

## Тема 1. Історія виникнення та класифікація мікропроцесорів.

### *История развития микропроцессоров.*

Электронные вычислительные машины широко используются с 50-х годов. Вначале это были ламповые и дорогие машины, предназначенные для административно-управленческих целей, доступные крупным предприятиям. В последние годы структура и формы вычислительных машин изменились из-за появления нового элемента — микропроцессора. Микропроцессор — это интегральная схема (ИС), обладающая такой же производительностью при переработке информации, что и большая ЭВМ. Более точно — это программно-управляемое электронное цифровое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления процессом этой обработки, выполненное на одной или нескольких интегральных схемах с высокой степенью интеграции электронных элементов.

В 1970 году Маршиан Эдвард Хофф из фирмы Intel сконструировал интегральную схему, аналогичную по своим функциям центральному процессору большой ЭВМ, — первый микропроцессор Intel-4004, который уже в 1971 году был выпущен в продажу.

15 ноября 1971 г. можно считать началом новой эры в электронике. В этот день компания приступила к поставкам первого в мире микропроцессора Intel 4004.

Это был настоящий прорыв, ибо МП Intel-4004 размером менее 3 см был производительнее гигантской машины ENIAC. Правда работал он гораздо

медленнее и мог обрабатывать одновременно только 4 бита информации (процессоры больших ЭВМ обрабатывали 16 или 32 бита одновременно), но и стоил первый МП в десятки тысяч раз дешевле. Кристалл представлял собой 4-разрядный процессор с классической архитектурой ЭВМ гарвардского типа и изготавливался по передовой р-канальной МОП-технологии с проектными нормами 10 мкм. Электрическая схема прибора насчитывала 2300 транзисторов. МП работал на тактовой частоте 750 кГц при длительности цикла команд 10,8 мкс. Чип i4004 имел адресный стек (счетчик команд и три регистра стека типа LIFO), блок РОНов (регистры сверхоперативной памяти или регистровый файл – РФ), 4-разрядное параллельное АЛУ, аккумулятор, регистр команд с дешифратором команд и схемой управления, а также схему связи с внешними устройствами. Все эти функциональные узлы объединялись между собой 4-разрядной ШД. Память команд достигала 4 кб (для сравнения: объем ЗУ миниЭВМ в начале 70-х годов редко превышал 16 кб), а РФ ЦП насчитывал шестнадцать 4-разрядных регистров, которые можно было использовать и как восемь 8-разрядных. Такая организация РОНов сохранена и в последующих МП фирмы Intel. Три регистра стека обеспечивали три уровня вложения подпрограмм. МП i4004 монтировался в пластмассовый или металлокерамический корпус типа DIP (Dual In-line Package) всего с 16 выводами.

В систему его команд входило всего 46 инструкций. Вместе с тем кристалл располагал весьма

ограниченными средствами ввода/вывода, а в системе команд отсутствовали операции логической обработки данных (И, ИЛИ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ), в связи с чем их приходилось реализовывать с помощью специальных подпрограмм. Модуль i4004 не имел возможности останова (команды HALT) и обработки прерываний.

Цикл команды процессора состоял из 8 тактов задающего генератора. Была мультиплексированная ША (шина адреса)/ШД (шина данных), адрес 12-разрядный передавался по 4 разряда.

1 апреля 1972 г. фирма Intel начала поставки первого в отрасли 8-разрядного прибора i8008. Кристалл изготавливался по р-канальной МОП-технологии с проектными нормами 10 мкм и содержал 3500 транзисторов. Процессор работал на частоте 500 кГц при длительности машинного цикла 20 мкс (10 периодов задающего генератора).

В отличие от своих предшественников МП имел архитектуру ЭВМ принстонского типа, а в качестве памяти допускал применение комбинации ПЗУ и ОЗУ.

По сравнению с i4004 число РОН уменьшилось с 16 до 8, причем два регистра использовались для хранения адреса при косвенной адресации памяти (ограничение технологии – блок РОН аналогично кристаллам 4004 и 4040 в МП 8008 был реализован в виде динамической памяти). Почти вдвое сократилась длительность машинного цикла (с 8 до 5 состояний). Для синхронизации работы с медленными устройствами был введен сигнал готовности READY.

