

---

## 7. Обмен данными по прерыванию

### Особенности режима прерываний

В системах реального времени широко используется режим программного управления (программирование по готовности, как, например, в системе сбора данных, рассмотренной в предыдущем разделе), поскольку он обеспечивает максимальную скорость приема информации. Однако, если регистрируемые события возникают относительно редко, такой режим становится неэффективным по отношению к выполняемым действиям процессора, так как он в основном тратит время на опрос готовности внешнего устройства (ВУ). В этом случае предпочтительней является режим прерываний.

Если внешнее устройство работает в режиме прерываний, то в памяти микропроцессорной системы находятся две программы: фоновая (основная), которая может не иметь отношения к внешнему устройству, и программа обработки прерывания, обеспечивающая обмен информацией между процессором и внешним устройством. Процессор выполняет основную программу до тех пор, пока внешнее устройство не будет готово к приему или передаче данных, о чем оно сообщит ему сигналом по линии запроса прерывания. Процессор прервет выполнение фоновой программы и перейдет к выполнению программы обработки прерывания. После завершения обработки прерывания процессор вернется к выполнению основной программы в том месте, где она была прервана сигналом от ВУ.

Режим прерываний обеспечивает высокую эффективность использования времени процессора: если ВУ не готово к обмену информацией, он выполняет основную программу. В режиме прерываний процессор может обслуживать параллельно любое количество внешних устройств. Каждому ВУ соответствует своя программа обработки прерывания. При этом возможны вложенные прерывания, когда сигнал прерывания от другого ВУ поступает на процессор, уже выполняющего программу обработки прерывания. Возврат в основную программу осуществляется в обратном порядке, по мере завершения выполнения обработки вложенных прерываний. Использование в системе прерываний приоритетов позволяет организовать обслуживание внешних устройств в порядке важности. В первую очередь обслуживаются устройства с максимальным приоритетом - сигнал прерывания от устройства с меньшим приоритетом не сможет прервать обработку его прерывания.

При переходе процессора на выполнение программы обработки прерывания от ВУ обычно реализуется следующая последовательность действий:

- 1) Внешнее устройство запрашивает прерывание.
- 2) После завершения текущей команды и при наличии разрешения процессор выдает сигнал подтверждения прерывания.
- 3) Запоминается содержимое счетчика команд (адрес следующей команды) и осуществляется переход по адресу подпрограммы обслуживания прерывания.
- 4) В подпрограмме запоминается, при необходимости, содержимое внутренних регистров (рабочих и состояния) и выполняется тело подпрограммы.
- 5) После выполнения подпрограммы восстанавливаются внутренние регистры, и осуществляется возврат к выполнению прерванной программы.

В микропроцессорных системах используется два метода реализации приведенной последовательности: прерывание с опросом и прерывание по вектору. В первом случае опрашивается каждое внешнее устройство, пока не обнаружится то, которое запрашивает прерывание. Далее происходит переход на соответствующую подпрограмму обслуживания прерывания. При этом методе приоритет устройства определяется его местом в последовательности опроса.

В случае прерывания по вектору при получении запроса от внешнего устройства управление передается непосредственно соответствующей подпрограмме обслуживания, т.е. устройство распознается сразу же после поступления сигнала подтверждения прерывания. Вектор прерываний представляют собой массив адресов программ обработки прерываний. При успешном выполнении прерывания внешнее устройство сообщает процессору адрес точки входа в вектор прерываний, а процессор, в свою очередь, использует этот адрес для передачи управления соответствующей программе обработки.

### **Программируемый контроллер прерываний**

Для организации связи внешнего устройства с микропроцессором по прерыванию в микропроцессорных системах используется специализированные контроллеры прерываний, позволяющие существенно

сократить средства программного обеспечения режима прерываний, а также реальные затраты времени при выполнении многоуровневых прерываний. Одним из широко используемых подобных БИС является программируемый контроллер прерываний KP580BH59A, обслуживающий до 8 запросов на прерывание с возможностью расширения до 64 путем их каскадного соединения и обеспечивающий сменяемую программно приоритетность поступающих запросов.

Структурная схема контроллера приведена на рис. 7.1.



