

Локальные измерительно - вычислительные системы

4. Принципы построения программируемых средств измерений

Локальные измерительно-вычислительные системы

- 4. Принципы построения программируемых средств измерений**
 - 4.1. Основные виды программируемых измерительных преобразователей (ПриП)**
 - 4.2. Типовая структура программируемого измерительного канала**
 - 4.3. Принципы построения ИВС на базе магистрального параллельного интерфейса (МПИ).**
 - 4.4. магистральный параллельный интерфейс, режимы работы.**
 - 4.5. Программируемый измерительный прибор**

4.1 Основные виды программируемых измерительных преобразователей (ПриП)

К программируемым средствам измерений (СИ) относятся цифровые измерительные приборы, имеющие возможность системного применения – включения в измерительную систему. Такие СИ имеют возможности подключения к стандартному каналу системы и поддерживают правила обмена по этому каналу. Правила подключения СИ в систему входят в понятие интерфейса. Интерфейс во многом определяет эффективность построения и использования СИ.

ПриП имеют микропроцессорный блок управления, который управляет всеми модулями прибора (органы управления и отображения на лицевой панели, измерительные преобразователи и каналы прибора), поддерживает режимы обмена по каналу. Микропроцессорный блок управления может программироваться и перепрограммироваться с помощью специальных средств или через канал. Применение микропроцессоров значительно расширило возможности измерительных устройств, дало возможность реализации новых функциональных возможностей. Перечислим основные преимущества, которые дает применение микропроцессоров при создании измерительных средств:



Метрологические характеристики ПриП

1. Улучшение метрологических характеристик приборов. Наличие в составе прибора (измерительного канала) микропроцессора позволяет уменьшить систематическую и случайную составляющие погрешности.

Систематическая составляющая может быть уменьшена путем введения процедуры самокалибровки: корректируется аддитивная и мультипликативная составляющие систематической погрешности.

Влияние случайных погрешностей может быть уменьшено путем проведения многократных измерений.

2. Расширение возможностей приборов (реализация нескольких измерительных алгоритмов, перепрограммирование измерительных функций).

3. Повышение точности косвенных измерений (за счет выполнения вычислительных операций в цифровом, а не в аналоговом виде). Также могут быть осуществлены совместные и совокупные измерения, необходимые для исследования сложных объектов по многим показателям.



Технические характеристики ПриП

4. Получение статистических характеристик измеряемых величин (математическое ожидание, дисперсия).
5. Уменьшение габаритов и потребляемой мощности приборов (за счет сокращения числа корпусов интегральных микросхем в блоке управления).
6. Повышение надежности приборов (за счет уменьшения количества паек).
7. Сокращение продолжительности разработки (программирование или перепрограммирование устройства управления).
8. Облегчение задачи включения прибора в состав измерительной системы
(возможность организации накопления результатов в памяти микропроцессорного блока управления и реализации одного из системных интерфейсов).
9. Возможность получения математических функций от результатов измерений, в том числе расчета погрешности результатов.
10. Возможность осуществления динамических измерений и измерений с датированием.



Типовые структуры ПриП

Для выполнения перечисленных функций реализуются следующие структуры:

- микропроцессорная система со стандартной или специальной системой программирования; при этом блоки измерительного средства подключаются как внешние устройства, т.е. с использованием адресного пространства, отведенного для внешних устройств.
- контроллер с ограниченными возможностями (ограниченное адресное пространство – часть шин адреса отдается под адреса блоков измерительного средства, при этом емкость оперативной памяти сокращается).
- контроллер специального назначения – на базе программируемых БИС со специальным программным или микропрограммным обеспечением.

Структура первого типа целесообразна при разработке сложного многофункционального измерительного средства.

Вторая имеет меньшие возможности, но требует и меньших аппаратных затрат, она целесообразна при построении измерительных средств с малым числом блоков и измерительных функций.

Структура третьего типа направлена на оптимальное решение измерительной задачи, требует разработки программного обеспечения (системы команд, микрокоманд).

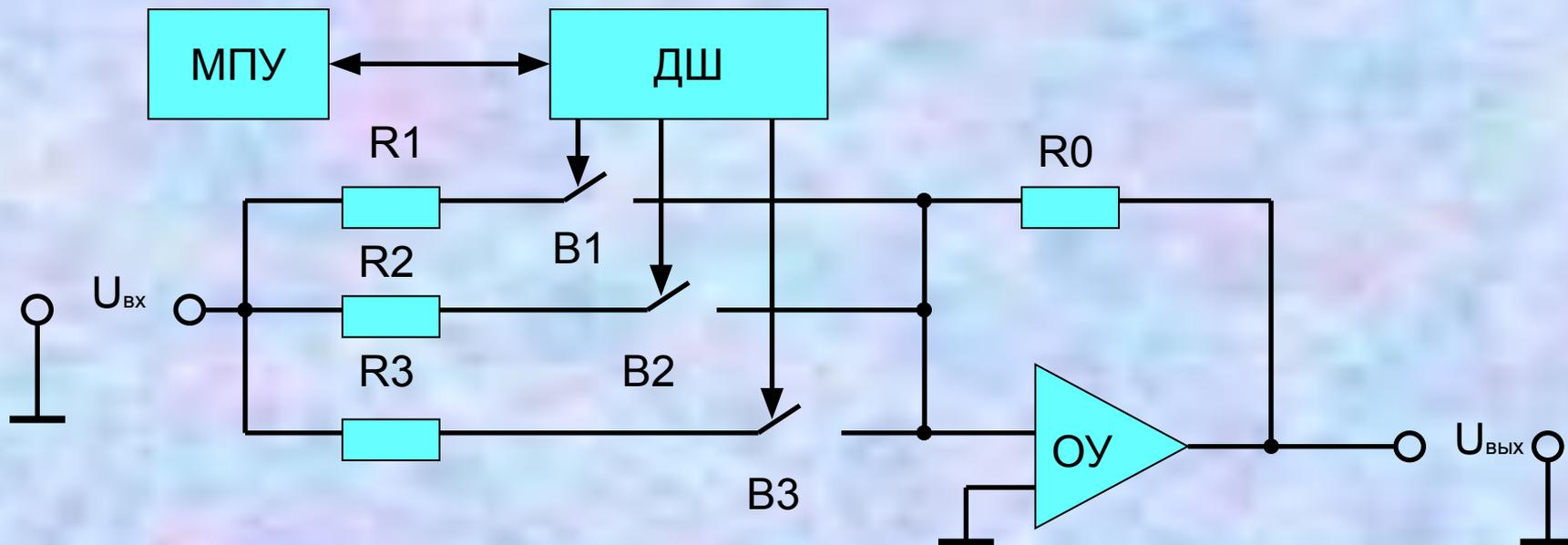
Программируемые приборы «аналог-цифра-аналог»

