

# Проектирование микропроцессора на ПЛИС

## Оглавление

Введение.....	1
Система команд.....	1
Классификация команд.....	2
Структура команды.....	2
Структура процессора.....	3
Функционирование процессора.....	7
Типы управления.....	7
Способы обмена информацией.....	8
Примеры процессоров.....	8
Контрольные вопросы для самопроверки.....	8

## Введение

*Микропроцессор (МП)* – это устройство, которое осуществляет приём, обработку и выдачу информации. МП выполняет действия, определённые программой, записанной в памяти.

Основными функциями центрального процессора являются следующие:

- 1) Извлечение, декодирование и выполнение команд программы в указанном порядке;
  - 2) Передача данных из памяти и в память и из УВВ и в УВВ;
  - 3) Ответы на внешние прерывания;
  - 4) Установка общей синхронизации и сигналов управления для всей системы.
- [Токхайм]

## Система команд

Известно, что микропроцессор способен выполнять определённые информационные преобразования в зависимости от заданной команды, поступающей на его вход.

*Командой* называется совокупность сведений, которые необходимо задать процессору для выполнения им требуемого действия.

*Системой команд* называется совокупность команд, которую способен выполнить микропроцессор. Номенклатура и количество команд зависят от конкретного типа микропроцессора и могут изменяться от нескольких единиц до нескольких сотен.

## Классификация команд

В основу классификации команд могут быть положены такие признаки, как функциональное назначение, структура, длина, способ кодирования команды и т. п.

По функциональному назначению выделяют следующие группы команд:

- *команды обработки данных*, предназначенные для реализации арифметических и логических операций над данными, хранимыми в регистрах центрального процессора (ЦП) и в основной памяти (ОП);
- *команды внутренней пересылки данных*, обеспечивающие передачу данных между регистрами ЦП и основной памятью;
- *команды ввода — вывода*, обеспечивающие обмен информацией между основной памятью и внешними устройствами, а также управление работой внешних устройств;
- *команды передачи управления*, предназначенные для изменения последовательности выполнения команд программы путем условной или безусловной передачи управления на любой ее участок, а также команды, обеспечивающие передачу управления подпрограммам с обратным возвратом в исходную программу;
- *вспомогательные команды*, обеспечивающие выполнение некоторых элементарных действий (очистка регистров, перевод ЦП в исходное состояние, перевод процессора в состояние ожидания и т. п.). В большинстве микропроцессорных систем имеется команда ПУСТАЯ ОПЕРАЦИЯ (НЕТ ОПЕРАЦИИ), при выполнении которой процессор не производит никаких действий.

## Структура команды

Обобщенная структура команды приводится на рис. 2.1. В общем случае команда содержит два основных элемента — код операции (КОП) и адресную часть (АДРЕС). Код операции указывает, какую операцию необходимо выполнить (сложение, вычитание, ввод, вывод, переход и т.п.). В адресной части указываются адреса размещения обрабатываемых данных, адреса внешних устройств, адреса переходов и т. п. в зависимости от функции, задаваемой кодом операции.

Набор и структура команд микропроцессоров весьма разнообразны. Наиболее распространенные из них приведены на рисунках 1, 2.

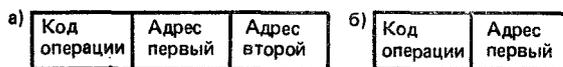


Рисунок 1 Двухадресная (а) и одноадресная (б) команды обработки данных



Рисунок 2 Двухадресная (а) и одноадресная (б) команды передачи данных

Различают двухадресные и одноадресные команды; трехадресные команды в современных ЭВМ не применяются. В двухадресных командах первый адрес А1 указывает местоположение первого операнда, второй А2 — второго. Результат операции помещается по адресу второго операнда, при этом исходное значение второго операнда стирается. В одноадресных командах даже для двухместных операций (например, сложение, вычитание, логические операции И, ИЛИ и т. п.) указывается адрес только лишь одного операнда. При этом другой операнд должен быть предварительно занесен командой пересылки в специальный регистр, называемый аккумулятором (Ак). В этом случае выполняется

операция над содержимым аккумулятора и операндом, выбранным по адресу, заданному в команде. Полученный результат заносится в аккумулятор.

