

# Архитектура ЭВМ и систем

## *Лекция № 12*

### Организация микроконтроллеров и микроконтроллерных систем

# План лекции

1. Общие сведения о системах управления.
2. Организация микроконтроллеров.
3. Области применения и тенденции развития МК.

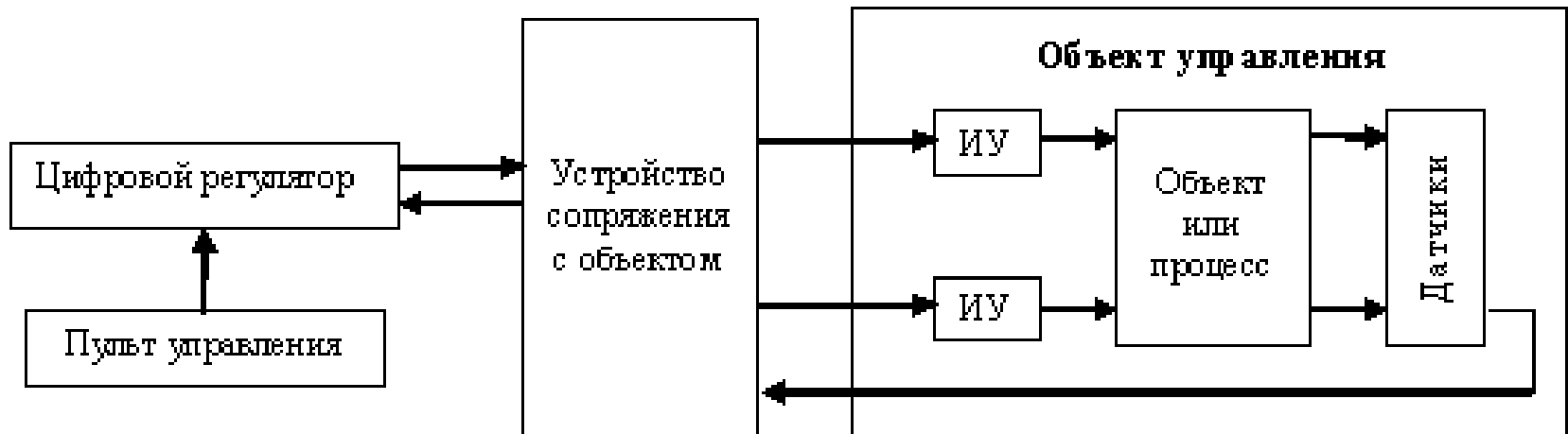
# Общие сведения о системах управления

Ещё одним направлением развития ВС на кристалле являются *микроконтроллеры (МК)* и ВС на их основе – *микроконтроллерные системы (МКС)*, работающие в режиме реального времени.

В состав типового контроллера входят следующие компоненты:

1. Объект управления (ОУ);
2. Устройство сопряжения с объектом (УСО);
3. Пульт управления;
4. Цифровой регулятор.

# Общие сведения о системах управления



*Обобщённая структура  
типового контроллера*

# Общие сведения о системах управления

- *ОУ* - содержит собственно объект или процесс, исполнительные устройства (ИУ) и систему датчиков контролируемых параметров объекта.
- *УСО* - используется для связи цифрового регулятора с датчиками и ИУ, а также обеспечивает согласование сигналов (управляющих и информационных) цифрового регулятора и ОУ.
- *Пульт управления* - предоставляет оператору возможность контролировать параметры ОУ и при необходимости вносить в него коррективы.
- *Цифровой регулятор* - устройство, которое получает необходимую информацию о текущем состоянии ОУ от датчиков, и, в соответствии с заложенным в него алгоритмом управления, вырабатывает управляющие воздействия, поступающие на ОУ через ИУ.

Особенностью работы цифровых регуляторов в контроллерах является то, что все операции, связанные с ОУ, должны выполняться в реальном масштабе времени при постоянном информационном взаимодействии регулятора с ОУ.

# Общие сведения о системах управления

В основу организации управления заложена модель реально протекающего дискретного процесса.

Реальное непрерывное время делится на кванты  $\tau$ , длительность кванта задаётся в зависимости от инерционности объекта. В цифровых регуляторах деление времени на кванты осуществляет таймер.