Эти приборы, по существу, представляют собой системы сбора, преобразования, обработки и распределения информации. В них, как правило, реализуется комбинация программируемых аналого-цифровых и цифроаналоговых приборов с общей микропроцессорной частью. Приборы этого класса имеют развитую систему программного обеспечения цифровой обработки сигналов.



Программируемые приборы «аналог-аналог»

Наиболее широко применяются измерительные усилители с программируемыми коэффициентами усиления

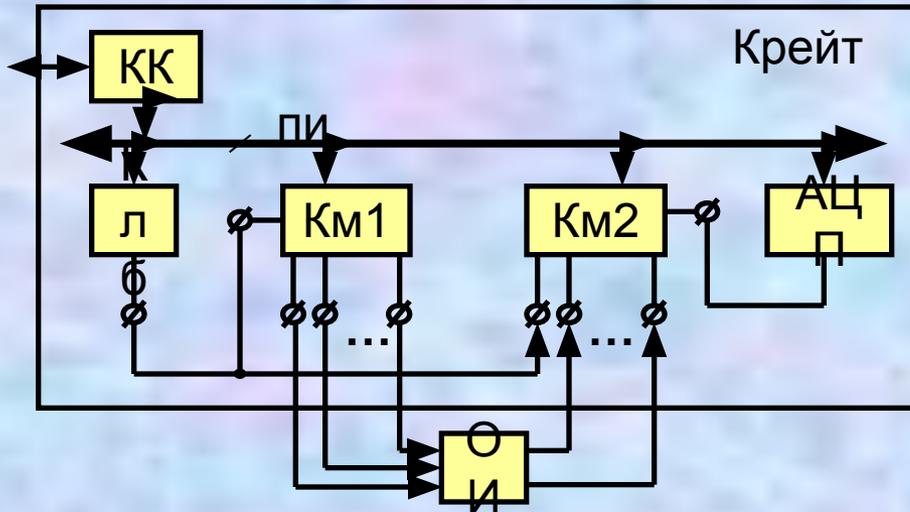


Сигнал, вырабатываемый дешифратором ДШ, замыкает один из ключей В, и тогда измерительный сигнал через соответствующий резистор поступает на вход операционного усилителя ОУ. Измерением номиналов резисторов обеспечивается переменный коэффициент передачи ОУ.

В подобных приборах объединяют ЦАП и ОУ, что позволяет “растягивать” отдельные участки измерения входного сигнала с целью подробного исследования, реализовать некоторые математические операции над входным сигналом в процессе его измерения, строить фильтры нижних частот, адаптирующихся к измерениям сигнала и помехам, и т.д.

4.2 Типовая структура программируемого измерительного канала

Измерительный канал представляет собой последовательность преобразований физических и числовых величин, в результате которых получается числовой эквивалент измеряемой физической величины с заданной погрешностью (в единицах этой величины).



На рисунке КК – контроллер крейта, Клб – калибратор, ОИ – объект исследования, ПИ – приборный интерфейс, Км1, Км2 – коммутатор 1, коммутатор 2, АЦП – аналогово-цифровой преобразователь.

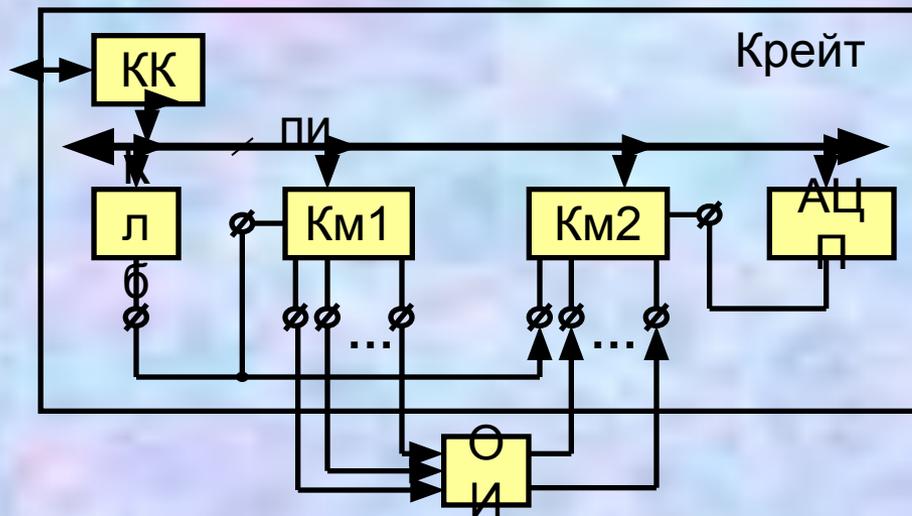
Любой измерительный канал предназначен для измерения величин. Типовая структура отличается тем, что проводя измерительный эксперимент канал должен иметь возможность выходить в любое время в режим самоаттестации. Для этого режима необходимы образцовые средства. В представленной схеме в качестве образцового средства выступает калибратор.