Команды пересылки данных также могут быть одноадресными и двухадресными (см. рисунок. 2). В двухадресных командах первый адрес указывает местоположение источника данных (откуда выбирается информация), второй адрес — местоположение приемника данных (куда выбранная информация перемещается). В одноадресных командах указывается лишь адрес приемника. В качестве источника в этом случае используется аккумулятор. Для загрузки аккумулятора используется другая команда, содержащая адрес источника, тогда приёмником является аккумулятор.

Заметим, что после выполнения команд пересылки данных предшествующее содержимое приемника стирается, а содержимое источника сохраняется.

Среди команд передачи управления в современных микропроцессорах наиболее распространенными являются команды перехода и пропуска следующей команды. Структура команды перехода показана на рисунке 3, а.

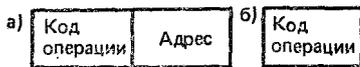


Рисунок 3 Команды передачи управления

Как правило, в системе команд микропроцессора имеется несколько разновидностей таких команд. В их число входят команда безусловного перехода и ряд команд условного перехода. Команда безусловного перехода (рисунок 3, а) обеспечивает передачу управления по адресу, содержащемуся в ее адресной части. Команда условного перехода осуществляет передачу управления только в том случае, если определяемое ею условие выполняется, в противном случае происходит выполнение следующей за ней команды.

Команды пропуска обычно имеют безадресную структуру, они содержат только код операции. Как и в командах перехода, код операции у них определяет условие выполнения команды. Если условие выполняется, то обеспечивается пропуск команды, следующей за командой пропуска, в противном случае последовательность выполнения программы не нарушается. Структура команды пропуска показана на рисунке 3, б.

Команды ввода — вывода выполняют следующие функции:

- управление работой внешнего устройства путем передачи ему инструкции, указывающей, какое действие необходимо выполнять;
- контроль за состоянием внешнего устройства;
- вывод информации на внешнее устройство;
- ввод информации с внешнего устройства.

На рисунке 4 показана структура команды ввода-вывода.

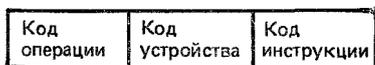


Рисунок 4. Структура команды ввода-вывода

## Структура процессора

Условно можно выделить два основных функциональных блока, из которых состоит микропроцессор, — блок обработки команд и блок обработки данных.

*Блок обработки команд* обеспечивает формирование адреса очередной команды, хранимой в ОП, выбор команды из памяти, ее расшифровку-(декодирование). В результате обработки команды определяется адрес ячейки памяти, содержащей данные, подлежащие обработке, и формируются управляющие сигналы, обеспечивающие выбор данных из ОП и инициацию работы устройств блока обработки данных.

Блок обработки данных обеспечивает прием данных из ОП, помещает его на временное хранение в один из регистров, производит операции над данными и осуществляет пересылку результатов обработки в основную память.

На рисунке 5 приведена схема организации процессора.

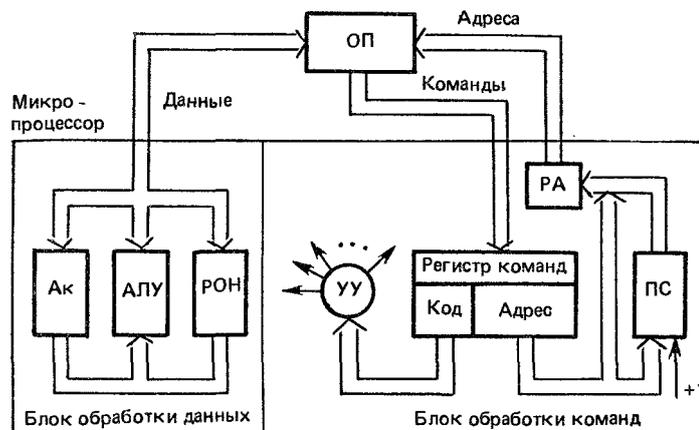


Рисунок 5. Типовая структура микропроцессора

В общем случае процессор имеет такие блоки, как: арифметико-логическое устройство (АЛУ), устройство управления (УУ), регистры общего назначения (РОН), регистр-аккумулятор, регистр команд, регистр состояния, программный счётчик.