Последовательность квантов, отражающая течение времени, нумеруется: Для программного управления объектом при работе с моделью минимально необходимы три компонента:

- 1) идентификация текущего состояния модели  $q(i)$  на основе показаний датчиков;
- 2) расчёты, связанные с определением следующего состояния  $q(i+1)$ ;
- 3) формирование управляющих воздействий на ИУ, обеспечивающих переход в состояние  $q(i+1)$ .

# Общие сведения о системах управления

По сигналу от таймера происходит прерывание выполняемой в фоновом режиме программы, и осуществляется переход к программам идентификации состояния объекта, расчёта следующего состояния, формирования управляющих воздействий и вывода их на объект. Выполнение этих программ должно завершиться раньше, чем закончится квант.

В оставшуюся часть кванта времени выполняются программы, имеющие более низкий приоритет. Процессы периодически повторяются.

Привязка инициализации приведённых выше процессов к сигналам от таймера и обеспечивает работу системы управления объектом в режиме реального времени.

# Общие сведения о системах управления

Для управления сложными распределёнными в пространстве объектами организуют аппаратно-программные управляющие комплексы с иерархической (двух- или трёхуровневой) структурой.

На верхнем уровне находятся ВМ, выполняющие роль пультов управления.

На нижних уровнях находятся ВМ, непосредственно осуществляющие сбор информации от датчиков, её обработку и формирование управляющих сигналов.

Если ОУ находится на значительном расстоянии, то помощью встраиваемых систем на базе МК осуществляется первичная обработка сигналов в непосредственной близости от ОУ, и реализуются алгоритмы локального управления без выхода на ВМ.

Обмен между МК и ВМ более высокого уровня выполняется с использованием передачи сообщений на базе стандартных каналов связи.



# Организация микроконтроллеров

Под ***встраиваемой системой управления*** будем понимать систему управления, пространственно приближенную к датчикам и ИУ и конструктивно интегрированную в оборудование – механизм, технологическую установку, робот и пр.

***МК*** – это программируемое однокристальное вычислительное устройство со встроенным набором средств для ввода и вывода, применяемое для решения задач управления и первичной обработки данных в технических системах.

В отличие от универсальной микро-ЭВМ, МК имеют значительно меньший объём памяти и менее разнообразный состав внешних устройств, реализуют несложные алгоритмы.

# Организация микроконтроллеров

Встраиваемые средства на базе МК относительно просты, имеют низкую стоимость, малые размеры. Обычно на них возлагают следующие функции:

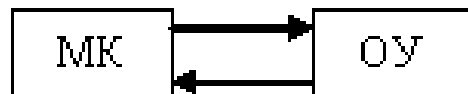
- 1) сбор, первичную и преобразование сигналов датчиков объекта в сообщения стандартного формата, передачу их в ВМ;
- 2) приём, накопление и трансляцию команд управления от ВМ;
- 3) самодиагностику и первичную диагностику объекта.

В зависимости от сложности задач встраиваемые системы управления бывают *одноуровневыми* и *многоуровневыми*.

В последнем случае на нижнем уровне управления решаются задачи локального управления отдельными подсистемами, а на более высоких – общие задачи управления системой в целом.

Одноуровневые системы управления реализуются, как правило, на базе МК, а при построении многоуровневых систем на верхних уровнях используются ВМ для обеспечения интерфейса с человеком-оператором.

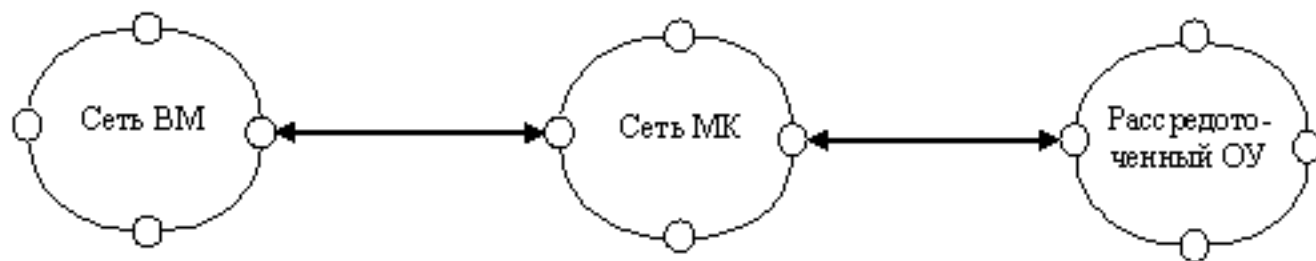
# Организация микроконтроллеров



*Автономная МКС*



*Локальная МКС*



*Сетевая МКС*

*Типы МКС*

# Организация микроконтроллеров

Автономные системы управления являются самыми простыми и дешёвыми, но их возможности ограничены.