Рис. 7.1. Структурная схема программируемого контроллера прерываний

Запросы от внешних устройств IR поступают в регистр запросов прерываний (РЗПР), предназначенный для их записи и хранения. Запись в соответствующий разряд РЗПР происходит при изменении на соответствующем входе БИС напряжения от низкого до высокого уровня. IR0...IR7 - индивидуальные асинхронные входы, на которых напряжение высокого уровня должно удерживаться до получения первого импульса низкого уровня на входе INTA'. Разряд РЗПР, соответствующий обслуживаемому запросу, при поступлении второго импульса INTA' возвращается в исходное состояние. Содержимое регистра РЗПР может быть считано на шину данных.

Регистр обслуженных запросов (РОЗПР) предназначен для хранения сигналов, пропущенных схемой маскирования обслуживаемых в данный момент запросов прерываний, поступающих в РЗПР от внешних устройств. Соответствующий разряд РОЗПР устанавливается в 1 после поступления второго импульса INTA', и он сохраняет свое состояние до получения команды *Конец прерывания*. Содержимое РОЗПР может также быть прочитано микропроцессором.

Схема маскирования запросов прерывания и анализа их по приоритету (МЗПР) взаимодействует с регистрами РЗПР и РОЗПР - она разрешает или запрещает прохождение сигналов с выхода РЗПР в соответствии с заданной маской или по уровню их приоритета. Код маски записывается в регистр и хранится там до записи новой маски или до установки микросхемы в исходное состояние. Сигналы, прошедшие схему маскирования, анализируются по уровню их приоритета. Запросы с более высоким уровнем приоритета, занесенные в РОЗПР по мере их обслуживания, запрещают прохождение через МЗПР равных или низших по уровню приоритета запросов. Для разрешения их прохождения необходимо выполнить или команду *Конец прерывания*, или команду специального маскирования.

Устройство чтения-записи, на которое подаются сигналы RD', WR', A0 позволяют записать команды в различные регистры контроллера и считать их содержимое на шину данных. Напряжение низкого уровня на входе WR' позволяет записывать управляющие слова команд инициализации и операции. Напряжение низкого уровня на входе RD' позволяет считать содержимое РЗПР, РОЗПР, либо двоично-десятичный код запроса прерывания.

Устройство управления предназначено для выдачи сигнала INT после поступления одного или нескольких запросов на входы IR0...IR7. Оно выдает также управляющие сигналы для формирования команды CALL.

Устройство каскадирование расширяет число входов обслуживаемых запросов до 64.

Буферная схема шины данных, 8-разрядная, двунаправленная с тремя состояниями, соединяет контроллер с системной шиной данных посредством выводов D7...D0. При программировании контроллера через нее записываются управляющие слова и считывается служебная информация. В режиме прерываний по запросу в процессе подтверждения (поступления трех импульсов INTA') через буферную схему в системную шину данных выдается трехбайтовая команда CALL. В

остальное время выходы буфера находятся в высокоимпедансном состоянии.

Контроллер реализует оба указанных метода прерываний путем программной установки его в соответствующий режим работы. Причем, режим работы, соответствующий методу прерывания с опросом, называется обслуживанием по результатам опроса, а методу прерываний по вектору - обслуживанием по запросу.

В режиме обслуживания по результату опроса блокируется выход INT, поскольку микропроцессор сам является инициатором опроса. В этом случае по каждому сигналу RD', поступающему после команды *Обслуживание по результатам опроса*, при наличии запросов считывается код номера запроса, имеющего наивысший в данный момент уровень приоритета.

