

## Тема 11 2010. Устройства управления ЭВМ и ВС Процессоры с микропрограммным управлением

Любая система обработки данных (СОД) рассматривается как совокупность трех устройств:

- Памяти;
- Операционного устройства;
- Управления

Устройство управления (УУ) предназначено для выработки управляющих сигналов, необходимых для выполнения любого действия, происходящего в СОД

### **Классификация УУ:**

#### **1. По структурной организации**

- Централизованные
- Смешанные – централизованные + местные
- Иерархические (в ВС)

#### **2. По технической организации**

- С жесткой логикой работы
- Устройства микропрограммного управления

### **УУ с жесткой логикой**

Выполнение операций в машине сводится к элементарным преобразованиям информации (передача информации между узлами в блоках, сдвиг информации в узлах, логические поразрядные операции, проверка условий и т.д.) в логических элементах, узлах и блоках под воздействием функциональных управляющих сигналов блоков (устройств) управления. Элементарные преобразования, неразложимые на более простые, выполняются в течение одного такта сигналов синхронизации и называются **микрооперациями**.

Известны два подхода к построению логики формирования функциональных импульсов. Один из них – аппаратный.

В аппаратных (схемных) устройствах управления каждой операции соответствует свой набор логических схем, выполненных на диодах, транзисторах и т. д. и определяющих, какой функциональный импульс (ФИ) и в каком такте должен быть возбужден. Т.е. **логические схемы вырабатывают определенные функциональные сигналы для выполнения микроопераций в определенные моменты времени**. При этом способе построения УУ реализация микроопераций достигается за счет однажды соединенных между собой логических схем, поэтому ЭВМ с аппаратным устройством управления называют ЭВМ с жесткой логикой управления. Это понятие относится к фиксации системы команд в структуре связей ЭВМ и

означает практическую невозможность каких-либо изменений в системе команд ЭВМ после ее изготовления.

Пусть некоторый ФИ должен появиться в такте  $j$  операции  $m$  при условии наличия переполнения сумматора или в такте  $i$  операции  $n$ . Требуемое действие будет выполнено, если подать сигналы, соответствующие указанным кодам операции, тактам и условиям на входы схем И, а выходы последних через схему ИЛИ соединить с формирователем ФИ (рис. 1).

