. Полезно рассмотреть экономические и технологические факторы, которые регулируют использование памяти и помогают оценить будущее различных видов ЗУ.

Большое разнообразие машин и систем не позволяет провести четкие границы между их классами. Общие тенденции можно проследить в принципах использования крупных, больших, средних и малых машин. Это и объединение нескольких мощных процессоров в единые комплексы, и развитие систем телеобработки с вводом данных на расстоянии (при этом используются так называемые «интеллектуальные» усложненные периферийные устройства) и т. д. Труд операторов и программистов облегчают дополнительные аппаратные средства и специальное программное обеспечение.

Централизация мощностей в единых центрах, обслуживание их квалифицированными специалистами приводят в конечном счете к применению более мощных ЦВМ, но соответственно в меньшем количестве. Ввод данных — традиционно одна из наиболее дорогостоящих работ — теперь осуществляется с помощью периферийных устройств, установленных там, где данные собираются и используются. Периферийные устройства (терминалы) подключаются к центру системы по коммутируемым и выделенным линиям связи. Часто терминалы имеют процессор и проводят некоторые простые вычислительные операции.

При работе с современными операционными системами значительно облегчается процесс программирования. Многие обязанности программиста передаются машине (распределение памяти, например, превращается в динамическую функцию операционной системы (ОС) и осуществляется автоматически).

Большая часть ресурсов памяти используется для хранения обширной операционной системы. Если, напри-

мер, дисковая операционная система (ДОС) довольствовалась 20% емкости основной памяти, то для систем ОС может потребоваться до 50%. Следовательно, необходимо увеличивать ресурс памяти, а это повышает ее стоимость. Но так как затраты ручного труда на программирование весьма велики, такие расходы оправданы, особенно если учитывать постоянное уменьшение удельной стоимости памяти.

Прослеживается и тенденция расширить ресурс ЗУ конкретных вычислительных систем у пользователей (по мере приобретения ими опыта работы с ЦВМ). Как правило, пользователь начинает работать со сравнительно небольшой ЦВМ; ее память и УВВ он наращивает по мере усложнения задач. Через некоторое время он меняет процессор на более мощный², переходит от обычной пакетной обработки информации к более сложным комбинированным методам, что опять-таки требует увеличения ресурса памяти.

Например, если машина ЕС-1030 выпускалась первоначально с оперативной памятью в 256 кбайт, то по прошествии некоторого времени многие пользователи увеличили ее емкость до 512 кбайт. Позднее эта ЦВМ продавалась, как правило, именно с такой памятью. Или, скажем, желание оператора работать с процессором через вынесенный пульт-дисплей, требует дополнительного ресурса памяти в 32—64 кбайт и т. д. Короче говоря, специалисты считают, что ресурс памяти (как основной, так и периферийной) в уже эксплуатируемых и во вновь разрабатываемых средних и больших вычислительных системах должен увеличиться минимум в 2 раза за пятилетие.

Ресурс памяти к 1980 г. В средних и крупных вычислительных системах в большинстве случаев увеличивается доля емкости ЗУ на дисках. В то же время в малых ЦВМ возрастает доля емкости НМЛ в общем ресурсе памяти машины. Интересно, что от общего ресурса основной памяти всех задействованных ЦВМ $\frac{2}{3}$ приходится на долю мини-машин (I), где используются ферритовые сердечники и интегральные полупроводниковые схемы.

Высказываются предположения, что удельная стоимость ЗУ всех видов уменьшится за пятилетие мини-

² Понятно, что это возможно лишь при блочном построении ЦВМ.

мум в 2 раза. Это предположение учитывает темпы снижения цен на мировом рынке вычислительной техники и то, что постоянные улучшения в технологии позволяли до сих пор в среднем каждые два года удваивать плотность записи информации на носителях.

Известно, что ресурс памяти работающих вычислительных систем увеличивается в среднем на 10—20% в год. Хотя в ближайшее пятилетие число средних и больших машин будет расти умеренными темпами, ресурс памяти каждой машины будет повышаться намного энергичнее, так же как и ресурс памяти периферийных процессоров. Распространение методов виртуальной организации памяти на мини-ЭВМ обусловит иерархию ЗУ в них, причем емкость основной памяти достигнет 64 кбайт и НМД — до 10 Мбайт.

Микро-ЭВМ, настольные калькуляторы, бухгалтерские машины и т. д. имеют сейчас до 1 кбайт емкости основной памяти, а к 1980 г. емкость будет уже в среднем 3 кбайт. Если учесть, что в этих машинах применяется исключительно полупроводниковая память, то при массовом их производстве потребность в полупроводниковых ЗУ станет весьма значительной.

В таблице приведен прогноз на 1980 г. ресурса памяти в машинах и системах различного класса.

Средний ресурс памяти ЦВМ в 1980 г.

ЦВМ	Основное оперативное ЗУ	НМД	НМЛ	Ресурс памяти
Крупные	4 Мбайт	4,8 Гбайт	0,8 Гбайт	5,6 Гбайт
Большие	2 Мбайт	2,4 Гбайт	0,5 Гбайт	2,9 Гбайт
Средние				
I	1 Мбайт	1,2 Гбайт	0,4 Гбайт	1,6 Гбайт
II	0,5 Мбайт	0,8 Гбайт	0,3 Гбайт	1,1 Гбайт
Малые	128 кбайт	50 Мбайт	100 Мбайт	150 Мбайт
Мини	64 кбайт	10 Мбайт	10 Мбайт	20 Мбайт
Периферийные устройства с процессором				
I	32 кбайт	6 Мбайт	5 Мбайт	11 Мбайт
II	24 кбайт	3 Мбайт	5 Мбайт	6 Мбайт
Микро	3 кбайт	150 кбайт		150 кбайт

Рассмотрим теперь тенденции в совершенствовании основной оперативной памяти. Ее быстродействие во

всех классах ЦВМ предполагается в пределах от 0,7 до 1,5 мкс. Умеренный микросекундный диапазон цикла объясняется использованием иерархического принципа построения памяти, наличием быстрого сверхоперативного буфера в ее верхней ступени (где требуется высокая производительность процессора). Это позволяет максимально снизить стоимость основной оперативной памяти, хотя и при этом ее цена составит значительную часть цены машины.