Система команд насчитывала 65 инструкций. МП

мог адресовать память объемом 16 кб. Его производительность, по сравнению с четырехразрядными МП, возросла в 2,3 раза. В среднем для сопряжения процессора с памятью и устройствами ввода/вывода требовалось около 20 схем средней степени интеграции.

Возможности r-канальной технологии для создания сложных высокопроизводительных МП были почти исчерпаны, поэтому "направление главного удара" перенесли на n-канальную МОП-технологию.

1 апреля 1974 МП Intel 8080 был представлен вниманию всех заинтересованных лиц. Благодаря использованию технологии n-МОП с проектными нормами 6 мкм, на кристалле удалось разместить 6 тыс. транзисторов. Тактовая частота процессора была доведена до 2 МГц, а длительность цикла команд составила уже 2 мкс. Объем памяти, адресуемой процессором, был увеличен до 64кб. За счет использования выводного корпуса удалось разделить ША и ШД, общее число микросхем, требовавшихся для построения системы в минимальной конфигурации сократилось до 6.

В РФ были введены указатель стека, активно используемый при обработке прерываний, а также два программно недоступных регистра для внутренних пересылок. Блок регистров общего назначения (РОН) был реализован на микросхемах статической памяти. Исключение аккумулятора из РФ и введение его в состав АЛУ упростило схему управления внутренней шиной.

Новое в архитектуре МП – использование многоуровневой системы прерываний по вектору. Такое техническое решение позволило довести общее число источников прерываний до 256 (до появления БИС контроллеров прерываний схема формирования векторов прерываний требовала применения до 10 дополнительных чипов средней интеграции). В i8080 появился механизм прямого доступа в память (ПДП) (как ранее в универсальных ЭВМ IBM System 360 и др.).

ПДП открыл зеленую улицу для применения в микро-ЭВМ таких сложных устройств, как накопители на магнитных дисках и лентах дисплеи на ЭЛТ, которые и превратили микро-ЭВМ в полноценную вычислительную систему. Традицией компании, начиная с первого кристалла, стал выпуск не отдельного чипа ЦП, а семейства БИС, рассчитанных на совместное использование.

При оценке параметров микропроцессора и выборе микропроцессорной серии наибольшую роль играет разрядность прибора, которая задает элементарный объем обрабатываемых данных. Чем больше разрядность, тем выше производительность и шире возможности адресации. В ранних приборах разрядность регистров, шин управления, а также информационных шин почти всегда была одинаковой. Сейчас такая структура встречается редко. Например, микропроцессор Motorola 6800 имеет 32-разрядную внутреннюю архитектуру, 16-разрядную шину данных и 24-разрядную адресную шину (адресует до 16 Мбайт оперативной памяти). Для удобства такую архитектуру называют 32/16/24.

В настоящее время стремятся к большей разрядности, например делают полную 32-разрядную архитектуру (32/32/32).

Если считать, что выпуск предыдущих микропроцессоров должен прекращаться при появлении кристаллов с более высокой разрядностью, то 4-разрядные производились бы всего 1год, 8-разрядные - 5 лет, 16-разрядные - 5 лет (табл.1.1).

Таблица 1.1. Характеристики микропроцессоров.

Разрядность	Модель	Количество транзисторов, шт	Год выпуска	Торговая марка
4	4004	2200	1971	Intel
8	8008	2300	1972	Intel
8	8080	4800	1973	Intel
8	280	8400	1976	Zilog
8	8048	12400	1977	Intel
16	8086	29000	1978	Intel
16	68000	75000	1980	Motorola
16	80286	130000	1982	Intel
32	NR-9000	450000	1982	Hewlett-Packard

Однако следует оговориться: 4-разрядные микропроцессоры производятся и применяются до настоящего времени.