Более сложные локальные МКС обладают большими возможностями при управлении объектами различной природы.

Наиболее сложными системами управления являются МКС сетевой конфигурации с распределённым многоуровневым управлением (сеть ВМ и сеть МК) и распределённым (рассредоточенным) ОУ.

# Организация микроконтроллеров

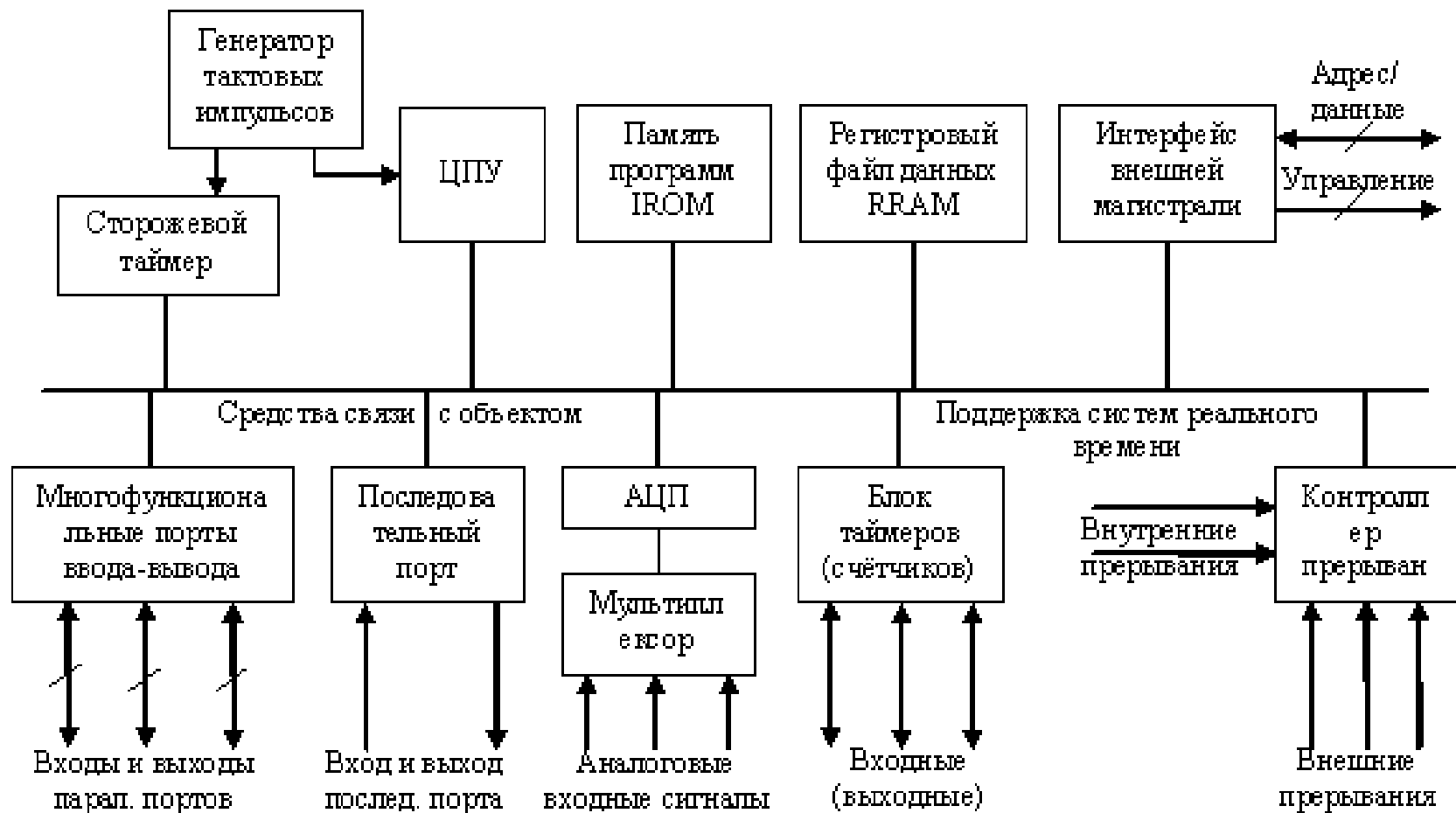
По общим архитектурным принципам все МК объединяют в семейства. Все МК одного семейства имеют одинаковое ядро: систему команд, организацию памяти команд и памяти данных, базовый набор внутренних ПУ и систему прерываний.