Коммутатор-устройство, которое обеспечивает заданный маршрут распространения информации.

Калибратор- прибор, предназначенный для генерации (воспроизведения) широкого спектра сигналов (тока, напряжения, частоты, сопротивления, емкости, индуктивности т.д.), калибровки широкого спектра портативных и стационарных приборов, таких как мультиметры, осциллографы, частотомеры, термометры, омметры, измерители емкости, фазометры, измерители мощности и прочие при помощи только одного калибратора. Встраиваемые и внешние опции позволяют расширить диапазон возможностей прибора.

Основные режимы работы ИК

1. Формирование сигналов воздействия (Клб, Км1).
2. Измерение неизвестных величин, поступающих от датчиков с ОИ (Км2, АЦП)
3. Периодическая аттестация измерительных средств (Клб, Км2, АЦП)



Калибратор



Программное обеспечение управления измерительным экспериментом.

Типовой состав программы управления измерительным экспериментом

1. Интерфейс пользователя: блок формирования исходных данных для проведения измерительного эксперимента, плана эксперимента.
2. Блок формирования сигналов воздействия на объект исследования.
3. Блок управления измерительным каналом (драйверов):
 - управление калибратором,
 - управление коммутаторами,
 - измерительным прибором (АЦП).

Драйвер-это программный модуль управления измерительным блоком (должен предусматривать все возможные ситуации при работе, иметь режимы нормального выхода и аварийного выхода с идентификацией аварийной ситуации).
4. Блок предобработки: проверка однородности результатов измерения, проверка на промах, оценка метрологических характеристик, проверка на стационарность и т.д.
5. Блок принятия решения об изменении плана эксперимента, о продолжении эксперимента: если да перейти к п.1 или п.2, если нет – к п.6.
6. Блок обработки и представления результатов эксперимента: определение характеристик сигналов, характеристик объекта исследования, вывод результатов на устройства отображения информации, устройства документирования и архивирования.

4.3 Магистральный параллельный интерфейс (МПИ)

Понятие интерфейса широко используется в измерительно-вычислительных системах.

Интерфейс-это комплекс средств и правил, обеспечивающих взаимодействие модулей системы.

Существуют понятия аппаратных, программных, аппаратно-программных, интеллектуальных интерфейсов, интерфейса пользователя и др.

В соответствии с международным стандартом **OSI/ISO** различают семь уровней организации интерфейса: прикладной, представительный, сеансовый, транспортный, сетевой канальный, физический.

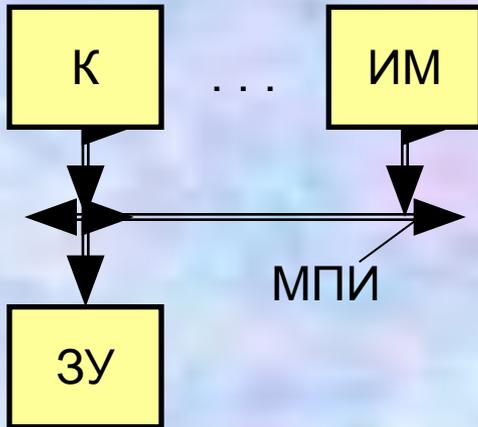
Структура интерфейсов программируемых измерительных средств определяется физическим и канальным уровнями. Различают **радиальный** и **магистральный** принципы построения физического уровня интерфейса, **параллельный** или **последовательный** принцип передачи данных.

Рассмотрим принципы организации магистрального параллельного интерфейса (МПИ).

Магистральный принцип имеет минимальные аппаратные затраты, т.к. в таких интерфейсах все устройства подключаются к одним и тем же шинам физического уровня интерфейса, а взаимодействие модулей системы определяется стандартными правилами – временными диаграммами передачи данных. Магистральный принцип построения измерительных средств получил наибольшее распространение.

Параллельный принцип передачи информации обеспечивает передачу данных, адресов и команд параллельным кодом по параллельным шинам (проводам). Количество шин равно разрядности передаваемой информации. Для передачи управляющих сигналов предусмотрены специальные шины, причем количество шин в различных модификациях интерфейсов разное и, как правило, определяется выбранным стандартом или фирмой производителем.

Структура МПИ



ЗУ – запоминающее устройство.

К – контроллер.

ИМ – измерительный модуль.

Структура средства измерения, построенного на базе магистрального интерфейса, показана на схеме.

Измерительные модули (ИМ) подключаются к одним и тем же шинам (проводам) интерфейса. Устройство управления – контроллер – также подключается к этим шинам.

Контроллер управляет работой ИМ с помощью команд, передаваемых по магистральному интерфейсу. ИМ обмениваются информацией с контроллером и между собой также по магистральному интерфейсу. Для выполнения операций обмена интерфейс имеет физический и канальный уровни.

На шинах интерфейса могут выполняться следующие операции:

1. **Чтение (Чт);**
2. **Запись (Зп);**
3. **Запрос на обмен (Запр. Обм.).**

Операции обеспечивают передачу всех видов информации (данные, управление, команда, состояние) между любыми модулями и контроллером. Направление передачи информации определяется видом операции **относительно ведущего модуля** (контроллер читает, контроллер пишет, ИМ читает, ИМ пишет и т.д.).

Операция «Запрос на обмен» обеспечивает передачу информации о необходимости обмена от измерительного модуля к контроллеру.

МПИ, адресация

Для того, чтобы включить ИМ в систему необходимо определить его адрес. Контроллер обращается к подключенным устройствам используя адрес. Количество устройств, которые могут быть включены в систему, определяется разрядностью адреса, распределением адресного пространства. Рассмотрим пример распределения адресного пространства для 16 разрядного адреса.

Байтовая организация памяти



Структура адресного пространства контроллера изображена на рисунке.