Основные запоминающие элементы оперативных ЗУ — традиционные ферритовые сердечники и полупроводниковые БИС.

Несмотря на конкуренцию со стороны интегральных полупроводниковых ЗУ, устройства на ферритовых сердечниках в ближайшие 5 лет сохраняют свои позиции на рынке устройств основной памяти. До сих пор они привлекают их энергонезависимостью при хранении информации и высокой надежностью. Уменьшается стоимость, улучшаются характеристики, совершенствуется технология. Заметны достижения и в конструктивно-технологической отработке памяти на ферритах, в первую очередь благодаря применению специальных интегральных схем средней степени интеграции (усилители, формирователи токов, дешифраторы) в электронной части ЗУ.

Непрерывно повышается плотность компоновки памяти на ферритах. Если в 1970 г. в основном использовался сердечник диаметром 0,8 мм, то в настоящее время промышленный стандарт — 0,46 мм.

Наиболее распространенный вид памяти на сердечниках — трехпроводные ЗУ с логической схемой 3Д. Устройство выборки по этой схеме нуждается в меньшем количестве электроники и в минимальном количестве связей между ферритовым накопителем и электронными схемами управления.

Используются также схемы 2,5Д и 2Д. Например, по схеме 2,5Д в ЕС ЭВМ создан унифицированный модуль основной оперативной памяти емкостью 64 кбайт с микросекундным циклом (ЕС-3941), на базе которого строятся блоки оперативной памяти переходных моделей и нескольких типов машин второй очереди. Емкость блока памяти в стандартной стойке ЕС — до 1024 кбайт.

Большой шаг вперед — переход на плоскую конструкцию модулей ЗУ. Планарная безматричная конструкция позволяет практически избавиться от ненадеж-

ного проводного монтажа, резко сократить число паяных соединений, длину и количество связей. Это повышает надежность устройства, снижает трудоемкость его сборки, а следовательно и стоимость. Менее жесткие требования предъявляются к системе электропитания — из-за пониженных номиналов напряжения.

Планарная конструкция обеспечивает плотность компоновки ЗУ на ферритах до 300 бит/см³ (!). Расчет показывает, что в стойку ЕС ЭВМ со стандартными габаритами удастся поместить модульную память емкостью до 6—8 Мбайт с циклом 0,7—0,9 мкс, временем выборки 0,3—0,5 мкс и мощностью менее 1 мВт/бит.

Перспективен также автономно-блочный принцип конструкции запоминающих устройств. В блок входят несколько плоских модулей — платы ЗУ, системы питания и охлаждения. При емкости блока 0,5—1,0 Мбайт и минимальном количестве блочных связей стойка ЕС основной оперативной памяти вместила бы ряд таких блоков с общим информационным объемом до нескольких мегабайт.

Хотя фирма ИБМ выпустила последние модели системы 370 с основной памятью на полупроводниковых БИС, крупные изготовители ферритовых сердечников и ЗУ не сворачивают их производство. Так, фирмы «Ампекс», «Электроникс магнетикс» производят по 12 млрд. сердечников в год, «Дэйта Продактс» — 125 млн. штук в неделю, «Фабри-Тэк» — 80 млн. в неделю и т. д.

С 1965 г. интенсивно совершенствуются полупроводниковые ЗУ. Мы уже писали, что интегральные полупроводниковые элементы памяти разрабатывались сначала исключительно для нужд сверхоперативных буферных ЗУ. Но по мере увеличения степени интеграции элементов, снижения удельной потребляемой мощности и стоимости стало реальным их использование в основной оперативной памяти. Их час наступил тогда, когда были запущены в серию БИС с полупроводниковой структурой МОП (металл — окисел — полупроводник), и степенью интеграции 1024 бит в корпусе прибора. Большая интегральная схема представляла собой накопитель из 1024 миниатюрных триггеров, схем дешифрации, усиления и управления. В настоящее время промышленный стандарт на мировом рынке считается МОП-схема со степенью интеграции 4096 бит. Есть основания предполагать, что в 1980 г. промышленным

стандартом для основной оперативной памяти станет БИС МОП с интеграцией 16 кбит в корпусе. Это кажется реальным потому, что по крайней мере некоторые фирмы, среди которых такие, как Мостек, Тексас Инструментс и Интел, уже в 1976 г. имели опытные образцы таких схем.

На наш взгляд, интересно рассмотреть возможности интегральной полупроводниковой памяти большого информационного объема (до 300 Мбайт) для замены в перспективе внешних ЗУ с движущимися магнитными носителями. Важные преимущества таких ЗУ перед магнитными механическими — высокая надежность и ремонтпригодность, так как эти характеристики в НМД трудно улучшить.

Будем считать, что в современной практике полупроводниковая технология интегральных схем обеспечивает шаг линий рисунка в 5 мкм и точность совмещения масок в 2 мкм. Площадь кристалла БИС должна быть как можно меньше, чтобы стоимость устройства стала минимальной; потребляемая мощность — менее 1 мВт/бит, это позволит решить проблему теплоотвода. Очевидно, нужного быстродействия БИС для внешнего ЗУ можно добиться при любой из существующих полупроводниковых технологий, а надежность немеханического интегрального устройства будет выше, чем механического.

Обычная мера плотности размещения запоминающих элементов на кристалле — количество проводников, необходимое для соединений элементов в матрицу, в совокупности с количеством контактов между площадью металла (или поликремния) и монокремния. Если запоминающая схема — однотранзисторный динамический МОП-триггер, то на каждый элемент придется 1—2,5 проводника плюс один контакт. По площади эта схема меньше любой из существующих.