Рассмотрим подробнее функциональное назначение каждого из названных устройств.

*Программный счётчик* предназначен для хранения адреса ячейки памяти, из которой будет извлекаться очередная команда. Цикл выполнения команды начинается с того, что микропроцессор выдает содержимое счетчика команд на адресную шину. Таким образом происходит выбор из памяти первой команды. Далее, как Правило, значение (состояние) счетчика команд шаг за шагом изменяется на единицу, что обеспечивает последовательную выборку команд из памяти. Однако в некоторых случаях содержимое программного счетчика может быть изменено самой программой. Так реализуется команда перехода. В этом случае адрес очередной команды загружается в счетчик команд непосредственно из регистра команд.

*Регистр команд* используется для хранения кодовой и адресной частей команды. В кодовой части содержится код операции, которую необходимо выполнить, в адресной — адрес ячейки памяти, содержащей операнд, с которым выполняется указанная операция.

Для осуществления выборки операнда из памяти необходимо, чтобы его адрес из адресной части регистра команд был передан на адресную шину микропроцессора. В случае выполнения команды перехода адрес, содержащийся в регистре команд, передается в счетчик команд. За счет этого происходит изменение порядка выполнения команд программы.

Код команды поступает сначала в дешифратор, затем в устройство управления, которое формирует сигналы управления работой всех устройств микропроцессора, принимающих участие в реализации команды.

*Арифметико-логическое устройство*, являющееся ядром микропроцессора, состоит из двоичного сумматора, сдвигающего регистра, логических схем и ряда регистров для временного хранения операндов. Аппаратные компоненты АЛУ позволяют реализовать несколько простейших операций, таких, как сложение, вычитание, сдвиг влево, обнуление, увеличение на единицу, логические операции И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ. Выполнение более сложных арифметических и логических операций достигается путем реализации в определенной последовательности серии элементарных операций.

*Устройство управления* выдает сигналы, необходимые для выполнения любой команды. Микрооперациями называются элементарные действия, которые способны

выполнять устройства, входящие в состав микропроцессора. Таким образом, можно сказать, что каждая команда микропроцессора реализуется в виде строго определенной последовательности микроопераций. Например, команда, предписывающая выполнение сложения чисел, содержащихся в двух регистрах, с помещением полученного результата в третий регистр будет включать в себя следующие микрооперации: выдачу содержимого первого регистра на один из входов АЛУ; выдачу содержимого второго регистра на другой вход АЛУ; выполнение в АЛУ сложения данных, поступивших на его входы; выдачу результата из АЛУ в третий регистр. Эти действия выполняются соответствующими блоками микропроцессора под воздействием сигналов, поступающих от УУ по управляющим шинам.

В зависимости от принципа формирования управляющих сигналов различают два способа организации управления в микропроцессорах и соответственно два типа УУ.

Первый способ называется «жестким», или схемным. Он характеризуется тем, что для каждого кода команды схемы УУ вырабатывают серии управляющих сигналов, которые формируются схемами устройства управления. Внесение даже незначительных изменений в процесс выполнения той или иной команды требует перестройки всей схемы УУ. По этой причине микропроцессоры с «жестким» способом управления («жесткой» логикой) рассчитаны на фиксированную систему команд, не допускающую ни изменений, ни дополнений. Это лишает микропроцессор необходимой эксплуатационной гибкости. Преимущество таких микропроцессоров состоит в их высоком быстродействии.

К второму типу УУ относятся микропрограммные устройства управления. Реализованный в них принцип управления называется микропрограммным. Он характеризуется тем, что каждой команде микропроцессора соответствует микропрограмма, хранящаяся в постоянном запоминающем устройстве. Микропрограмма состоит из микрокоманд, предписывающих выполнение определенных микроопераций. Таким образом, работа микропрограммного УУ сводится к тому, чтобы отыскать требуемую микропрограмму и последовательно выбирать из нее микрокоманды, которые преобразуются дешифратором в сигналы управления. В результате выполняемая команда заменяется соответствующей микропрограммой. Для изменения структуры команды необходимо внести изменения в соответствующую микропрограмму. Система команд микропрограммируемого микропроцессора определяется содержимым подключаемого к нему ПЗУ микрокоманд (ПЗУ МК). Сменив ПЗУ МК, можно полностью изменить систему команд МП. Недостаток микропрограммируемых МП — их относительно невысокое быстродействие, что объясняется многократным обращением к ПЗУ МК для выбора микрокоманд.