Как видно, оно разбито на несколько полей:

- ПЗУ 0000 – 0200 (объемом 1 Кбайт),
- Стек 0201 – 0600 (объемом 2 Кбайт),
- Память программ 0601 – F400,
- Адреса ВУ F401 – F600 (объемом 2 Кбайт),
- Адреса ИМ F601 – FFFF (объемом 2 Кбайт).

ПЗУ – память векторов прерываний и констант.

Вектор прерываний – два слова (4 байта):

- первое слово – адрес начала программы обработки прерывания (содержимое программного счетчика – РС);
- второе слово – слово состояния процессора - PSW (состояния «флажков»: С, N, Z, V).

МПИ, адресация



Стек -область памяти, предназначенная для организации прерываний как программного так и аппаратного типа. Работу со стеком обеспечивает указатель стека (SP). SP указывает на текущий адрес в стеке. Указатель адреса при записи в стек уменьшается на 2 первого слова и на 2 второго слова, т.е. указатель стека уменьшается на 4 (работает только с векторами прерываний).

Память программ – предназначена для размещения всех программ с которыми работает контроллер, в том числе и программ обработки прерываний.

Адреса ВУ, ИМ – обеспечивают возможность программного обращения контроллера к ВУ и ИМ. Для работы с одним ИМ в зависимости от его структуры (количества адресуемых регистров) выделяется несколько адресов. Допустим ИМ содержит регистр управления РУ (2 байта) и регистр результата измерений РД (2 байта). Для работы с ИМ необходимо выделить 4 адреса.

4.4 МПИ, режимы работы

Режим «чтение»

Контроллер управляет работой интерфейса (чтение относительно контроллера).

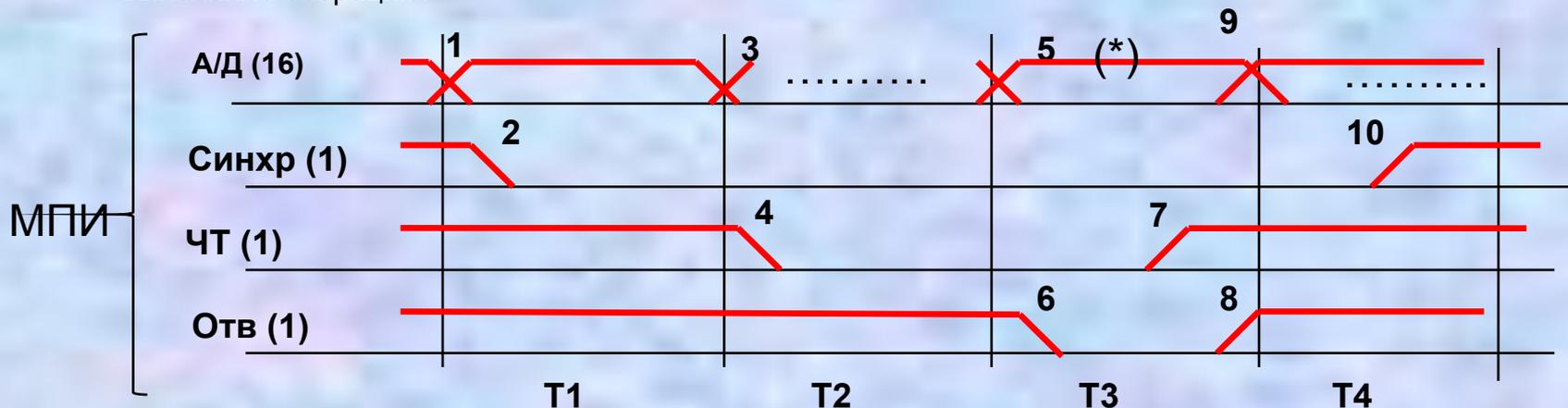
Контроллер обменивается с ИМ выработывая последовательность сигналов в соответствии с временной диаграммой. ИМ отвечает контроллеру, выставляя соответствующие сигналы на шины. В режиме «чтение» используются следующие шины (сигналы):

А/Д – шины для передачи адреса или данных 16-и разрядным параллельным кодом,

Синхр – сигнал, который выставляется устройством, управляющим выполнением операции. Сигнал выставляется на все время выполнения операции и для других устройств его наличие говорит о том, что шина занята.

ЧТ – сигнал «чтение», выставляется ведущим устройством, определяет направление передачи данных.

Отв – сигнал «ответ», выставляется ведомым устройством, и говорит о том, что устройство выполнило операцию.

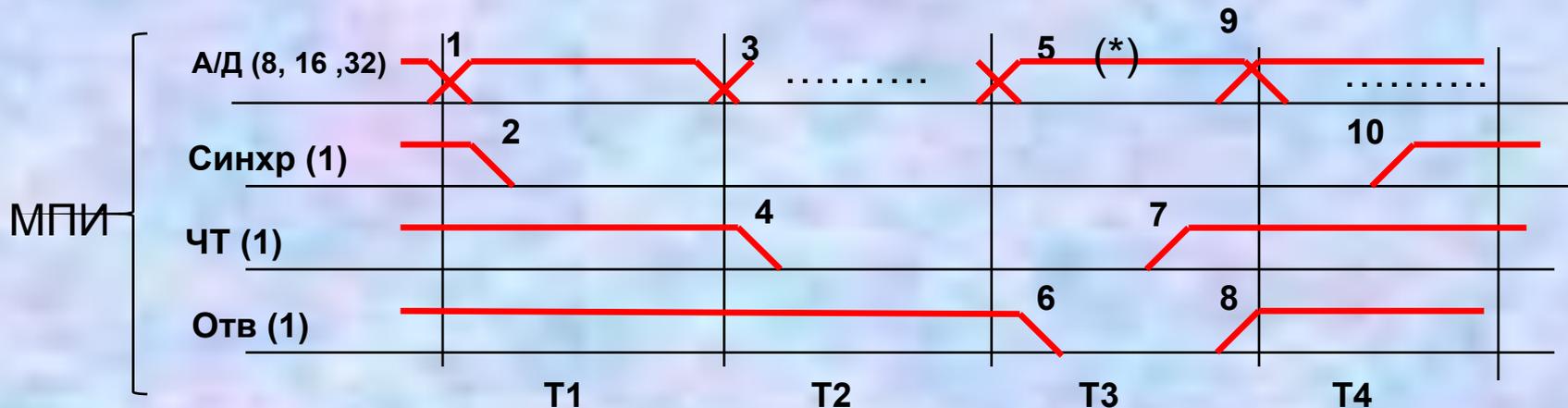


Операции обмена на МПИ выполняются за 4 такта: **T1** – начало цикла обмена, определение адреса ведомого устройства; **T2** – задние режима обмена (направления передачи данных); **T3** – выполнение операции; **T4** – завершение цикла обмена.

