

### 3. Архитектура микропроцессора

#### 3.1. Понятие архитектуры микропроцессора

С точки зрения пользователя (разработчика автоматических систем) при выборе МП для решения конкретной задачи целесообразно располагать некоторыми обобщенными или комплексными характеристиками возможностей МП, т. е. воспринимать его как нечто цельное, имеющее вполне определенные потребительские качества (свойства и характеристики). В конечном итоге разработчик нуждается в уяснении и понимании лишь тех компонентов МП и МПС, которые явно отражаются в программах и (или) должны быть учтены при разработке и выполнении программ: число и имена программно-доступных регистров; разрядность машинного слова; система команд; доступный размер и адреса ОЗУ; быстродействие МП; схему обработки прерываний; способы адресации ОЗУ и внешних устройств. Совокупность таких сведений представляет определенную модель МП (МПС) с точки зрения пользователя (разработчика МПАС).

Указанные выше характеристики и свойства определяются понятием архитектуры МП (МПС, МЭВМ).

**Архитектура МП** – это его логическая организация, рассматриваемая с точки зрения пользователя; она определяет возможности МП по аппаратной, программной и микропрограммной реализации функций, необходимых для построения МПС и МПАС [2, 3].

Понятие архитектуры МП отражает:

- структуру, т. е. совокупность компонентов, составляющих МП, и связей между ними;
- способы представления и форматы данных;
- способы обращения ко всем доступным для пользователя (программно-доступным) элементам структуры (адресация к регистрам, ячейкам оперативной и постоянной памяти, внешним устройствам);
- набор операций, выполняемых МП, т. е. система команд МП;
- характеристики управляющих слов и сигналов, вырабатываемых микропроцессором и поступающих в МП извне;
- реакцию на внешние сигналы (схема обработки прерываний и т. д.) и другие характеристики. Ниже будут рассмотрены некоторые элементы архитектуры.

### 3.2. Основные характеристики микропроцессора

Микропроцессор характеризуется:

- 1) тактовой частотой, определяющей максимальное время выполнения переключения элементов в ЭВМ;
- 2) разрядностью, т. е. максимальным числом одновременно обрабатываемых двоичных разрядов;
- 3) архитектурой.

Разрядность МП обозначается  $m/n/k$  и включает:

$m$  – разрядность внутренних регистров, определяет принадлежность к тому или иному классу процессоров;

$n$  – разрядность шины данных, определяет скорость передачи информации;

$k$  – разрядность шины адреса, определяет размер адресного пространства.

Например, МП i8088 характеризуется значениями  $m/n/k = 16/8/20$ ;

Понятие архитектуры микропроцессора включает в себя систему команд и способы адресации, возможность совмещения выполнения команд во времени, наличие дополнительных устройств в составе микропроцессора, принципы и режимы его работы. Выделяют понятия микроархитектуры и макроархитектуры.

Микроархитектура микропроцессора – это аппаратная организация и логическая структура микропроцессора, регистры, управляющие схемы, арифметико-логические устройства, запоминающие устройства и связывающие их информационные магистрали [1, 2, 3].

Макроархитектура – это система команд, типы обрабатываемых данных, режимы адресации и принципы работы микропроцессора.

В общем случае под архитектурой ЭВМ понимается абстрактное представление машины в терминах основных функциональных модулей, языка ЭВМ, структуры данных [1, 2, 3].

### 3.3. Типы архитектур микропроцессоров

Все микропроцессоры можно разделить на следующие группы:

- МП с гарвардской архитектурой;
- МП с фоннеймановской архитектурой;
- МП типа CISC (Complex Instruction Set Computing) с полным набором команд;
- МП типа RISC (Reduced Instruction Set Computing) с сокращенным набором команд;
- МП типа MISC (Minimum Instruction Set Computing) с минимальным набором команд и весьма высоким быстродействием (в настоящее время эти модели находятся в стадии разработки).

#### 3.3.1. Гарвардская и фоннеймановская архитектуры микропроцессора

Архитектуры микропроцессоров различаются по использованию памяти. Наибольшее распространение получили:

- гарвардская архитектура;
- архитектура фон Неймана.

Гарвардская архитектура предполагает отдельное использование памяти программ и данных. Обычно такую архитектуру используют для повышения быстродействия системы за счёт разделения путей доступа к памяти программ и данных. Большинство специализированных микропроцессоров (особенно микроконтроллеры) имеют данную архитектуру.