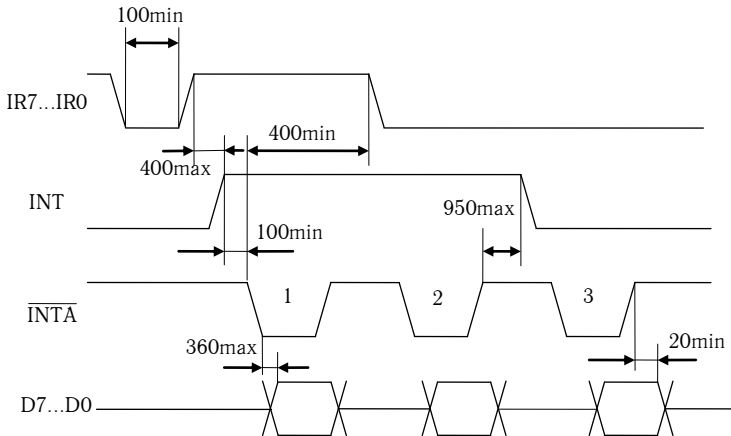


Рис. 7.2. Временные диаграммы режима обслуживания прерываний по запросу

В режиме обслуживания по запросу, временные диаграммы для которого изображены на рис. 7.2, контроллер, получая запросы от внешнего устройства, запоминает их, выделяет запрос с высшим уровнем приоритета, сравнивает его по уровню приоритета с зарегистрированными в РОЗПР и, если уровень приоритета выделенного запроса оказывается выше, чем у зарегистрированных, выдает для микропро-

цессора сигнал INT. После получения со стороны МП сигнала подтверждения прерывания INTA' контроллер вырабатывает адрес входа в вектор прерываний, т.е. начальный адрес подпрограммы обслуживания того устройства, которое вызвало выдачу сигнала INT. Это осуществляется путем посылки в МП трехбайтовой команды CALL.

При получении сигнала INTA' контроллер выдает на шину данных кодовой комбинацией 11001101 (код команды CALL для МП КР580). Этот код инициализирует со стороны микропроцессора еще 2 сигнала INTA', которые позволяют послать на шину данных сформированный контроллером адрес - сначала младший, а затем старший байты.

Установка контроллера в исходное состояние, задание алгоритма обслуживания прерываний выполняется с помощью определенных команд. Контроллер прерываний КР580ВН59А выполняет также следующий набор операций:

1) операции маскирования: индивидуальное маскирование запросов, специальное маскирование (снятие действия этого запроса на запросы с более низким приоритетом);

2) операции установки статуса уровней приоритета: по установке в исходное состояние, по обслуженному запросу, по указанию;

3) операции конца прерываний: обычный конец прерывания (устанавливается в 0 разряд РОЗПР, соответствующий последнему обслуженному запросу), специальный конец прерывания (устанавливается в 0 указанный разряд РОЗПР);

4) операция чтения: чтение регистра запросов, регистра обслуживаемых запросов, регистра маски.

При поступлении запросов на контроллер он определяет, какое из них обладает наивысшим приоритетом. При этом уровни приоритетов входов IR0...IR7 заранее заданы и находятся всегда в строго определенном отношении друг с другом, задаваемым приоритетным кольцом. При установке в исходное состояние наивысшим приоритетом обладает вход IR0, а самым низким, называемым дном приоритетного кольца - вход IR7. В процессе работы дно приоритетного кольца может произвольно устанавливаться.

Многоуровневое обслуживание прерываний

Число обслуживаемых запросов может быть увеличена до 64 путем соединения аналогичных микросхем с помощью специальной шины CAS0...CAS2, как изображено на рис. 7.3. При этом в зависимости от подачи соответствующих сигналов на выходы MS/SV' одна из них выступает в качестве ведущей, а другие - в качестве ведомых. Предварительно каждой ведомой микросхеме присваивается номер (посредством записи в нее командного слова), который должен быть равен номеру входа IR ведущей микросхемы, с которым соединен вывод INT ведомой микросхемы.