В начале развития микропроцессоры изготавливались по p-МОП технологии, затем специалисты стали отдавать предпочтение комплементарной МОП-технологии (КМОП) (технологии, используемые при изготовлении процессоров, будут рассмотрены ниже в подразделе 3.1). Теперь применяется множество разнообразных видов технологии и технологических приемов при изготовлении микропроцессоров: n-МОП технология с обогащением и с обеднением, биполярная технология, технология И2Л и др. Например, за первые 20 лет

развития микропроцессорной техники в США зарегистрированы 237 технологических нововведений, из них 67 революционных.

### ***Классификация микропроцессоров***

1. По числу больших интегральных схем (БИС) в микропроцессорном комплекте различают однокристалльные, многокристалльные и многокристалльные секционные микропроцессоры.

Процессоры даже самых простых ЭВМ имеют сложную функциональную структуру, содержат большое количество электронных элементов и множество разветвленных связей. Изменять структуру процессора необходимо так, чтобы полная принципиальная схема или ее части имели количество элементов и связей, совместимое с возможностями БИС. При этом микропроцессоры приобретают внутреннюю магистральную архитектуру, т. е. в них к единой внутренней информационной магистрали подключаются все основные функциональные блоки (арифметико-логический, рабочих регистров, стека, прерываний, интерфейса, управления и синхронизации и др.).

Для обоснования классификации микропроцессоров по числу БИС надо распределить все аппаратные блоки процессора между основными тремя функциональными частями: операционной, управляющей и интерфейсной. Сложность операционной и управляющей частей процессора определяется их разрядностью, системой команд и требованиями к системе прерываний; сложность интерфейсной части разрядностью и возможностями подключения других устройств ЭВМ (памяти, внешних

устройств, датчиков и исполнительных механизмов и др.). Интерфейс процессора содержит несколько десятков информационных шин данных (ШД), адресов (ША) и управления (ШУ).

Однокристалльные микропроцессоры получают при реализации всех аппаратных средств процессора в виде одной БИС или СБИС (сверхбольшой интегральной схемы). По мере увеличения степени интеграции элементов в кристалле и числа выводов корпуса параметры однокристалльных микропроцессоров улучшаются. Однако возможности однокристалльных микропроцессоров ограничены аппаратными ресурсами кристалла и корпуса.

Для получения многокристального микропроцессора необходимо провести разбиение его логической структуры на функционально законченные части и реализовать их в виде БИС (СБИС). Функциональная законченность БИС многокристального микропроцессора означает, что его части выполняют заранее определенные функции и могут работать автономно.

На рис. 1.1,*a* показано функциональное разбиение структуры процессора при создании трехкристального микропроцессора (пунктирные линии), содержащего БИС операционного (ОП), БИС управляющего (УП) и БИС интерфейсного (ИП) процессоров.



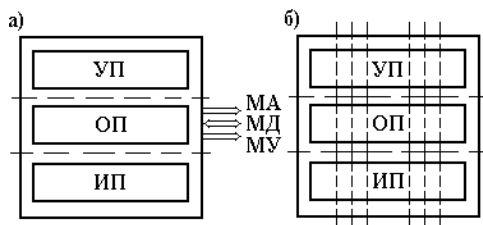


Рис. 1.1. Функциональная структура процессора (а) и ее разбиение для реализации процессора в виде комплекта секционных БИС.

Операционный процессор служит для обработки данных, управляющий процессор выполняет функции выборки, декодирования и вычисления адресов операндов и также генерирует последовательности микрокоманд. Автономность работы и большое быстродействие УП позволяет выбирать команды из памяти с большей скоростью, чем скорость их исполнения ОП. При этом в УП образуется очередь еще не исполненных команд, а также заранее подготавливаются те данные, которые потребуются ОП в следующих циклах работы. Такая опережающая выборка команд экономит время ОП на ожидание операндов, необходимых для выполнения команд программ. Интерфейсный процессор позволяет подключить память и периферийные средства к микропроцессору; он, по существу, является сложным контроллером для устройств ввода/вывода информации. Интерфейсный процессор выполняет также функции канала прямого доступа к памяти.