Антипод гарвардской – архитектура фон Неймана – предполагает хранение программ и данных в общей памяти и наиболее характерна для микропроцессоров, ориентированных на использование в компьютерах. Примером могут служить микропроцессоры семейства x86.

#### 3.3.2. Микропроцессоры типа CISC

Термин *CISC* означает сложную систему команд и является аббревиатурой английского определения Complex Instruction Set Computer.

Большинство современных ПК типа IBM PC (International Business Machine) используют МП типа CISC, характеристики наиболее распространенных из них приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Характеристики наиболее распространенных CISC МП*

Мо- дель МП	Разрядность, бит		Так- товая частота, МГц	Адресное пространство, байт	Число ко- манд	Число элемен- тов	Год выпус- ка
	данных	адреса					
4004	4	4	4,77	4*103	45	2300	1971
8080	8	8	4,77	64*103		10000	1974
8086	16	16	4,77 и 8	106"	134	70000	1982
8088	8, 16	16	4,77 и 8	106	134	70000	1981
80186	16	20	8 и 10	106		140000	1984
80286	16	24	10–33	4*106 (вирту- альное 109)		180000	1985
80386	32	32	25–50	16*106 (вир- туальное 4*109)	240	275000	1987
80486	32	32	33–100	16*106 (вир- туальное 4*109)	240	1,2x106	1989
Pentium	64	32	50–150	4*109	240	3,1*106	1993
Pentium Pro	64	32	66–200	4*109	240	5,5*106	1995

Отметим некоторые характеристики МП:

- начиная с МП 80386 используется конвейерное выполнение команд – одновременное выполнение разных тактов последовательных команд в разных частях МП при непосредственной передаче результатов из одной части МП в другую. Конвейерное выполнение команд увеличивает эффективное быстродействие ПК в 2–3 раза;
- начиная с МП 80286 предусматривается возможность работы в вычислительной сети;
- начиная с МП 80286 имеется возможность многозадачной работы (многопрограммность) и сопутствующая ей защита памяти;
- начиная с МП 80386 обеспечивается поддержка режима системы виртуальных машин, т. е. такого режима многозадачной работы, при котором в одном МП моделируется как бы несколько компьютеров, работающих параллельно и имеющих разные операционные системы;
- начиная с МП 80286 микропроцессоры могут работать в двух режимах: реальном (Real mode) и защищенном (Protected mode). В ре-

альном режиме имитируется (эмулируется) работа МП 8086, естественно, однозадачная. В защищенном режиме возможна многозадачная работа с непосредственным доступом к расширенной памяти (см. подразд. 4.5) и с защитой памяти, отведенной задачам, от посторонних обращений.

Микропроцессоры 80586 (P5) более известны по их товарной марке Pentium, которая запатентована фирмой Intel (МП 80586 других фирм имеют иные обозначения: K5 у фирмы AMD, M 1 у фирмы Cyrix и др.).

Эти микропроцессоры имеют пятиступенную конвейерную структуру, обеспечивающую многократное совмещение тактов выполнения последовательных команд, и КЭШ-буфер для команд условной передачи управления, позволяющий предсказывать направление ветвления программ; по эффективному быстродействию они приближаются к RISC МП, выполняющим каждую команду как бы за один такт. Pentium имеют 32-разрядную адресную шину и 64-разрядную шину данных. Обмен данными с системой может выполняться со скоростью 1 Гб/с.

У всех МП Pentium имеется встроенная КЭШ-память, отдельно для команд, отдельно для данных; имеются специализированные конвейерные аппаратные блоки сложения, умножения и деления, значительно ускоряющие выполнение операций с плавающей запятой.

Микропроцессоры Pentium Pro. В сентябре 1995 г. прошли презентацию и выпущены МП 80686 (P6), торговая марка Pentium Pro. Благодаря новым схемотехническим решениям они обеспечивают для ПК более высокую производительность. Часть этих новшеств может быть объединена понятием динамическое исполнение (dynamic execution), что в первую очередь означает наличие 14-ступенной суперконвейерной структуры (superpipelining), предсказания ветвлений программы при условных передачах управления (branch prediction) и исполнение команд по предполагаемому пути ветвления (speculative execution).