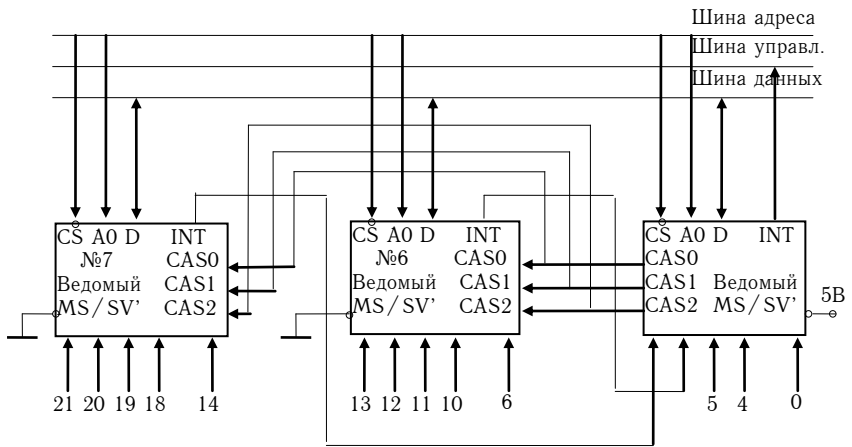


Рис. 7.3. Схема каскадного соединения БИС КР580ВН59А

Если сигнал INT, поступивший на процессор, выработан сигналом IR, поданным на вход ведущей микросхемы, то формирование трехбайтовой команды CALL осуществляется той же БИС. Если же прерывание процессора происходит от сигнала, поступившего на ведомую БИС, то формирование команды CALL происходит следующим образом. При поступлении первого подтверждающего сигнала INTA' ведущая микросхема выдает на шину данных код команды CALL, а на шину CAS0...CAS2 - код номера ведомой БИС. Поэтому, с приходом остальных двух сигналов INTA' код адреса подпрограммы обслуживания выдается на шину данных той ведомой БИС, запрограммированный номер которой совпал с кодом на шине CAS0...CAS2.

Организация прерываний в микроконтроллерах MCS51

Схема прерываний, реализованная в микроконтроллере, показана на рис. 7.4.

Внешние прерывания INT0', INT1' могут быть вызваны либо уровнем, либо переходом сигнала из 1 в 0 на соответствующих выводах микросхемы в зависимости от значений управляющих бит IT0, IT1 в регистре TCON. От внешних прерываний устанавливаются флаги IE0, IE1 в регистре TCON, которые инициируют вызов соответствующей подпрограммы обслуживания прерывания. Сброс этих флагов выполняется аппаратно только в том случае, если прерывание было вызвано по срезу сигнала. Если прерывание вызвано уровнем входного сигнала, то сбросом флагов IE управляет соответствующая подпрограмма путем воздействия на источник прерывания с целью снятия им запроса.

Флаги запросов прерывания от таймеров TF0 и TF1 сбрасываются автоматически при передаче управления подпрограмме обслуживания. Флаги запросов прерывания RI и TI устанавливаются блоком управления УАПП аппаратно, но сбрасываются программно.

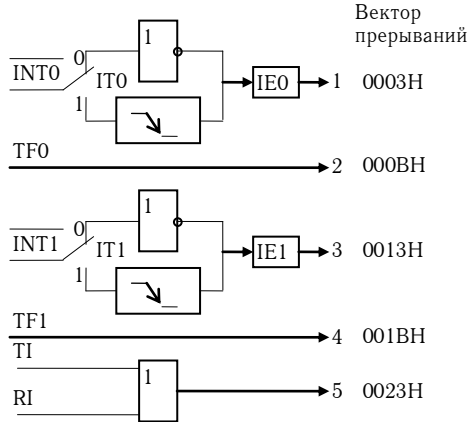


Рис. 7.4. Схема прерываний MCS51. Цифрами показан порядок опроса при равенстве приоритетов



Прерывания могут быть вызваны или отменены программой, так как все перечисленные флаги программно доступны и могут устанавливаться и сбрасываться из программы.

Для управления режимом прерывания и уровнями приоритета (всего их два - высший и низший) предназначены два регистра специальных функций IE и IP соответственно. Флаги прерываний опрашиваются в момент S5P2 каждого машинного цикла. Ранжирование прерываний по уровню приоритета выполняется в течение следующего машинного цикла.

Система прерываний аппаратно формирует вызов соответствующей подпрограммы обслуживания, если она не заблокирована одним из следующих условий:

- 1) в данный момент обслуживается запрос прерываний равного или более высокого уровня приоритета;
- 2) текущий машинный цикл - не последний при выполнении команды;
- 3) выполняется команда возврата из прерываний RETI или любая команда, связанная с обращением к регистрам IE, IP.

Вызов подпрограммы обслуживания происходит аппаратно-сформированным кодом команды LCALL с соответствующим адресом вектора прерываний, где располагается команда перехода JMP непосредственно в нужную программу. Возврат из подпрограммы осуществляется по команде RETI, которая восстанавливает сохраненный в стеке адрес возврата в основную программу и снимает блокировку прерываний.