Типичный МК содержит в своём составе процессорное ядро с развитой системой команд, память программ IROM, регистровый файл (память) данных RRAM, а также набор программируемых интерфейсных схем, выполняющих ряд важных функций внутри МК и обеспечивающих связь с внешней средой.

Большинство из перечисленных блоков являются обязательными компонентами любого МК, некоторые, например, память IROM, могут отсутствовать.

Состав и назначение интегрированных на кристалле ПУ определяется областью применения МК. Поэтому эти средства делаются многофункциональными, с программной настройкой на тот или иной режим работы. При инициализации МК информация о типе настройки заносится в специальные регистры и в процессе дальнейшей работы МК обычно не меняется.

# Организация микроконтроллеров



*Функциональная схема МК*

# Организация микроконтроллеров

**1. ЦПУ** представляет собой  $n$ -разрядный микропроцессор с фиксированной разрядностью и списком команд.

Основой ЦПУ является операционный блок, включающий АЛУ и файл регистров. Взаимодействие отдельных блоков МК, как внутри ЦПУ, так и с внутренними ПУ, осуществляется по внутренней шине. В МК применяются как одноадресные, так и многоадресные ЦПУ (см. лекцию 4).

Система команд типового МК ориентирована на решение задач управления, алгоритмы большей частью обеспечивают контроль состояния объекта и реализацию функций логического управления.

Доля вычислительных алгоритмов в таких задачах относительно невелика.

# Организация микроконтроллеров

Наряду с традиционными группами команд (пересылок, арифметических, логических и пр.), система команд МК обычно включает команды операций над отдельными битами.

В МК применяются режимы прямой и косвенной адресации.

Почти все команды МК выполняются за один такт машинного времени, что позволяет повысить его производительность. В нормальном режиме работы конвейера параллельно выполнению текущей команды производится выборка и декодирование следующей. При выполнении команд переходов в работе конвейера возникает разрыв; время выполнения команды увеличивается на 2 – 4 такта.

Начало выполнения программы инициируется сигналом сброса, после которого МК обращается к адресу стартовой команды. В ходе выполнения программы МК выполняет команду за командой, пока не дойдёт до команды останова.



# Организация микроконтроллеров

**2. Память МК.** Согласно Гарвардской структуре ВМ, память МК физически, а часто и логически, разделена на память команд (программ) и память данных.

Объём памяти *IROM* может варьироваться от 1 до 32 Кбайт, а в некоторых моделях МК вообще может отсутствовать. В современных МК в качестве IROM могут использоваться различные ПЗУ (однократно и многократно программируемые).

*Регистровый файл данных RRAM* в большинстве случаев состоит из ОП общего назначения и области регистров специальных функций SFR (Special Functions Registers). Набор SFR определён для каждого типа МК. Регистры SFR управляют внутренними ПУ МК, фиксируют их состояние и выполняют некоторые другие функции.

Некоторые МК, помимо RRAM, содержат дополнительно небольшую внутреннюю память *IRAM* (128 – 512 байт), в которой могут храниться как данные, так и команды. При этом появляется возможность модификации программы в процессе её выполнения.

# Организация микроконтроллеров

**3. Параллельные порты ввода – вывода** используются для связи МК с ОУ. Они позволяют непосредственно вводить в МК и выводить из него данные в виде параллельного цифрового кода.

Важной особенностью параллельных портов является возможность программирования отдельных разрядов (линий порта) для выполнения альтернативных функций.