В динамических МОП-элементах памяти информация хранится в виде заряда конденсатора малой емкости. Этот заряд необходимо периодически восстанавливать. При отключении электропитания на время, большее нескольких миллисекунд, информация в запоминающих элементах исчезает из-за токов утечки. Сохранить ее при отключении питания можно, только полностью изолировав область накопления заряда слоем очень хорошего диэлектрика. Ток утечки через изолятор не дол-

жен при этом превышать 10^{-22} А. Кроме того, характеристика проводимости изолятора должна быть нелинейна и в схеме необходим дополнительный транзистор, чтобы реализовать режимы записи и считывания при нужных токах и напряжениях. Стоимость БИС и габариты кристалла при этом удваиваются. Остановимся на динамической однотранзисторной МОП-схеме...

Относительно просто сохранять информацию при отключении питания добавлением вспомогательного источника, несколько увеличив при этом стоимость ЗУ. Есть также ограничения по количеству выводов БИС и мощности, потребляемой интегральной схемой. Эти параметры минимизируются, если БИС одноразрядной организации. Методы сборки в корпус и технология соединений сильно влияют на надежность, стоимость и размеры накопителя большой емкости: наиболее совершен стандартный. Анализ показывает, что интенсивности отказов достаточно малы и не являются препятствием для построения ЗУ емкостью до 10^{10} бит при условии, если в таких ЗУ будут применены корректирующие коды типа кода Хэмминга (исправление ошибок). Кодирование с исправлением ошибок оказывается чрезвычайно эффективным, хотя и реализуется при некотором увеличении стоимости системы. Вышедшие из строя элементы заменяются, когда приходит время очередного профилактического ремонта. Подобное техническое обслуживание организуют с таким периодом, чтобы уменьшить до минимума вероятность двух отказов за время между плановыми ремонтными работами. Расчет показывает, что кодирование с исправлением ошибок при увеличении стоимости ЗУ из-за избыточного оборудования все равно экономичнее и эффективнее, чем защита от отказов механизма в НМД дублированием оборудования.

При однотранзисторной схеме запоминающего динамического МОП-элемента кристалл (накопитель, дешифратор и усилитель) в 16 кбит имеет размеры $3,2 \times 4,5$ мм; кристалл емкостью 64 кбит в виде четырех 16 кбит-схем — 9×7 мм. Количество выводов не превышает 18, так как 16-разрядный адрес можно передать последовательно в виде двух восьмиразрядных слов через 8 выводов (это уже освоено). Габариты кристалла позволяют поместить его в стандартный корпус.

Если за предыдущие 10 лет площадь кристалла по-

полупроводниковых БИС выросла примерно в 20 раз (благодаря совершенствованию технологии), то в ближайшие 5—7 лет необходимо увеличить эту площадь еще в 4 раза. Как видим, это вполне реально.

Плоский модуль памяти из 330 таких БИС с интеграцией 64 кбит, размещенных на плате размером 350×350 мм, будет иметь полезную емкость 2 Мбайт (с учетом схем управления и коррекции ошибок). Мощность рассеяния его — не более 20 Вт, мощность, потребляемая одной БИС, — не более 60 мВт.

Автономный блок (из 20 модулей) запоминающего устройства с габаритами вдвоем в глубину стандартной панели ЕС ЭВМ представит потребителю емкость в 40 Мбайт.

При отсутствии корректирующих кодов наработка на отказ блока ЗУ не превышала бы 1500 ч, что недостаточно. Поэтому модули и блок ЗУ должны иметь дополнительные БИС для исправления ошибок; наработка на отказ возрастает не менее чем на два порядка.

Внешняя память на таких блоках, конструктивно оформленная в виде стандартной стойки ЕС ЭВМ, могла бы иметь емкость 150—200 Мбайт.

Приведенные соображения о гипотетическом ЗУ большой емкости иллюстрируют возможности полупроводниковых внешних запоминающих устройств на МОП БИС. По совокупности характеристик эта интегральная полупроводниковая память должна превосходить НМД (по надежности по крайней мере на порядок, и на три порядка по времени произвольного обращения к памяти). Поэтому, если даже удельная стоимость такого полупроводникового ЗУ будет выше, чем у НМД, подобное устройство могло бы эффективно использоваться в иерархической памяти вычислительных систем 80-х годов.

Сверхоперативные запоминающие устройства — местные и другие вспомогательные ЗУ, а также буферная память процессора — все эти ЗУ разрабатываются теперь исключительно на базе полупроводниковых интегральных схем.

Биполярные микросхемы с интеграцией от 64 бит и выше уже и сейчас целесообразно использовать в процессорных ЗУ. Однако в ЦВМ высокой производительности, где емкость процессорных ЗУ повышается в первую очередь благодаря увеличению разрядности маши-

ны, оптимальным является применение микросхем с интеграцией от 256 бит в корпусе. В противном случае недопустимо увеличиваются габариты, расширяются внутренние и внешние связи ЗУ. И наконец, буферные ЗУ большого объема требуют микросхем с интеграцией 1024 бит и выше.

При использовании биполярных микросхем с интеграцией 256 и 1024 бит удастся в стандартной панели ЕС ЭВМ разместить буферное ЗУ емкостью до 16 Кбайт и 48 Кбайт соответственно.

Уже сегодня можно отнести к сверхбыстродействующим микросхемы с интеграцией более 1 кбит, изготовленные по более дешевой технологии. Так, например, фирма «Фэрчайлд» с 1977 г. предполагает выпускать микросхемы с интеграцией 4096 бит на основе технологии инъекционной логики с быстродействием менее 100 нс. Если фирме удастся сделать свою продукцию недорогой, то шансы этой БИС среди микросхем аналогичного класса будут предпочтительнее.

Управляющая память микропрограмм в принципе может выполняться на любой физической основе (ферритах, пленках, полупроводниках и т. д.). Но из-за сравнительно низкого быстродействия магнитные ЗУ практически не закладываются во вновь разрабатываемые современные стационарные ЦВМ. Успехи технологии изготовления быстродействующих полупроводниковых микросхем оперативной и постоянной памяти позволили использовать принцип микропрограммирования. Имеются различные типы БИС памяти, которые могут быть использованы в ЗУ микропрограмм:

постоянные ЗУ (ПЗУ), информационное содержимое в которые заносится в процессе изготовления микросхем;

программируемые постоянные ЗУ (ППЗУ), в которые информация заносится однократно пережиганием плавких перемычек на кристалле микросхемы;

программируемые ЗУ с возможностью медленной перезаписи информации;

оперативные ЗУ, информация в которые вносится каждый раз после включения питающего напряжения.