4.4 МПИ, режимы работы

Режим «чтения»

Контроллер управляет работой интерфейса (чтение относительно контроллера).

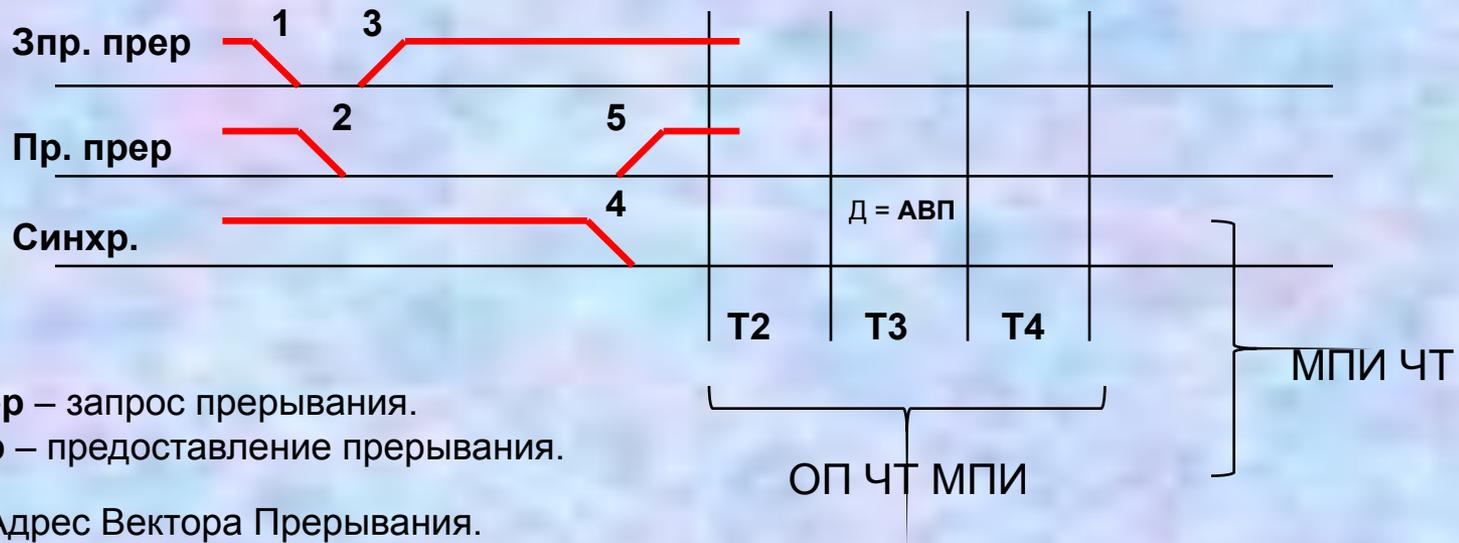


Последовательность действий при выполнении операции «чтение»:

- 1 – Контроллер выставляет адрес на шине адреса/данных
- 2 – Контроллер выставляет сигнал синхронизации – сигнал захвата магистрали (выставляется на все время выполнения операции). Отрицательный фронт синхросигнала является командой для определения адреса. По фронту этого сигнала устройства сравнивают свой адрес с адресом на шине. Если адрес совпал, устройство подключается к магистрали, включает шинные формирователи.
- 3 – Контроллер снимает адрес.
- 4 – Контроллер выставляет сигнал чтения, который воспринимается ИМ, определившим свой адрес
- 5 – ИМ выставляет данные на шину – открывает шинные формирователи, подключает данные к шине адреса/данных
- 6 – ИМ выставляет сигнал-ответ (на шинах адреса/данных накапливаются данные, которые подлежат чтению)
- 7 – Контроллер считывает данные с шин в буферный регистр (*) и снимает сигнал чтение
- 8,9 – ИМ снимает сигнал-ответ и данные с шины адреса/данных. ИМ отключился от ОШ
- 10 – Контроллер снимает сигнал синхронизации, т.е. освобождает интерфейс.

МПИ, режим «Обмена по прерыванию»

Временная диаграмма выхода на режим обмена по прерыванию показана на рисунке.



Зпр. прер – запрос прерывания.

Пр. прер – предоставление прерывания.

АВП – Адрес Вектора Прерывания.

1 – ИМ выставляет сигнал запрос на прерывание **Зпр. прер**. Контроллер в это время выполняет какую-то программу. У него есть текущее состояние PC и PSW текущее состояние процессора. Контроллер сохраняет в стеке - 2 PC, -2 PSW.

2 – Выставляет сигнал предоставление прерывания **Пр. прер**.