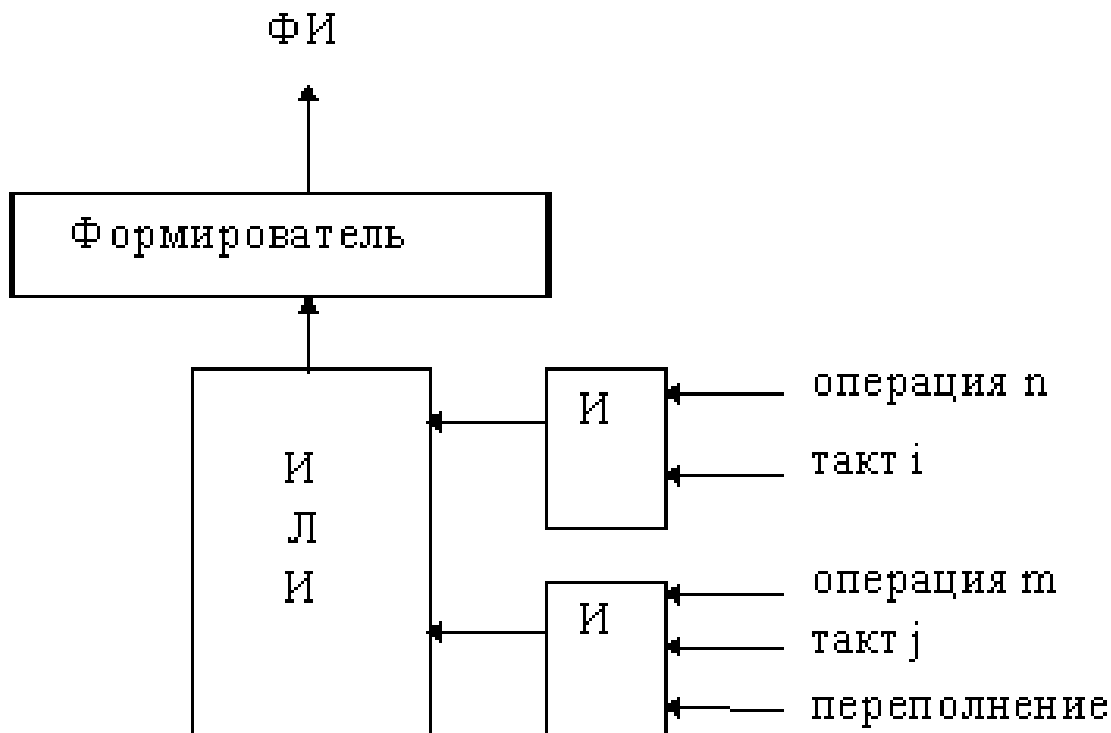


Рис. 1. Формирование функционального импульса

Такой принцип управления операциями получил название "**жесткой**" или "**западной**" логики и широко применяется во многих компьютерах.

Другой принцип организации управления: каждой **микрооперации** (МИО)<sup>1</sup> ставится в соответствие слово (или часть слова), называемое **микрокомандой** и хранимое в памяти подобно тому, как хранятся в памяти команды обычного компьютера. Здесь команде соответствует микропрограмма, т. е. набор микрокоманд (МИК), указывающих, какие ФИ и в какой последовательности необходимо возбуждать для выполнения данной операции. Такой подход получил название **микропрограммирования** или "**хранимой логики**". Это подчеркивает

<sup>1</sup> Микрокоманда – совокупность совместимых микроприказов, инициирующих выполнение микрооперации

Микрооперация – элементарное действие, выполняемое тем или иным функциональным узлом ЭВМ

Микропрограмма – набор микроопераций

тот факт, что в микропрограммном компьютере логика управления реализуется не в виде электронной схемы, а в виде закодированной информации, находящейся в каком-то регистре.

### **Микропрограммное управление**

Идея микропрограммирования, высказанная в 1951 г. Уилксом, нашла широкое применение в машинах серии IBM 360, когда появились надежные и быстродействующие ЗУ для хранения микропрограммы. За счет микропрограммного управления появилась возможность эмуляции системы команд старых моделей

Достаточно долго неправильно понимались задачи и выгоды микропрограммирования.

Считалось, ценность микропрограммирования в том, что каждый потребитель может сконструировать себе из МИК нужный ему набор операций в данной конкретной задаче. Замена наборов команд достигалась бы заменой информации в ЗУ без каких-либо переделок в аппаратуре. Однако в этом случае программисту необходимо было бы знать все тонкости работы инженера-разработчика компьютера. А основная тенденция развития ЭВМ в связи с автоматизацией программирования состоит в том, чтобы освободить программиста от детального изучения устройств компьютера и в максимальной степени приблизить язык компьютера к языку человека. Поэтому микропрограммные компьютеры считали трудными для пользователя.

Микропрограммный принцип актуален, так как:

- созданы односторонние (читающие) быстродействующие ЗУ с малым циклом памяти;
- микропрограммирование рассматривается не как средство повышения гибкости программирования, а как метод построения системы управления процессором, удобный для инженера-разработчика компьютера.

Программист в своей работе может и не подозревать о микропрограммной структуре компьютера и использовать все средства ПО и языки программирования самого высокого уровня. Использование микропрограммного принципа позволяет облегчить разработку и изменение логики процессора.

С появлением программного доступа к состоянию процессора после выполнения каждой МИК обеспечивается возможность создания экономичной системы автоматической диагностики неисправностей и появляется способность к эмуляции, т. е. к выполнению на данной ЭВМ программы, составленной в кодах команд другого компьютера. Это достигается введением дополнительного набора МИК, соответствующих командам эмулируемого компьютера.

Эти возможности способствуют распространению методов микропрограммирования при построении УУ в современных компьютерах.

Микропрограмма записывается в специализированную память – память микропрограмм или микрокоманд

При микропрограммной реализации УУ в состав последнего вводится ЗУ, каждый разряд выходного кода которого определяет появление определенного функционального сигнала управления. Поэтому каждой микрооперации ставится в соответствие свой информационный код - микрокоманда. Набор микрокоманд и последовательность их реализации обеспечивают выполнение любой сложной операции. Набор микроопераций называют микропрограммами. Способ управления операциями путем последовательного считывания и интерпретации микрокоманд из ЗУ (наиболее часто в виде микропрограммного ЗУ используют быстродействующие программируемые логические матрицы), а также использования кодов микрокоманд для генерации функциональных управляющих сигналов называют микропрограммным, а микроЭВМ с таким способом управления - микропрограммными или с хранимой (гибкой) логикой управления.