Поскольку быстродействие памяти микропрограмм должно быть высоким (от 25 нс), единственно пригодными для формирования этого ЗУ оказались биполярные микросхемы.

Микросхемы ПЗУ — наиболее быстродействующие, но стоят они дорого. А ведь для ЗУ микропрограмм высокопроизводительных ЦВМ требуется несколько сотен (!) типов БИС, при практически мелкосерийном производстве каждого из них. Короче говоря, применять микросхемы ПЗУ в управляющих ЗУ подчас нецелесообразно.

По быстродействию микросхемы ППЗУ практически не отличаются от схем ПЗУ. Незначительное снижение быстродействия объясняется тем, что в цепи распространения сигналов есть схемы, необходимые для программирования. Микросхемы ППЗУ (заготовки) могут выпускаться крупными сериями. Но имеется сложная проблема: программирование микросхем, их тренировка и контроль. Цель — добиться нужной надежности БИС ППЗУ после программирования.

Быстродействие оперативных ЗУ микропрограмм ниже, чем у ПЗУ и ППЗУ примерно в 2 раза (для схем одной информационной емкости).

Стоимость памяти микропрограмм на оперативных БИС примерно равна стоимости ППЗУ, так как несмотря на большую цену собственно микросхем той же емкости, суммарное их количество в памяти меньше из-за меньшего запасаного комплекта БИС ОЗУ в машине.

При одном уровне технологии изготовления микросхем ОЗУ и ППЗУ, степень интеграции БИС ППЗУ может быть в 2—4 раза выше. Поскольку в ОЗУ при включении питания исчезает информация, память микропрограмм необходимо оборудовать устройствами ввода информации с какого-либо другого энергонезависимого специального ЗУ (НМД, НМЛ), что удорожает микропрограммное управление ЦВМ.

Таким образом, в качестве управляющей памяти микропрограмм предпочтительнее использовать ППЗУ (высокое быстродействие, меньшие габариты и потребляемая мощность). Желательно, чтобы интеграция микросхем была минимум 1024 бит в корпусе. Интегральные схемы с меньшей степенью интеграции недопустимо увеличивают габариты ЗУ, длину соединений, потребляемую мощность.

Во внешних магнитных ЗУ современных вычислительных машин используются НМД и НМЛ большой емкости. К наиболее важным параметрам этих ЗУ следует отнести удельную стоимость хранения информации,

среднее время доступа, скорость передачи информации, надежность.

По мере увеличения плотности записи в НМД повышаются и требования к нему. Например, толщина покрытия уменьшилась от 25 до 1 мкм, зазор между головкой и носителем от 22 до 0,5 мкм. Лучшие из существующих НМД рассчитаны на плотность записи до 280 бит/мм². Дальнейшее повышение плотности записи невозможно без преодоления существенных технологических трудностей создания тонких и гладких поверхностей носителя. Тонкие магнитные пленки являются отличными носителями для записи высокой плотности. Однако добиться требуемой чистоты поверхности пленки и подложки, а также их износостойкости — это сложные задачи.

В настоящее время намечены пути усовершенствования системы головка-носитель. Один из них — уменьшить нагрузку на держатель с головками, что упростит конструкцию, повысит ее надежность и даст дополнительные возможности для стабилизации зазора между головкой и носителем.

В новейших разработках значительно уменьшена величина нагрузки, потребная для стабилизации зазора. Поэтому носитель меньше портится от контакта с головками, а включать и выключать накопители стало возможным в те моменты, когда головки контактируют с поверхностью носителя.

В ближайшие годы будут широко использоваться методы тонкопленочной технологии изготовления интегральных магнитных головок. Это существенно улучшит параметры НМД. С увеличением плотности размещения дорожек на диске каждую головку целесообразно нагрузить считыванием собственной сервоинформации, управляющей системой слежения привода. Кстати, теперь скорость привода стала такой, что среднее время доступа удалось довести до миллисекунд (!). В перспективе ожидается лишь незначительное улучшение этого параметра.

Интегральные схемы позволили усовершенствовать каналы передачи данных, в свое время узкое место в НМД. Теперь уже не скорость передачи информации, а техника записи становится узким местом. А сократить, допустим, среднее время обращения с 20 до 15 мс очень сложно, так как приходится увеличивать скорость вра-

щения диска с 2400 до 3600 об/мин, что стоит больших усилий.

Весьма актуальной задачей в ближайшие 5—7 лет является создание НМД с пакетом емкостью в 300 Мбайт и 1 Гбайт (!).

Непрерывное уменьшение стоимости и повышение производительности ЗУ на дисках настраивают изготовителей НМД оптимистически: они полагают, что в ближайшие годы эти устройства (с максимальной емкостью) не уступят своих позиций другим типам ЗУ. Накопители же на магнитных дисках малой и средней емкости ощутят в 80-х годах серьезную конкуренцию со стороны новых интегральных магнитных и полупроводниковых внешних ЗУ.

Краткое резюме. Память ЦВМ становится важным ресурсом систем — в противовес затратам труда на программирование и др. Спрос на ресурс памяти растет, так как ЦВМ объединяются в вычислительные системы коллективного пользования, работающие с разделением машинного времени между многочисленными территориально удаленными пользователями. Виртуальная организация памяти будет реализована практически во всех классах машин. Иерархическая структура благодаря полупроводниковым интегральным ЗУ приобрела законченный вид.

Основная память будет ориентирована в ближайшие годы на полупроводниковые БИС (с основным — МОП) и ферритовые сердечники. При емкостях до 6—8 Мбайт в стойке реализуется цикл в диапазоне 0,6—1,5 мкс. Процессорные быстродействующие устройства памяти и управляющие ЗУ микропрограмм для всех классов ЦВМ будут организованы исключительно на полупроводниковых микросхемах. В процессорных ЗУ ведущее положение займут биполярные БИС с быстродействием от 15 нс. Оптимальная управляющая память микропрограмм — полупроводниковые ППЗУ.