*Аккумулятор (регистр результата)* является одним из характерных элементов архитектуры современных микропроцессоров. Большинство существующих МП имеют одноадресную структуру команд (в команде указывается адрес только одного операнда). Для выполнения операций с двумя операндами необходимо один из операндов предварительно занести в аккумулятор. Второй операнд выбирается из памяти по адресу, содержащемуся в команде. После завершения выполнения операций в аккумулятор заносится результат.

*Регистры общего назначения (РОН)* предназначены для оперативного хранения операндов, кодов команд и адресов. Кроме того, они могут выполнять функции некоторых других специальных регистров, таких, как счетчик команд, указатель стека, аккумулятор и т. д. Программист имеет возможность адресоваться к любому РОН. Количество РОН в некоторых микропроцессорах может достигать до 64, однако увеличение числа РОН приводит к необходимости перевода их на отдельные интегральные схемы быстродействующей памяти.

Для расширения возможностей АЛУ и обеспечения хранения и обработки операндов в состав микропроцессора входит группа внутренних регистров, состоящая из нескольких регистров общего назначения, регистра команд, регистра адреса, регистра связи.

*Регистр адреса* предназначен для хранения адреса ячейки памяти, из которой должен произойти выбор информации. Если микропроцессор должен выполнить выбор команды, то

в регистр адреса помещается содержимое счетчика команд, т. е. адрес выбираемой команды. Для выбора данных адрес поступает в регистр адреса из адресной части регистра команд.

Рассмотренные выше устройства являются основой архитектуры любого микропроцессора. В состав современных микропроцессоров, как правило, включается еще ряд дополнительных устройств, значительно расширяющих их функциональные возможности.

*Стек* — это устройство, предназначенное для специального хранения информации, которое часто называют стековой (магазинной) памятью. При такой форме организации памяти доступ к данным осуществляется без указания их адреса при помощи операций занесения и выборки.

Как правило, в микропроцессоре не предусматривается памяти для хранения элементов стека, для этой цели отводится определенная часть ОЗУ. В микропроцессоре содержится только лишь регистр — указатель, стека, в котором хранится адрес последнего элемента стека. Специальные схемы, входящие в состав МП, обеспечивают автоматическое увеличение или уменьшение адреса в указателе стека на единицу в зависимости от того, какая команда выполняется по отношению к стеку.

*Мультиплексоры* — это устройства, входящие в состав микропроцессора и обеспечивающие подключение к одной шине нескольких независимых устройств (АЛУ, регистров). Каждый момент времени мультиплексор обеспечивает выход на шину только одного устройства. Выбор конкретного устройства осуществляется под воздействием управляющих сигналов, поступающих от УУ. На рисунке 6 показан принцип построения мультиплексоров при подключении нескольких устройств к входам АЛУ. Мультиплексор М1 обеспечивает подключение к входу А одной из трех шин — шины данных от памяти, от РОН и от аккумулятора. Через мультиплексор М2 на вход В подаются данные либо с шины внешних устройств, либо от аккумулятора.

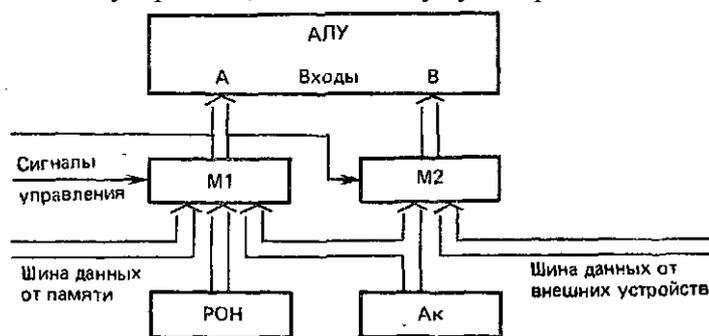


Рисунок 6. Принцип построения мультиплексора

*Буферные регистры адреса и данных* предназначены для временного хранения адресов и данных перед выдачей их на внешние устройства. Буферные регистры позволяют осуществлять с помощью магистральной шины обмен информацией между устройствами, входящими в состав микропроцессорной системы, что способствует сокращению числа выводов микропроцессора и подключаемых к нему внешних шин.