КЭШ-память емкостью 256–512 кб – обязательный атрибут высокопроизводительных систем на процессорах Pentium. Однако у них встроенная КЭШ-память имеет небольшую емкость (16 кб), а основная ее часть находится вне процессора на материнской плате. Поэтому обмен данными с ней происходит не на внутренней частоте МП, а на частоте тактового генератора, которая обычно в 2–3 раза ниже, что снижает общее быстродействие компьютера. В МП Pentium Pro КЭШ-память емкостью 256–512 кб находится в самом микропроцессоре.

Микропроцессоры OverDrive. Интерес представляют также недавно разработанные МП OverDrive, по существу являющиеся своеобраз-

ными сопроцессорами, обеспечивающими для МП 80486 режимы работы и эффективное быстроедействие, характерные для МП Pentium. Появились МП OverDrive, улучшающие характеристики и микропроцессоров Pentium.

### 3.3.3. Микропроцессоры типа RISC

Термин *RISC* означает сокращённую систему команд и происходит от английского Reduced Instruction Set Computer.

Микропроцессоры типа RISC содержат набор только простых, чаще всего встречающихся в программах команд. При необходимости выполнения более сложных команд в микропроцессоре производится их автоматическая сборка из простых. В этих МП на выполнение каждой простой команды за счет их наложения и параллельного выполнения тратится 1 машинный такт (на выполнение даже самой короткой команды из системы CISC обычно тратится 4 такта).

Некоторые микропроцессоры типа RISC: ARM (на его основе выпускались ПК IBM PC RT) – один из первых 32-разрядных RISC микропроцессоров, имеющий 118 различных команд. Современные RISC микропроцессоры (80860, 80960, 80870, Power PC) являются 64-разрядными при быстроедействии до 150 млн оп./с. Микропроцессоры Power PC (Performance Optimized With Enhanced RISC PC) весьма перспективны и уже сейчас широко применяются в машинах-серверах и в ПК типа Macintosh.

Микропроцессоры типа RISC имеют очень высокое быстроедействие, но программно не совместимы с CISC-процессорами: при выполнении программ, разработанных для ПК типа IBM PC, они могут лишь эмулировать (моделировать, имитировать) МП типа CISC на программном уровне, что приводит к резкому уменьшению их эффективной производительности.

Однако, несмотря на широкую распространённость этих понятий, необходимо признать, что сами названия не отражают главного различия между системами команд CISC и RISC. *Основная идея RISC-архитектуры* – это тщательный подбор таких комбинаций кодов операций, которые можно было бы выполнить за один такт тактового генератора. Основной выигрыш от такого подхода – резкое упрощение аппаратной реализации ЦП и возможность значительно повысить его производительность. Все команды работают с операндами и имеют одинаковый формат. Обращение к памяти выполняется с помощью специальных команд загрузки регистра и записи. Простота структуры и небольшой набор команд позволяет реализовать полностью их аппа-

ратное выполнение и эффективный конвейер при небольшом объеме оборудования. Арифметику RISC-процессоров отличает высокая степень дробления конвейера. Этот прием позволяет увеличить тактовую частоту (значит и производительность) компьютера. Чем более элементарные действия выполняются в каждой фазе работы конвейера, тем выше частота его работы. RISC-процессоры с самого начала ориентированы на реализацию всех возможностей ускорения арифметических операций, поэтому их конвейеры обладают значительно более высоким быстродействием, чем в CISC-процессорах. Поэтому RISC-процессоры в 2–4 раза быстрее имеющих ту же тактовую частоту CISC-процессоров с обычной системой команд и высокопроизводительней, несмотря на больший объем программ, на (30 %). Дейв Паттерсон и Карло Секуин сформулировали 4 основных принципа RISC:

1. Любая операция должна выполняться за один такт, вне зависимости от ее типа.

2. Система команд должна содержать минимальное количество наиболее часто используемых простейших инструкций одинаковой длины.

3. Операции обработки данных реализуются только в формате “регистр–регистр” (операнды выбираются из оперативных регистров процессора, и результат операции записывается также в регистр; а обмен между оперативными регистрами и памятью выполняется только с помощью команд чтения/записи).

4. Состав системы команд должен быть “удобен” для компиляции операторов языков высокого уровня.

Микропроцессоры с архитектурой CISC (Complex Instruction Set Computers) – архитектура вычислений с полной системой команд. Реализующие на уровне машинного языка комплексные наборы команд различной сложности (от простых, характерных для микропроцессора первого поколения, до команд значительной сложности, характерных для современных 32-разрядных микропроцессоров типа 80486, 68040 и др.).