В классах внешних ЗУ не уступят своих позиций НМД повышенной емкости и НМЛ. В 80-е годы появляются НМД емкостью в 300 Мбайт и 1 Гбайт в пакете. Накопители на магнитном диске малой и средней емкости в начале 80-х годов могут частично уступить интегральным полупроводниковым и магнитным накопителям, особенно если появятся экономичные микросхемы с интеграцией 64 кбит в стандартном корпусе.

Более «спокойное» будущее у накопителей на магнитной ленте, как у самых дешевых и освоенных.

Тенденции, идеи, проекты

Прогнозы даже с появлением такой науки, как прогностика, дело пока шаткое. Особенно в многообразной, технически сложной и высокоразвитой области вычислительной техники. Уж очень многими параметрами определяется целесообразность внедрения новых технических средств — от сугубо технологических до экономических. Зачастую конъюнктурные соображения конкурирующих западных фирм сильно влияют на отношение к тем или иным новым достижениям.

Утверждение, что технология будущих ЦВМ — это интегральная технология, не вызывает сомнения. Память ЦВМ завтрашнего дня — это интегральные схемы очень высокой степени интеграции. Технологию таких БИС памяти называют **субмикронной технологией**, или **С-технологией**. Она позволит получать микросхемы с шагом проводников и контактных площадок в пределах 0,5 мкм на кристаллах площадью не менее 1—2 см².

Наиболее сложный процесс в С-технологии — литография. Применение электронного луча максимально упрощает ее при создании СБИС — сверхбольших интегральных схем субмикронного технологического диапазона. Точность электроннолучевой литографии выше, чем обычной оптической. Причем методами электроннолучевой литографии можно изготавливать специальные маски для того, чтобы зафиксировать нужный рисунок на кристалле с помощью рентгеновской литографии. Маски снизят стоимость и повысят производительность изготовления СБИС, хотя вопросы совмещения таких масок еще до конца не прояснены.

Электроннолучевая литография позволила, например, нанести рисунок сдвигового регистра на цилиндрических магнитных доменах (о них речь пойдет ниже) с шириной рисунка аппликации 0,3 мкм при плотности около $1,5 \cdot 10^7$ бит/см² (!). Управлять литографическим процессом можно только с помощью ЦВМ — он сложен и трудоемок. Например, на разработку программы рисования лучом схем СБИС фирме ИБМ потребовалось около двух лет.

При освоении С-технологии необходимо научиться получать бездефектные пластины из монокристалла с большим диаметром.

Большие размеры кристаллов СБИС, высокая степень интеграции запоминающих элементов определяют малые величины задержки сигналов в связях и количество последних, а следовательно, повышают быстродействие и надежность СБИС. Повышенную надежность обеспечивает в устройствах на СБИС и применение корректирующих кодов.

И наконец, весьма важный параметр СБИС — минимальная удельная потребляемая мощность.

Сумикронная С-технология и задачи, которые придется решить при ее отлаживании, отодвигают сегодня на второй план споры о том, какие СБИС будут реализованы с ее помощью в первую очередь в больших ЗУ будущего — магнитные, полупроводниковые и т. п.

Каковы же перспективы создания интегральной памяти большого объема? Мы уже обсуждали возможность построения полупроводниковой памяти большого объема на динамических МОП-микросхемах с интеграцией 64 кбит. Расчет показал, что кристалл микросхемы будет иметь размеры около 7×9 мм. Устройство памяти на таких МОП СБИС с интеграцией 64 кбит, например, в габаритах стойки ЕС ЭВМ могло бы иметь информационную емкость до 200 Мбайт. По быстродействию и надежности такая интегральная полупроводниковая память сможет, видимо, успешно конкурировать с механической на магнитных дисках, уступая однако последней по стоимости и энергонезависимости.

В последнее время часто обсуждают потенциальные возможности интегральной полупроводниковой памяти другого типа, на приборах с зарядовой связью — ПЗС. Оптимистические оценки показывают, что, исходя из одинаковых норм проектирования топологии микросхем, устройства на ПЗС могут обеспечить в 2 раза большую плотность в расчете на один запоминающий элемент по сравнению с однотранзисторной динамической МОП-ячейкой. Но чтобы изготовить СБИС на ПЗС наибольшей плотности размещения элементов, необходимы дополнительные технологические операции помимо тех, по которым создаются МОП-микросхемы. Таким образом, реальный выигрыш по плотности и стоимости окажется меньше, чем в 2 раза. Так как последовательная

память на ПЗС медленнее полупроводниковой с произвольной выборкой на МОП, преимущество ее в стоимости может оказаться в конечном счете недостаточным. Поэтому мы пока воздержимся от окончательной оценки памяти на ПЗС: только результаты дальнейших исследований помогут оценить их перспективы.

Возможны ли другие способы создания больших интегральных внешних ЗУ? Прежде всего, назовем память на цилиндрических магнитных доменах — ЦМД. В технике ЦМД используется явление остаточной намагниченности; доступ к хранимой информации — немеханического характера. Технология изготовления доменосодержащих материалов и схем управления движением доменов аналогична применяемой при изготовлении полупроводниковых интегральных схем.

От первых разговоров о физических особенностях ЦМД в 100 мкм до настоящего времени, когда уже работают ЗУ с ЦМД в 5 мкм, прошло около девяти лет. И тем не менее не ясно, будет ли эта интегральная магнитная память использоваться в ЗУ большой емкости вместо НМД. Ответ опять-таки замыкается на проблеме внедрения С-технологии.

Основа интегральной схемы ЗУ на ЦМД — подложка из среза монокристалла граната с осажденной магнитной пленкой, в которой могут образовываться зародыши обратной намагниченности — ЦМД. Существование ЦМД с намагниченностью, нормальной к плоскости пленки, обеспечивается приложением постоянного магнитного поля смещения. Чтобы упорядочить размещение ЦМД, на поверхность подложки с пленкой наносят пермаллоевые аппликации. Когда к кристаллу прикладывается продольное магнитное поле, эти аппликации становятся магнитостатическими ловушками. Выбирая соответствующую форму аппликаций и вращая магнитное поле в плоскости кристалла, можно заставить ЦМД перемещаться. Таким образом создается сдвиговый регистр, в котором перемещение ЦМД на один шаг аппликации происходит за один оборот вращающегося поля.