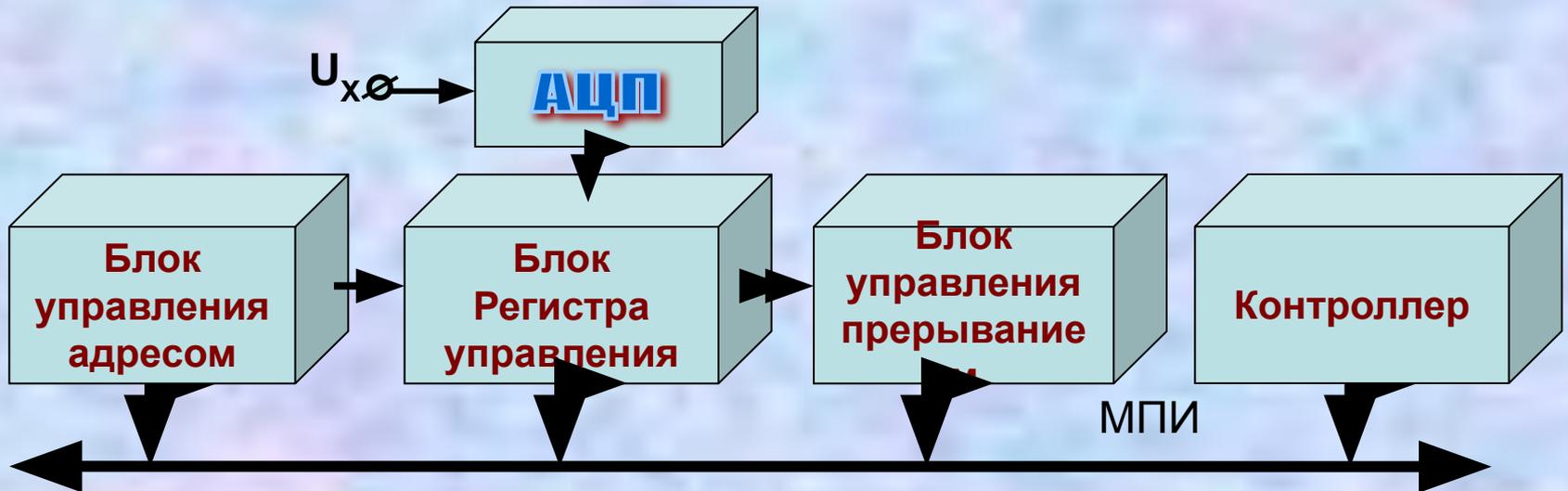
3 – ИМ снимает сигнал запрос, но при этом остается в активном состоянии.

4 – Контроллер переходит к режиму чтения **АВП**.

5 – после выставления сигнала синхронизации контроллер снимает сигнал предоставления прерывания и выполняет операцию «чтения»: **T2, T3, T4**. При этом по шинам **А/Д** передается **АВП ИМ**. Контроллер получив **АВП** выходит на прерывание и выполняет программу обработки прерывания. После выполнения программы, возвращается из прерывания.

4.5 Программируемый измерительный прибор

Принцип построения программируемого измерительного устройства рассмотрим на примере аналого-цифрового преобразователя АЦП, работой которого управляет через МПИ контроллер.

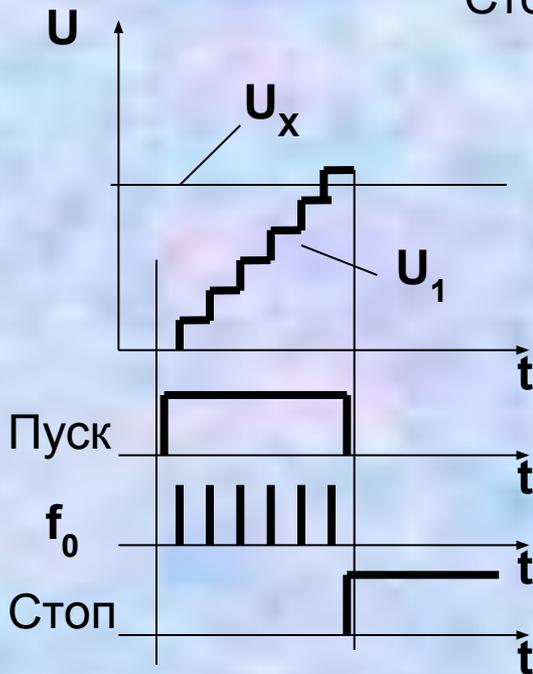
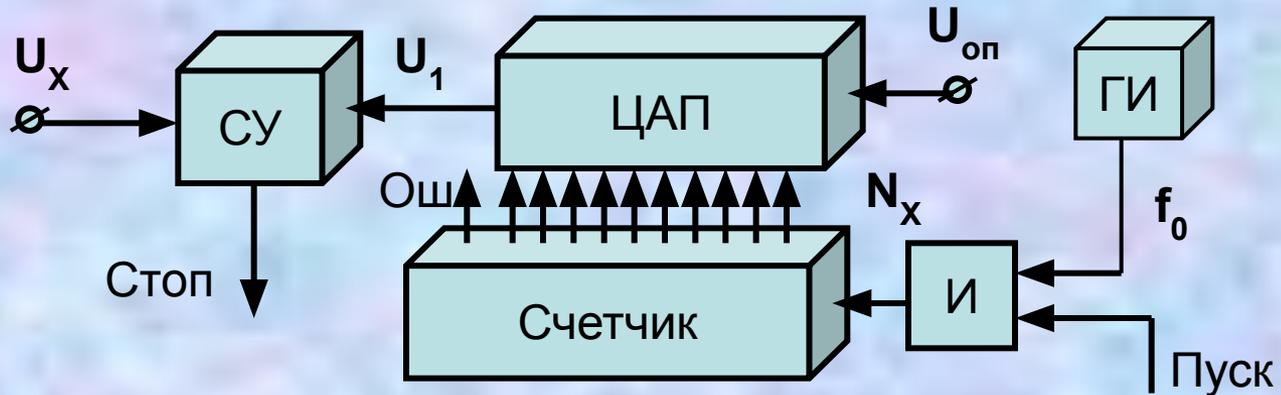


Принцип работы АЦП

АЦП

Напомним принцип работы АЦП.

На рисунке изображена структурная схема АЦП последовательного счета.