В современных МК в дополнение к стандартному вводу-выводу, реализуемому параллельными портами, обработка дискретных сигналов осуществляется с помощью **блоков быстрого ввода – вывода**. Они осуществляют ввод – вывод дискретных сигналов без непосредственного участия ЦПУ.

# Организация микроконтроллеров

**4. Последовательные порты.** Обмен данными между МК и удалёнными датчиками и ИУ, как правило, осуществляется по последовательному каналу с последовательных портов.

Обычно в структуру МК обязательно встраивается универсальный асинхронный приёмопередатчик, поддерживающий протокол стандарта RS-232C.

Важным назначением последовательного порта является организации связи с другими локальными регуляторами и ВМ верхнего уровня управления в многоуровневых системах управления.

# Организация микроконтроллеров

**5. Встроенные средства ввода – вывода аналоговых сигналов** обеспечивают связь МК с аналоговыми датчиками и ИУ ОУ. С их помощью входные аналоговые сигналы от датчиков преобразуются в цифровой код для последующей обработки ЦПУ, а также проводится формирование аналоговых управляющих воздействий.

Для преобразования аналоговых сигналов в цифровой код используются аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Обратное преобразование может выполняться с помощью внешних цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП).

# Организация микроконтроллеров

**6. Блок таймеров**, как правило, содержит несколько таймеров общего назначения, сторожевой таймер, а также блоки быстрого ввода – вывода.

*Таймеры общего назначения* используются для отсчёта интервалов реального времени и привязки к нему и привязки к нему отдельных программных событий.

*Блок быстрого ввода – вывода HSIO* (High Speed Input-Output) предназначен для регистрации входных и генерации выходных событий в реальном времени. Здесь событие – изменение входного или выходного сигнала на внешнем выводе МК.

*Сторожевой таймер WDT* (Watchdog Timer) используется для контроля длительности  $t$  между некоторыми событиями. Если ожидаемое событие не наступит в пределах интервала  $t$ , то таймер вызывает прерывание программы, при этом формируется внутренний сигнал сброса МК и осуществляется перезапуск управляющей программы.

# Организация микроконтроллеров

**7. Встроенная система прерываний** позволяет отказаться от непрерывного контроля состояния большого количества датчиков. Она обеспечивает автоматический запуск различных процедур обслуживания от внешних и внутренних устройств МКС. Система прерываний МК реализуется с помощью размещённого на кристалле контроллера прерываний.

Следует отметить, что несмотря на непрерывное развитие и появление большого количества новых МК, функциональная организация МК практически не меняется.

# Области применения и тенденции развития МК

Можно выделить два больших класса задач, которые решают встраиваемые системы:

- 1) управление событиями в реальном времени;
- 2) управление потоками данных.

# Области применения и тенденции развития МК

К *первому классу* относятся задачи, требующие быстрой реакции МКС на изменение внешних условий (сигналы датчиков, изменение параметров и пр.), что требует применения МК со встроенными памятью программ и памятью данных, большим объёмом внутренних ПУ, портов ввода – вывода, системой команд, включающей битовые операции.

К системам управления первого класса относятся системы управления технологическим оборудованием, системы управления устройствами промышленной автоматики, распределённые системы и т.п.

Ко *второму классу* относятся задачи, требующие быстрой обработки значительных объёмов информации, например, задачи, характерные для систем управления бортовым оборудованием, систем обработки видеоизображений и др. В таких системах, как правило, используются 16- или 32-разрядные МК семейств 80C186, 386EX и пр.



# Области применения и тенденции развития МК

В настоящее время в дополнение к МК общего назначения активно развиваются два направления в развитии элементной базы МК.

Первое направление характеризуется развитием МК для сложных встраиваемых систем управления, в которых функциональная сложность решаемых задач сопоставима с возможностями ПК. Это направление связано с применением 16- и 32-разрядных МК, их усложнением.

Второе направление, напротив, связано с некоторым «упрощением» функциональных возможностей МК. Подобные МК используются в тех случаях, когда требуется обеспечить небольшие габариты и низкую стоимость встраиваемых систем управления несложными объектами.

МК широко применяются в таких областях массового производства, как бытовая аппаратура, станкостроение, автомобильная промышленность, военное оборудование и т.д.