Зарождение (генерация) и уничтожение (аннигиляция) магнитных доменов осуществляются благодаря петлевым полосковым линиям, расположенным на пути движения ЦМД. Чтобы обнаружить домены, используют магниторезистивные датчики, которые изменяют свое сопротивление в присутствии поля рассеяния ЦМД. Та-

ким образом, мы имеем интегральное твердотельное ЗУ, аналогичное ЗУ на магнитной ленте, замкнутой в кольцо. Функции магнитной ленты выполняет трек, образованный аппликациями; функции головок записи-стирания-воспроизведения — соответственно, генератор, аннигилятор и детектор. Механическое перемещение ленты заменяется перемещением ЦМД под действием вращающегося магнитного поля.

В настоящее время структуры треков ЦМД образуются с помощью аппликаций различной конфигурации. К основным относятся треки с Т, V, I, X-образными фигурными аппликациями; с дисковыми аппликациями без зазора (смежными дисками); бесструктурные с двумерными решетками из плотно упакованных ЦМД.

Схемы с фигурными аппликациями наиболее отработаны, но у них наименьшая плотность. У бесструктурных схем этот параметр самый высокий, но их технология плохо отработана. Обращают на себя внимание схемы со смежными дисками — повышенная плотность при сравнительно простой литографии.

Перспективными считаются монокристаллические гранатовые пленки и аморфные пленки из сплавов типа Gd—Co. Многие вопросы серийной технологии ЗУ на ЦМД будут решены, удастся освоить выпуск эпитаксиальных гранатовых пленок на подложках из $Gd_3Ga_5O_{12}$ диаметром от 5 см с плотностью дефектов менее 5 см^{-2} . Эти достижения, так же как и успехи в области С-технологии, позволят приблизиться по некоторым мнениям к созданию микросхемы с интеграцией более 10^6 бит в корпусе. Оценка авторов несколько более скромна. Сравнение ЦМД- и МОП-технологий убеждает, что информационная плотность у СБИС над ЦМД ожидается по крайней мере на порядок выше. Поэтому будем считать, что создание СБИС с интеграцией 256 кбит в корпусе на кристаллах размером $7 \times 9\text{ мм}^2$ реально.

При размещении 200 микросхем на плате $350 \times 1 \times 350\text{ мм}$ плоский модуль ЗУ будет иметь емкость 5 Мбайт; блок ЗУ на ЦМД из 20 модулей в габаритах двоянной панели ЕС ЭВМ — 100 Мбайт, а устройство памяти в стойке ЕС могло бы иметь емкость 250—300 Мбайт. Если учесть, что ЗУ на ЦМД устойчиво сохраняет информацию высоконадежно, как и свойственно интегральному устройству, а удельная стоимость его

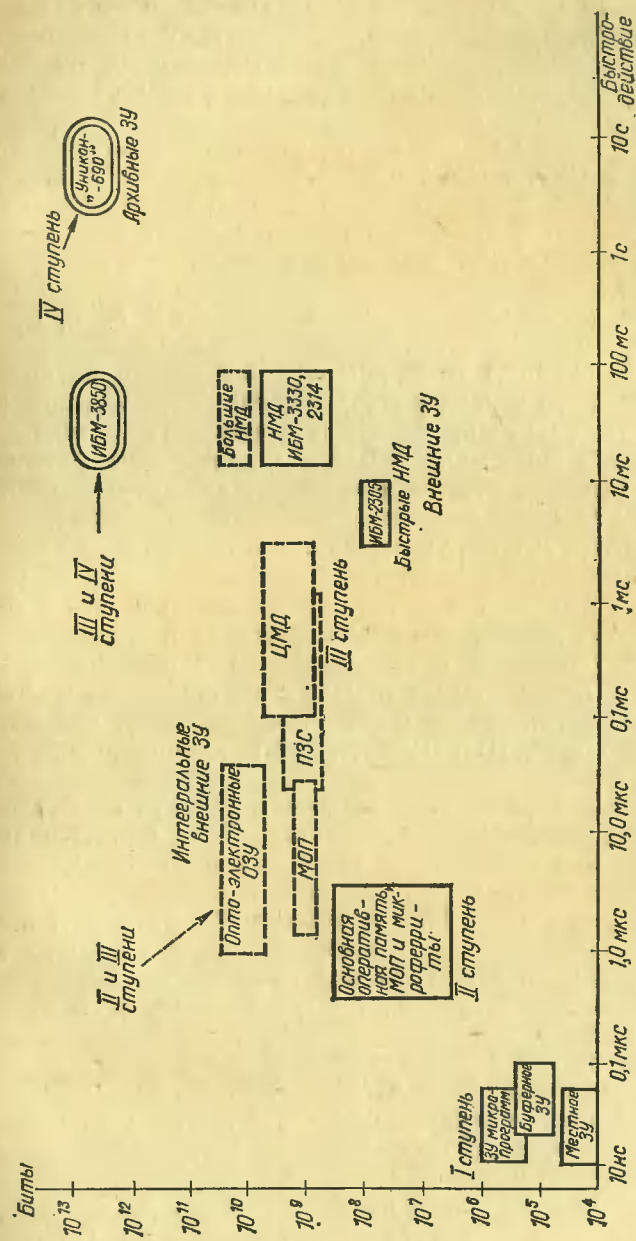


Рис. 7. Иерархическая память универсальных ЦМД (современное состояние и перспективы)

приближается к удельной стоимости НМД, то, даже несмотря на меньшее быстродействие по сравнению с МОП-памятью, мы можем рассматривать ЗУ на ЦМД в качестве достойного конкурента другим запоминающим устройствам.

Уже сейчас есть опыт применения высоконадежных «малых» ЗУ на ЦМД в некоторых мини-ЭВМ, телефонах и специальных машинах. Но об их возможностях можно будет говорить только тогда, когда на основе С-технологии будут созданы схемы высокой интеграции (от 256 кбит).