Выбираемые из памяти команды распознаются и выполняются каждой частью микропроцессора

автономно и поэтому может быть обеспечен режим одновременной работы всех интегральных схем МП, т. е. конвейерный поточный режим исполнения последовательности команд программы (выполнение последовательности с небольшим временным сдвигом). Такой режим работы значительно повышает производительность микропроцессора.

Многокристальные секционные микропроцессоры получаются в том случае, когда в виде БИС реализуются части (секции) логической структуры процессора при функциональном разбиении ее вертикальными плоскостями (рис. 1,б). Для построения многоуровневых микропроцессоров при параллельном включении секций БИС в них добавляются средства "стыковки".

Для создания высокопроизводительных многоуровневых микропроцессоров требуется столь много аппаратных средств, не реализуемых в доступных БИС, что может возникнуть необходимость еще и в функциональном разбиении структуры микропроцессора горизонтальными плоскостями. В результате рассмотренного функционального разделения структуры микропроцессора на функционально и конструктивно законченные части создаются условия реализации каждой из них в виде БИС. Все они образуют комплект секционных интегральных схем МП.

Таким образом, микропроцессорная секция – это БИС, предназначенная для обработки нескольких разрядов данных или выполнения определенных управляющих операций. Секционность интегральных схем МП определяет возможность "наращивания"

разрядности обрабатываемых данных или усложнения устройств управления микропроцессора при "параллельном" включении большего числа БИС.

Однокристалльные и трехкристалльные интегральных схем МП, как правило, изготавливают на основе микроэлектронных технологий униполярных полупроводниковых приборов, а многокристалльные секционные БИС МП на основе технологии биполярных полупроводниковых приборов. Использование многокристалльных микропроцессорных высокоскоростных биполярных БИС, имеющих функциональную законченность при малой физической разрядности обрабатываемых данных и монтируемых в корпус с большим числом выводов, позволяет организовать разветвление связи в процессоре, а также осуществить конвейерные принципы обработки информации для повышения его производительности.

2. По назначению различают универсальные и специализированные микропроцессоры.

Универсальные микропроцессоры могут быть применены для решения широкого круга разнообразных задач. При этом их эффективная производительность слабо зависит от проблемной специфики решаемых задач. Специализация МП, т. е. его проблемная ориентация на ускоренное выполнение определенных функций позволяет резко увеличить эффективную производительность при решении только определенных задач.

Среди специализированных микропроцессоров можно выделить различные микроконтроллеры, ориентированные на выполнение сложных

последовательностей логических операций, математические МП, предназначенные для повышения производительности при выполнении арифметических операций за счет, например, матричных методов их выполнения, МП для обработки данных в различных областях применений и т. д. С помощью специализированных МП можно эффективно решать новые сложные задачи параллельной обработки данных. Например, конволюция позволяет осуществить более сложную математическую обработку сигналов, чем широко используемые методы корреляции. Последние в основном сводятся к сравнению всего двух серий данных: входных, передаваемых формой сигнала, и фиксированных опорных, а также к определению их подобия. Конволюция дает возможность в реальном масштабе времени находить соответствие для сигналов изменяющейся формы путем сравнения их с различными эталонными сигналами, что, например, может позволить эффективно выделить полезный сигнал на фоне шума. Разработанные однокристалльные конвольверы используются в устройствах опознавания образов в тех случаях, когда возможности сбора данных превосходят способности системы обрабатывать эти данные.

*3. По виду обрабатываемых входных сигналов различают цифровые и аналоговые микропроцессоры.*

Сами микропроцессоры – цифровые устройства, однако, могут иметь встроенные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. Поэтому входные аналоговые сигналы передаются в МП через преобразователь в цифровой форме, обрабатываются и

после обратного преобразования в аналоговую форму поступают на выход. С архитектурной точки зрения такие микропроцессоры представляют собой аналоговые функциональные преобразователи сигналов и называются аналоговыми микропроцессорами. Они выполняют функции любой аналоговой схемы (например, производят генерацию колебаний, модуляцию, смещение, фильтрацию, кодирование и декодирование сигналов в реальном масштабе времени и т. д., заменяя сложные схемы, состоящие из операционных усилителей, катушек индуктивности, конденсаторов и т. д.). При этом применение аналогового микропроцессора значительно повышает точность обработки аналоговых сигналов и их воспроизводимость, а также расширяет функциональные возможности за счет программной "настройки" цифровой части микропроцессора на различные алгоритмы обработки сигналов.