К микропрограммам предъявляют требования функциональной полноты и минимальности. **Первое требование** необходимо для обеспечения возможности разработки микропрограмм любых машинных операций, а **второе** связано с желанием уменьшить объем используемого оборудования. Учет фактора быстродействия ведет к расширению микропрограмм, поскольку усложнение последних позволяет сократить время выполнения команд программы.

Преобразование информации выполняется в универсальном арифметико-логическом блоке микропроцессора. Он обычно строится на основе комбинационных логических схем.

Для ускорения выполнения определенных операций вводятся дополнительно специальные операционные узлы (например, циклические сдвигатели). Кроме того, в состав микропроцессорного комплекта (МПК) БИС вводятся специализированные оперативные блоки арифметических расширителей.

Операционные возможности микропроцессора можно расширить за счет увеличения числа регистров. Если в регистровом буфере закрепление функций регистров отсутствует, то их можно использовать как для хранения данных, так и для хранения адресов. Подобные регистры микропроцессора называются регистрами общего назначения (РОН). По мере развития технологии реально осуществлено изготовление в микропроцессоре 16, 32, 64 и более регистров.

В целом, принцип микропрограммного управления включает следующие позиции:

1. любая операция, реализуемая устройством, является последовательностью элементарных действий - микроопераций;
2. для управления порядком следования микроопераций используются логические условия;
3. процесс выполнения операций в устройстве описывается в форме алгоритма, представляемого в терминах микроопераций и логических условий, называемого микропрограммой;
4. микропрограмма используется как форма представления функции устройства, на основе которой определяются структура и порядок функционирования устройства во времени.

Принцип микропрограммного управления обеспечивает гибкость микропроцессорной системы и позволяет осуществлять проблемную ориентацию микро- и миниЭВМ.

Существуют два вида микропрограммного управления:

- горизонтальное (схема с минимальным кодированием, когда требуется достичь макс. скорости работы процессора) и
- вертикальное (исп. сильно закодированные команды, но снижены аппаратные затраты на обработку микрокоманд)

### **Горизонтальное микропрограммирование**

При горизонтальном – каждому разряду МИК соответствует определенная микрооперация, выполняемая независимо от содержания других разрядов. Микропрограмма может быть представлена в виде матрицы  $n \times m$ , где  $n$  – число ФИ,  $m$  – количество МИК, т. е. строка соответствует одной МИК, а столбец – одной МИО (рис.2).

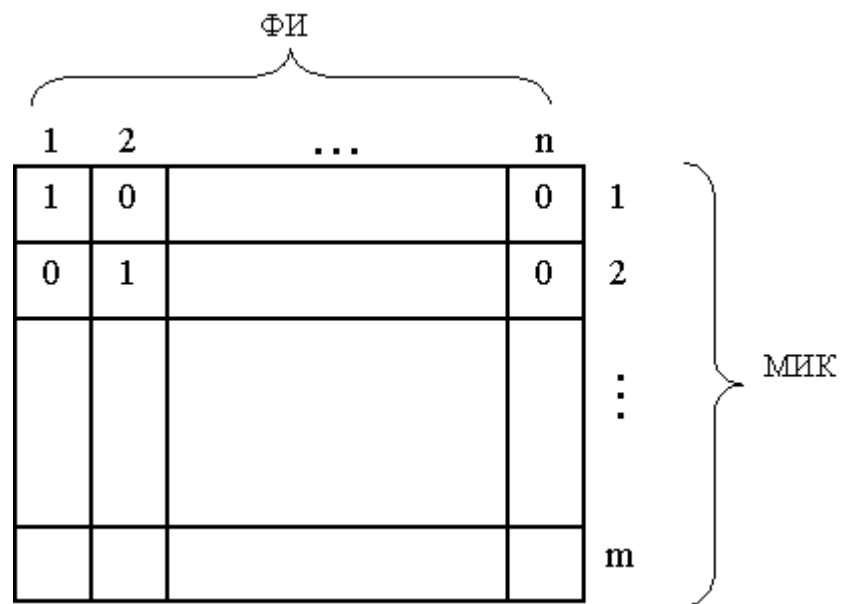


Рис.2. Микропрограмма при горизонтальном микропрограммировании

Примерные значения разрядов МИК приведены на рис. 3.