Как будет развиваться иерархия ЗУ в будущих ЦВМ?

В ближайшие годы продолжатся поиски оптимальных структур машин и многомашинных комплексов. Результаты будут опробованы в машинах и системах четвертого поколения. Было бы ошибочным безоговорочно относить структурные решения современных наиболее мощных вычислительных систем, таких, как ИЛЛИАК-IV, СТАР-100 и других к оптимальным структурам четвертого поколения.

Несмотря на это, можно не сомневаться, что в ближайшее десятилетие в новых машинах и системах четвертого поколения будет по-прежнему широко использоваться иерархическая память с виртуальной адресацией. На рис. 7 указаны диапазоны емкостей и быстродействия I, II, III и IV ступеней иерархической памяти ЦВМ.

Первая ступень строится исключительно на быстрых полупроводниковых биполярных БИС с интеграцией от 1024 бит и выше. Управляющая память микропрограмм — на полупроводниковых программируемых интегральных схемах ПЗУ с интеграцией до 32—64 кбит. Малые вспомогательные процессорные ЗУ, которые мы объединяем понятием местной памяти, формируются на сверхбыстродействующих схемах с интеграцией от 256 бит и более.

Для второй ступени в ближайшее десятилетие наиболее перспективно БИС ЗУ на МОП-технологии и ее модификациях с интеграцией 4—16 кбит. Будут использоваться также ЗУ на ферритовых сердечниках диаметром 0,35—0,5 мм.

На третьей ступени прочные позиции у накопителей на магнитных дисках (в первую очередь это установки

на НМД типа ИБМ-2314 и ИБМ-3330 с максимальной суммарной емкостью 330 и 800 Мбайт). Их будущее — большие НМД с емкостью пакета до 0,3—1 Гбайт. Но, конечно, интегральные внешние ЗУ повышенного объема и быстродействия на СБИС МОП, ПЗС или ЦМД могут потеснить к концу десятилетия ЗУ на дисках. Все будет зависеть от их стоимости.

Приемлемую стоимость можно получить только при высокой степени интеграции СБИС-схем накопителя. Для МОП и ПЗС — это 64 кбит в корпусе и выше, для ЦМД — не менее 256 кбит.

Можно говорить и об оптоэлектронных оперативных ЗУ большой емкости, которые мы также отнесем к третьей ступени иерархической памяти.

Существует два основных способа хранения информации в оптоэлектронной памяти — голографический и поразрядный. Оптоэлектронное ЗУ — это лазерный источник излучения, модулятор для управления интенсивностью луча, дефлектор для отклонения (адресации), его, формирующая и фокусирующая оптика и запоминающая среда, которая реагирует на световой луч так, что можно записывать или стирать информацию и получать на фотоприемник сигнал считывания.

В ЗУ на принципах голографии информация хранится в виде голограмм, а запись и считывание производятся постранично. Помимо сложной оптики требуются дополнительные узлы — управляемый транспарант и фотоприемная матрица. Отклонением луча осуществляется адресация к целой странице; поэтому быстродействие и емкость системы могут значительно превышать те же параметры дефлектора. В системе с поразрядной записью эти параметры равны.

Среднее быстродействие оптоэлектронных ЗУ большой емкости лежит в пределах микросекунд. Они смогут успешно конкурировать с другими интегральными ЗУ третьей ступени только если их емкость будет не ниже 10^9 — 10^{10} бит.

Общепризнано, что теоретический предел емкости двухкоординатной голографической памяти (с плоскими голограммами) без механической смены запоминающей среды может быть не более 10^8 бит. Это объясняется наличием дифракционных пределов у оптических компонентов разумных габаритов. Путь к увеличению емкости оптоэлектронного ЗУ — использование объемных

(трехмерных) запоминающих сред с записью информации в виде толстых фазовых голограмм. Разделить же голограммы можно, изменяя длину волны излучения или угол падения опорного луча.

В настоящее время нет подходящих запоминающих сред и управляемых транспарантов, необходимых для конкурентоспособного ЗУ нужной емкости с толстыми фазовыми голограммами, и, следовательно, поисковые работы в этом направлении будут продолжаться.

Рассматриваются и возможности модульного принципа построения оптоэлектронной памяти: лазер, двухкоординатный дефлектор, пассивный расщепитель, разделяющий луч в направлении множества однотипных модулей. Модуль состоит из интегрального управляемого транспаранта, матрицы фотоприемника и запоминающей среды. Необходимо добиться того, чтобы при наращивании модулей до емкости ЗУ в 10^{10} бит цена устройства была бы приемлемой.

Четвертая ступень иерархической памяти — архивные ЗУ. Здесь серьезное достижение — двухуровневая виртуальная внешняя память ИБМ-3850 емкостью 472 Гбайт; она позволяет хранить и менять данные под управлением ЦВМ (без замены блоков данных) оператором вручную. Устройство состоит из двух частей: НМЛ большой емкости с библиотекой ленточных кассет; стандартный НМД типа ИБМ-3330 на входе-выходе. Интерфейс, типичный для НМД системы ИБМ 370, и виртуальная адресация ко всей емкости установки делают ее удобной для пользования.

Устройства, подобные ИБМ-3850, станут типичными для внешних ЗУ четвертой ступени в ближайшее десятилетие. К этой же ступени иерархической памяти следует отнести и архивные постоянные ЗУ большой емкости, и в первую очередь систему UNICON-690 — оптическое ПЗУ емкостью 690 Гбайт ($6,9 \cdot 10^{12}$ бит). Информация в ней записана микронными отверстиями в тонких полосках, проделанными лучом лазера. Каждая полоска содержит 13 600 дорожек записи с диаметром отверстий в 1,5 мкм. Полоски хранятся в накопителе кассетного типа. При считывании они выбираются оттуда, обертываются вокруг барабана и сканируются опять-таки лазерным лучом. Плотность записи в 27 раз выше, чем в дисковой памяти ИБМ-3330. Среднее время выборки информации из установки — 7 с.

Разработано еще несколько экспериментальных оптических ПЗУ с различными принципами записи. Вполне вероятно, что в ближайшее десятилетие именно оптические ЗУ станут основой архивной постоянной памяти в новых вычислительных системах.