*Накопительный (временной) регистр* предназначен для временного хранения операндов или промежуточных результатов при выполнении арифметических и логических операций. Как правило, этот регистр используется только ОС и недоступен программисту.

*Индексный регистр* используется для некоторых видов косвенной адресации данных, при которых адрес операндов образуется путем сложения адреса, содержащегося в команде, с содержимым индексного регистра. Такой способ адресации дает возможность использовать одну\* и ту же команду программы для обработки данных из различных ячеек памяти только за счет изменения содержимого индексного регистра.

*Регистр признаков (регистр условий)* содержит набор одноразрядных признаков, которые отображают текущее состояние МП. Эти признаки являются основой для принятия

решений электронной вычислительной машиной. Современные микропроцессоры обеспечивают фиксацию 5—7 признаков. Наиболее распространенными из них являются следующие признаки: переноса; переполнения; дополнительного переноса; нуля; знака; прерывания; четности.

Все биты регистра признаков доступны программисту и могут быть им использованы для организации разветвлений (условных переходов), циклических процессов, управления прерываниями и т. п.

## Функционирование процессора

Взаимодействие указанных устройств микропроцессора удобнее всего рассмотреть в процессе выполнения какой-либо команды. Так, выполнение команды сложения будет состоять из приведенной ниже последовательности действий (см. рис. 2.6):

- передача текущего адреса из счетчика команд в регистр адреса;
- увеличение на единицу содержимого счетчика команд, т. е. установление адреса следующей команды;
- поступление адреса команды из регистра адреса на адресные входы схемы памяти, что обеспечивает выборку адресуемой ячейки памяти и передачу ее содержимого на соответствующий вход микропроцессора;
- занесение выбранной из памяти команды в регистр команд;
- дешифрирование кодовой части команды и поступление ее в устройство управления, в котором на основании полученного кода формируются управляющие сигналы, обеспечивающие настройку схем блока обработки данных на выполнение заданной команды (в нашем примере — сложения);
- поступление адресной части команды в регистр адреса;
- выбор данных из памяти по адресу, содержащемуся в регистре адреса (аналогично третьему действию);
- так как выбранная информация является операндом, то она поступает на один из входов АЛУ, на другой вход поступает число из аккумулятора;
- выполнение операции сложения, передача результата в аккумулятор.

Заметим, что выполнение команды сложения можно осуществить только в том случае, если предварительно первое слагаемое было занесено в аккумулятор. Для выполнения команды сложения процессору требуется два машинных цикла. Во время первого цикла происходит обращение к памяти для извлечения команды и ее обработка, во время второго — извлечение из памяти операнда и выполнение операции сложения.

Особенности реализации команд передачи управления рассмотрим на примере команды безусловного перехода. Для выполнения этой команды устройством микропроцессора потребуется произвести такую последовательность действий:

- выдача текущего адреса из счетчика команд в регистр адреса;
- увеличение значения счетчика команд на единицу;
- выбор команды из памяти по адресу, содержащемуся в РА;
- помещение выбранной команды в РК;
- расшифровка кода операции и формирование сигналов управления;
- передача адресной части команды из РК в программный счетчик (ПС).

В результате в ПС устанавливается адрес не следующей по порядку команды программы, а той, которой передается управление. *Выборка* — первая фаза реализации команды — одинакова для всех команд. *Исполнение* — вторая фаза — уникальна.

## Типы управления

## Способы обмена информацией

Среди способов организации связи элементов внутри модулей и между модулями в системе можно выделить два: с помощью произвольных связей, реализующих принцип «каждый с каждым», и с помощью упорядоченных связей (магистральный), позволяющий минимизировать число связей.