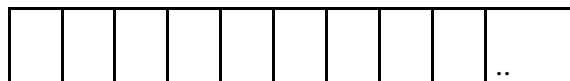


Рис.3. Значение разрядов МИК (МИО):

1 – гашение сумматора; 2 – гашение указателя переполнения; 3 – обратный код сумматора; 4 – гашение регистра множителя частного; 5 – инвертирование знака; 6 – сдвиг содержимого сумматора влево; 7 – сдвиг содержимого сумматора вправо; 8 – увеличение содержимого сумматора на 1; 9 – чтение из ЗУ в сумматор; ...

**Наличие "1" в пересечении какой-либо строки и столбца означает посылку ФИ в данную МИК, а наличие "0" – его отсутствие.**

Размещение "1" в нескольких разрядах МИК означает выполнение нескольких МИО одновременно. Конечно, возбуждаемые МИО должны быть совместимы.

Пусть, например, разряды 9-разрядной МИК принимают следующие значения: 001001101. Тогда, если заданные разряды соответствуют семантике, указанной на рис. 3, то МИО, определяемые разрядами 9, 7 и 6, несовместимы.

Для расширения возможностей МИК иногда используют многотактный принцип исполнения МИК. При этом каждому разряду присваивается номер такта, в котором выполняется соответствующая ему МИО, т. е. здесь все совместимые МИО имеют один номер такта. Все остальные такты нумеруются в порядке их естественного выполнения. Однако универсальную нумерацию МИО в МИК указать затруднительно.

**Достоинства** горизонтального микропрограммирования:

- возможность одновременного выполнения нескольких МИО;
- простота формирования ФИ (без схем дешифрации).

#### Недостатки:

- большая длина МИК, так как число ФИ в современных компьютерах достигает нескольких сот, и соответственно большой объем ЗУ для хранения МИК;
- из-за ограничений совместимости операций, а также из-за последовательного характера выполнения алгоритмов операций лишь небольшая часть разрядов МИК будет содержать "1". В основном матрица будет состоять из нулей. Неэффективное использование ЗУ привело к малому распространению горизонтального микропрограммирования.

### Вертикальное микропрограммирование

При вертикальном микропрограммировании каждая МИО определяется не состоянием одного разряда, а двоичным кодом, содержащимся в определенном поле МИК. Микрокоманда несколько напоминает формат обычных команд.

Отличие состоит в том, что:

- выполняется более элементарное действие – МИО вместо операции;
- адресная часть (в большинстве случаев) определяет не ячейку памяти, а операционный регистр процессора.

Формат МИК при вертикальном микропрограммировании приведен на рис. 4.



Рис. 4. Формат вертикальной МИК

Поля  $P_1$  и  $P_2$  в адресной части МИК указывают двоичные номера операционных регистров, содержимое которых участвует в одной операции. Одно из полей является одновременно и адресом результата. Таким образом, реализация арифметической или логической МИО, указанной в данной МИК, может быть выражена формулой  $(P_1) \otimes (P_2) \rightarrow P_1$ , или  $(P_2) \rightarrow P_1$ ,

где  $\otimes$  – символ МИО.

Для МИК обращения к памяти поле  $P_1$  указывает регистр, куда принимается информация, а  $P_2$  – регистр, содержимое которого является адресом обращения к ЗУ. Указанный формат МИК не единственный.

Каждая МИК выполняет следующие функции:

- указывает выполняемую МИО;

- указывает следующую МИО через задание "следующего адреса";
- задает продолжительность МИК;
- указывает дополнительные действия – контроль и т. д.

Обычно в слове МИК имеются четыре зоны, соответствующие указанным функциям. Вообще говоря, некоторые из зон могут указываться неявно, например выбор очередной МИК может осуществляться из следующей ячейки, продолжительность МИК может быть определена одинаковой для всех МИК и т. д.

Первыми компьютерами с микропрограммным управлением среди отечественных ЭВМ были МИР, НАИРИ, среди зарубежных – IBM/360, Spectra 70.(70-ые годы)

Общий вывод:

1. Существуют два подхода к реализации управляющего блока процессора
2. Аппаратную реализации УУ эффективнее использовать, если на первом плане быстродействие компьютера
3. Микропрограммное УУ используется, если на первом плане гибкость реализации команд