* *
*

Итак, изложены основные направления развития памяти универсальных ЦВМ — от ламповых машин первого поколения до современных вычислительных систем. Для более детального изучения данной проблемы рекомендуем читателям обратиться к литературе, в том числе, использованной авторами и приведенной ниже.

Литература

И. А. Апокин, Л. Е. Майстров. Развитие вычислительных машин. М., «Наука», 1974.

А. М. Ларионов и др. Технические и эксплуатационные характеристики моделей ЭВМ Единой системы. — «Управляющие машины и системы», 1973, № 3.

А. М. Ларионов и др. Основные принципы построения и технико-экономические характеристики оперативных и долговременных ЗУ ЕС ЭВМ. — «Управляющие машины и системы», 1973, № 3.

Г. Катцан. Вычислительные машины системы 370. Пер. с англ., под ред. В. К. Левина и Л. Д. Райкова. Предисловие В. К. Левина, М., «Мир», 1974.

Основы построения больших информационно-вычислительных сетей. Под ред. Д. Г. Жимерина и В. И. Максименко. М., «Статистика», 1976.

Мозаика

Читателю, вероятно, будет интересно узнать, что:

...представитель фирмы СДС (США), организовавшей недавно показ машины ЕС-1040 из серии ЕС ЭВМ, заявил, что эта машина весьма надежна и по американским стандартам весьма современна. Он заметил, что в США недостаточно представляют производство вычислительной техники в социалистических странах и поэтому ошибочно полагают, что США далеко ушли в этой области. «Пора наконец понять, — сказал он, — что социалистические страны добились значительных успехов в создании электронных вычислительных систем и машин, причем невзирая на торговые ограничения в этой области».

...емкость памяти крупнейшего вычислительного комплекса в мире не превышает $2 \cdot 10^{13}$ бит.

...по самым приблизительным оценкам в живом организме содержится 10^{18} клеток. Если когда-либо встанет вопрос о его искусственном синтезе, то хранение информации только о взаимном расположении клеток организма потребовало бы памяти емкостью $4 \cdot 10^{13}$ бит.

...плотность упаковки наследственной информации в молекуле ДНК около 10^{18} бит/мм³. Информацию о существующей в мире литературе объемом примерно в 10^{16} бит можно было бы поместить в такую генетическую память, заняв всего лишь 0,01 мм³ ее объема.

... в 1976 г., в марте, на мировом рынке электронных компонентов появились первые коммерческие БИС ПЗУ в 32 кбит; в мае — статические БИС емкостью 4 кбит; в июле — БИС на ПЗС с интеграцией 65 кбит; в сентябре фирма МОСТЭК первой начала комплектовать серийные микропроцессоры МОП-схемами ЗУ с интеграцией 16 кбит в корпусе; в октябре была выпущена первая партия СБИС на ЦМД емкостью 92 кбит в корпусе.

...ЗУ на ферритах до сих пор сохраняют свои позиции в вычислительной технике. Не так давно авторитетная в этой области фирма АМПЕКС заявила, что она увеличит в 1977 г. производство таких ЗУ на 50%.

...потребителям вычислительной техники предлагаются совместимые и полностью взаимозаменяемые модули ЗУ в широком диапазоне емкостей, выполненные на ферритах и на МОП БИС.

...очевидно, в 1977 г. появятся в продаже статические БИС ЗУ емкостью 4096 бит в корпусе с временем выборки не более 75 нс.

...некоторые эксперты считают, что объявленные к продаже в конце 1976 г. две новые машины фирмы ИБМ — 370/138 и 370/148 являются «замаскированными» моделями новой серии ИБМ 380. В этих машинах значительно увеличен ресурс памяти по сравнению с машинами аналогичного класса серии ИБМ 370.

Содержание

Вчера...	4
..сегодня...	21
..завтра	38
Тенденции, идеи, проекты	51
Литература	60
Мозаика	61

Николай Михайлович Шаруенко и
Александр Ефимович Фатеев
ПАМЯТЬ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЦВМ

Гл. отраслевой редактор В. П. Демьянов
Редактор Г. И. Флиорент
Мл. редактор Н. А. Львова
Обложка художника Л. П. Ромасенко
Худож. редактор Т. И. Добровольнова
Техн. редактор Т. В. Пичугина
Корректор А. А. Пузакова

Т-02197. Индекс заказа 35006. Сдано в набор 15/IV 1977 г.
Подписано к печати 15/IV 1977 г. Формат бумаги 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,24. Тираж 61 380 экз.
Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 717. Типография Всесоюзного общес-
тва «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 11 коп.

О СЕРИИ

«РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ»

Ежемесячные научно-популярные брошюры серии «Радиоэлектроника и связь», выпускаемые издательством «Знание», рассчитаны на широкий круг читателей, интересующихся вопросами радиотехники, электроники, вычислительной техники, связи.

Авторы, специалисты соответствующих отраслей знаний, готовят материал брошюр в расчете на читателей с инженерно-техническим образованием, знакомых с основной научной терминологией и основными единицами системы измерения физических величин.

Специфика распространения тиража (подписное издание, каждый подписчик получит двенадцать брошюр в год) определяет стилистическую и научную организацию материала наших изданий. Изложение ведется таким образом, чтобы суть затронутого вопроса была понятна инженеру, работающему в смежных отраслях знаний.

Оформить подписку можно во всех отделениях связи, агентствах «Союзпечати» и у общественных распространителей печати по месту работы. Подписная цена на год — 1 руб. 32 коп. Индекс серии в каталоге «Союзпечати» — 70077.

В 1978 году в серии «Радиоэлектроника и связь» готовятся к печати следующие брошюры:

Эффективность внедрения интегральных схем в народное хозяйство

Электросвязь и научно-технический прогресс

Микропроцессоры (сборник переводных статей)

Супер-ЭВМ

Радиоэлектроника в исследовании земных ресурсов

Хемотроника

Новые разработки телевизионной техники

Антенны радиосистем

Радиоэлектроника в исследовании земных ресурсов

Искусственный интеллект