Магистральный способ обеспечивает обмен информацией между функциональными и конструктивными модулями различного уровня с помощью магистралей, объединяющих входные и выходные шины.

В МПС обычно выделяются следующие магистрали: шины данных, адресные шины и шины управления. Магистральный способ обмена позволяет минимизировать количество связей между блоками, повысить регулярность операционного устройства и устройства управления, обеспечить стандартизацию интерфейсов, сократить число выводов БИС.

## Примеры процессоров

На рисунке 7 изображена структурная схема процессора КР580ИК80.

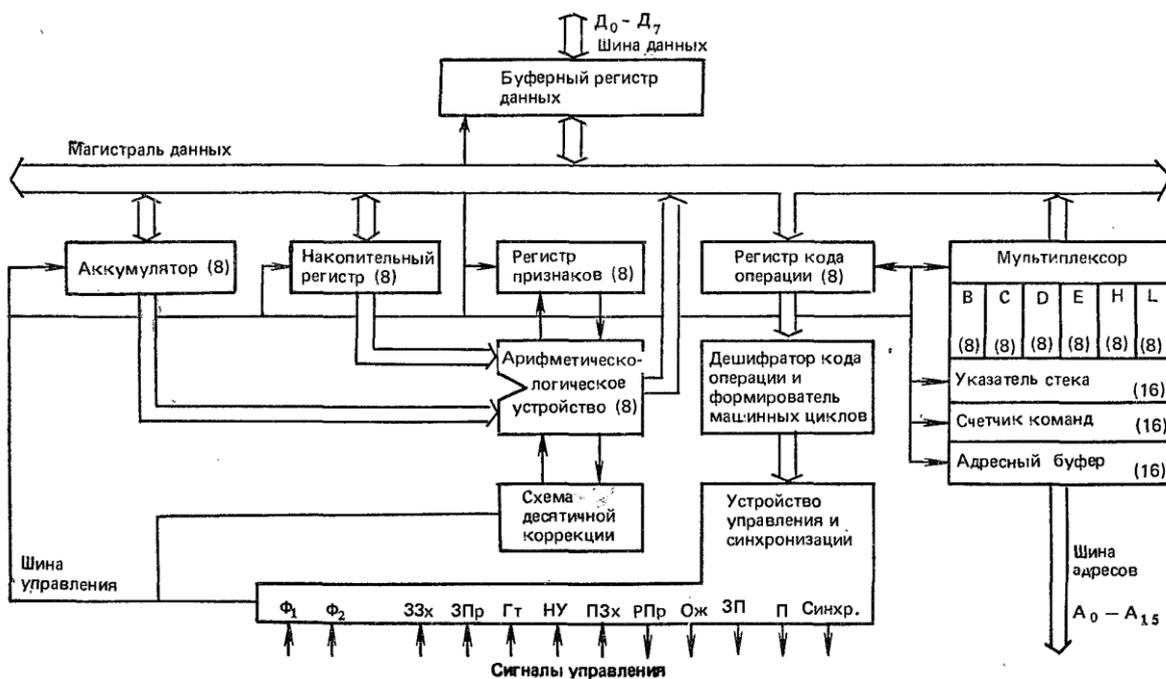


Рисунок 7 – структурная схема процессора КР580ИК80

## Контрольные вопросы для самопроверки

- 1) Что такое команда?
- 2) Какие группы команд можно выделить по функциональному назначению?
- 3) Из каких частей состоит команда?
- 4) Охарактеризуйте команды пересылки данных.

- 5) Назовите разновидности команд передачи управления и ввода-вывода.
- 6) Дайте характеристику основным блокам и устройствам микропроцессора.
- 7) Укажите принципы организации микропроцессора.
- 8) Назовите основные виды сигналов управления и их функциональное назначение.
- 9) Объясните принцип работы стека. Что даёт наличие стека?
- 10) Каковы функции блока обработки команд?
- 11) Какие элементы входят в состав блока обработки команд?
- 12) Каковы функции блока обработки данных?
- 13) Какие элементы входят в состав блока обработки данных?