Обычно в составе однокристалльных аналоговых МП имеется несколько каналов аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования. В аналоговом микропроцессоре разрядность обрабатываемых данных достигает 24 бит и более, большое значение уделяется увеличению скорости выполнения арифметических операций.

Отличительная черта аналоговых микропроцессоров – способность к переработке большого объема числовых данных, т. е. к выполнению операций сложения и умножения с большой скоростью при необходимости даже за счет отказа от операций прерываний и переходов. Аналоговый сигнал,

преобразованный в цифровую форму, обрабатывается в реальном масштабе времени и передается на выход обычно в аналоговой форме через цифроаналоговый преобразователь. При этом, согласно теореме Котельникова, частота квантования аналогового сигнала должна вдвое превышать верхнюю частоту сигнала.

Сравнение цифровых микропроцессоров производится сопоставлением времени выполнения ими списков операций. Сравнение же аналоговых микропроцессоров производится по количеству эквивалентных звеньев аналого-цифровых фильтров рекурсивных фильтров второго порядка. Производительность аналогового микропроцессора определяется его способностью быстро выполнять операции умножения: чем быстрее осуществляется умножение, тем больше эквивалентное количество звеньев фильтра в аналоговом преобразователе и тем более сложный алгоритм преобразования цифровых сигналов можно задавать в микропроцессоре.

Одним из направлений дальнейшего совершенствования аналоговых микропроцессоров является повышение их универсальности и гибкости. Поэтому вместе с повышением скорости обработки большого объема цифровых данных будут развиваться средства обеспечения развитых вычислительных процессов обработки цифровой информации за счет реализации аппаратных блоков прерывания программ и программных переходов.

4. По характеру временной организации работы микропроцессоры делят на *синхронные* и *асинхронные*.

*Синхронные микропроцессоры* – микропроцессоры, в которых начало и конец выполнения операций задаются устройством управления (время выполнения операций в этом случае не зависит от вида выполняемых команд и величин операндов).

Асинхронные микропроцессоры позволяют начало выполнения каждой следующей операции определить по сигналу фактического окончания выполнения предыдущей операции. Для более эффективного использования каждого устройства микропроцессорной системы в состав асинхронно работающих устройств вводят электронные цепи, обеспечивающие автономное функционирование устройств. Закончив работу над какой-либо операцией, устройство вырабатывает сигнал запроса, означающий его готовность к выполнению следующей операции. При этом роль естественного распределителя работ принимает на себя память, которая в соответствии с заранее установленным приоритетом выполняет запросы остальных устройств по обеспечению их командной информацией и данными.

*5. По организации структуры микропроцессорных систем различают одно- и многомагистральные микроЭВМ.*

В одномагистральных микроЭВМ все устройства имеют одинаковый интерфейс и подключены к единой информационной магистрали, по которой передаются коды данных, адресов и управляющих сигналов.

В многомагистральных микроЭВМ устройства группами подключаются к своей информационной магистрали. Это позволяет осуществить одновременную

передачу информационных сигналов по нескольким (или всем) магистралям. Такая организация систем усложняет их конструкцию, однако увеличивает производительность.

6. По количеству выполняемых программ различают одно- и многопрограммные микропроцессоры.

В однопрограммных микропроцессорах выполняется только одна программа. Переход к выполнению другой программы происходит после завершения текущей программы.

В много-или мультипрограммных микропроцессорах одновременно выполняется несколько (обычно несколько десятков) программ. Организация мультипрограммной работы микропроцессорных управляющих систем позволяет осуществить контроль за состоянием и управлением большого числа источников или приемников информации.