Алгоритм работы АЦП:

1. Начало - поступает сигнал «**Пуск**».
2. Элемент «**И**» открывается и на вход **счетчика** поступают импульсы с частотой f_0 .
3. **Счетчик** начинает считать, код N_x поступает на вход **ЦАП**.
4. На выходе **ЦАП** напряжение U_1 изменяется пропорционально коду $U_1 = U_{оп} \theta_x$.
1. В момент сравнения $U_x = U_1$ сравнивающее устройство **СУ** вырабатывает сигнал «**Стоп**».
2. Сигнал «**Пуск**» сбрасывается, в «**Счетчике**» хранится результат – N_x .

Блок регистра управления АЦП

Структура регистра управления АЦП показана на рисунке.



Для управления АЦП применяется регистр управления РУ. Он имеет 16 разрядов и представляет собой два байта или одно слово.

При проектировании устройства разрядам РУ назначаются следующие функции:

0 разряд – разряд «Пуск» ($0r=1 \rightarrow$ Пуск, $0r=0 \rightarrow$ Стоп),

6 разряд – разряд «разрешения прерывания» ($6r=1 \rightarrow$ прерывание разрешено, $6r=0 \rightarrow$ нет),

7 разряд – разряд «готовности» ($7r=1 \rightarrow$ результат готов, $7r=0 \rightarrow$ работа не закончена),

15 разряд – разряд «ошибки» ($15r=1 \rightarrow$ Работа закончена с ошибкой, $0r=0 \rightarrow$ без ошибки).

С 1 по 5 разряды используются для задания режимов работы измерительных средств,

8,9,10 – используются для диапазона работы программируемых измерительных средств.

12,13, 14 – используются для идентификации признаков ошибки в сложных приборах.

При работе с АЦП контроллер записывает в РГУ «1» в нужные разряды $0r$ или $6r$, запуская измерительный прибор (АЦП) или разрешая обмен по прерыванию. Читая $7r$ и $15r$ контроллер определяет состояние АЦП, закончено преобразование или нет, с ошибкой или нет.

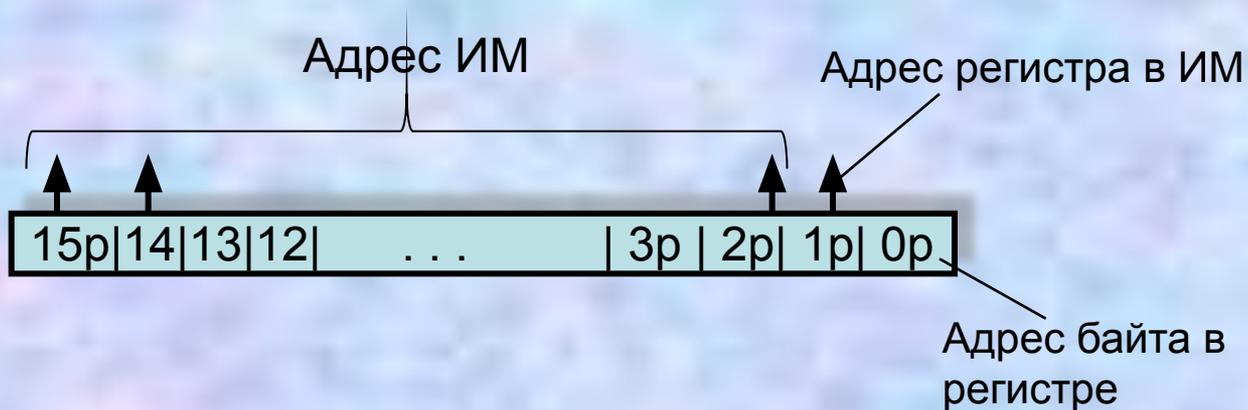
Работая с другими разрядами (программируя состояние разрядов) можно определять режимы работы сложных измерительных приборов.

Адрес ИМ

Чтобы включить измерительный модуль в систему необходимо определить его адрес. Рассмотрим структуру адреса ИМ.

Для работы с ИМ рассмотренным выше необходимо обеспечить обращение к регистру управления РУ и счетчику Сч, содержащему результат измерения. Каждый из них имеет разрядность – 16 бит, т.е. Два байта (одно слово). Для обращения к внутренним адресам ИМ используем два младших разряда адреса. 1р определяет адрес слова (1р = 0 – адрес РУ, 1р = 1 - адрес Сч), а 0р – адрес младшего или старшего байта в слове.

Структура адреса программируемого ИМ



Адрес измерительного модуля определяют старшие 14 разрядов, из старших 2 Кбайт адресного пространства контроллера (см. выше)

Для обращения к ИМ используется *блок управления адресом (БУА)*.

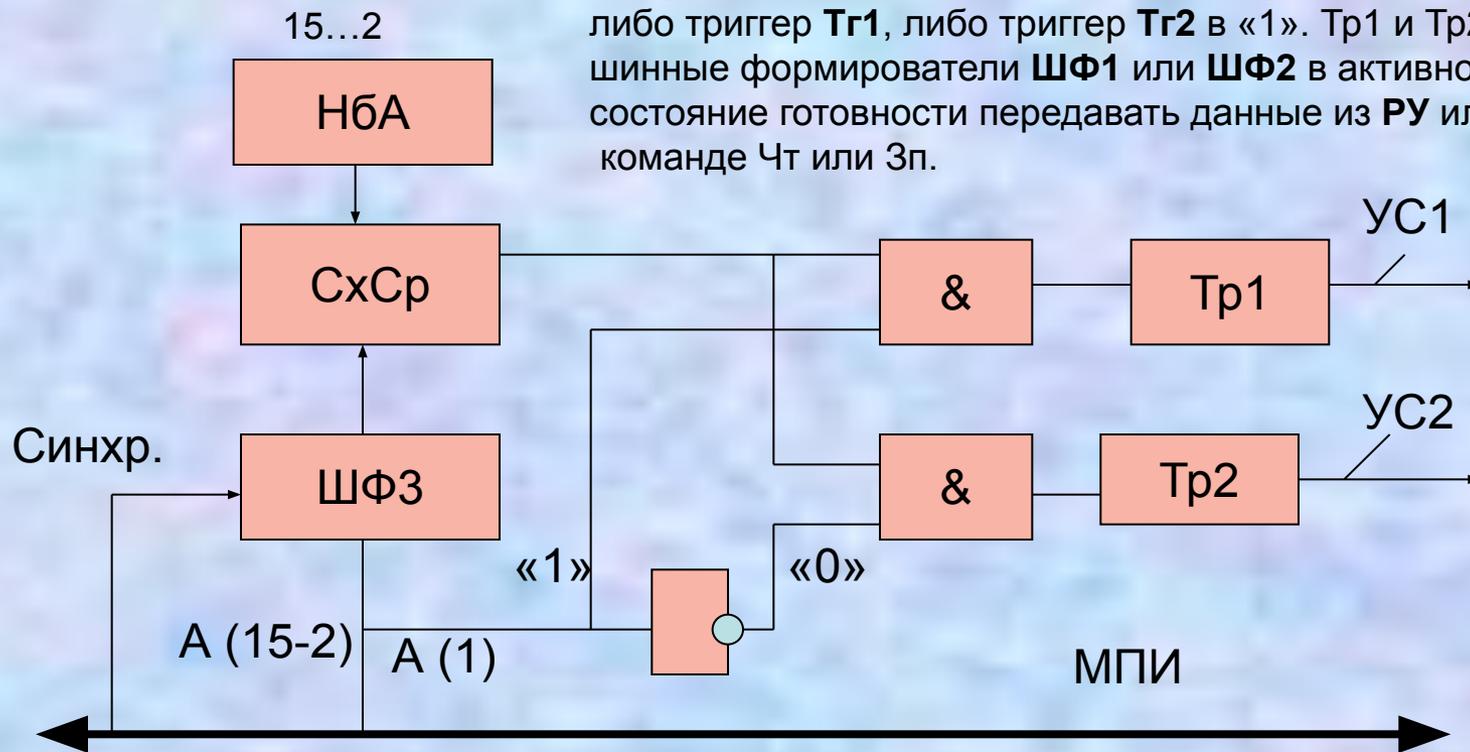
Блок управления адресом

Структурная схема блока управления показана на рисунке.

Набиратель адреса (**НБА**) - микросхема, которая определяет код адреса устройства.

Шинные формирователи (**ШФЗ**) подключают шины интерфейса к схемам устройства в заданном направлении при поступлении сигнала **Синхр** (см. временные диаграммы работы МПИ).

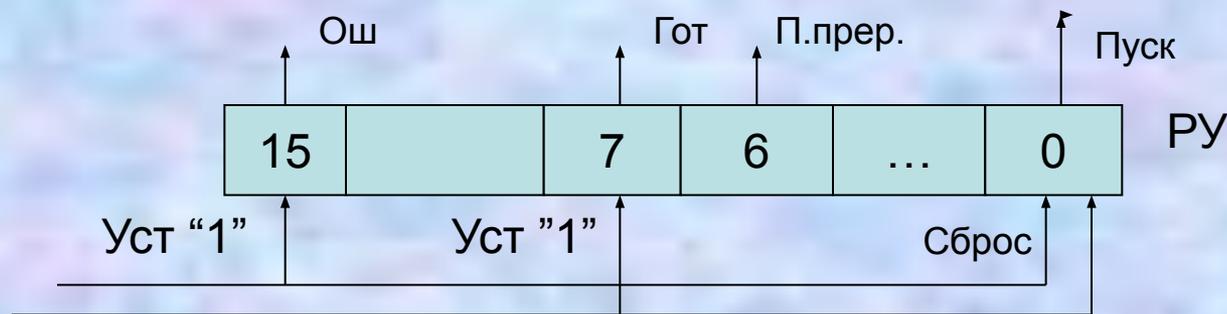
Схема сравнения (**СхСр**) - сравнивает 14-разрядный параллельный код, выставленный на шину с соответствующим кодом набирателя адреса. В случае совпадения кодов схема вырабатывает сигнал, который в зависимости от состояния 1разряда адреса, устанавливает либо триггер **Тг1**, либо триггер **Тг2** в «1». Тр1 и Тр2 включают шинные формирователи **ШФ1** или **ШФ2** в активное состояние, состояние готовности передавать данные из **РУ** или **Сч** по команде Чт или Зп.



Управление запуском АЦП

Для запуска АЦП контроллер К должен выполнить операцию записи Зп кода «1» в 0p – разряд управления пуском ТгПуск **ПУ**, т.е. записать «1» по адресу Ару (0p). Логическая «1» поступает на вход логического элемента «И», на другой вход поступают прямоугольные импульсы fo.

«1» разрешает прохождение импульсов через «И», импульсы поступают на вход Сч. (см. выше).



Проверка «готовности», «ошибки».

Проверка «готовности»

Контроллер проверяет состояние 7 разряда (команда Test, флажок N в PSW)

В зависимости от состояния флажка:

если 7p=0-ожидание,

если 7p=1-преобразования закончились

7p

0

 → ожидание

7p

1

 → ГОТОВ

Управление работой АЦП

Проверка «ошибки»

В случае, если неправильно выбран диапазон измерения, счетчик **Сч** считает до максимального значения, после чего поступление следующего импульса на его вход вызывает переполнение **Сч** – формирование сигнала Переполнение. Сигнал Переполнение поступает на вход сброса триггера управления пуском **ТгПуск** и устанавливает его в 0, прекращая работу АЦП, а также поступает на вход установки триггера ошибки **ТрОш**, устанавливая его в «1».

Единица на выходе **ТгОш** означает, что работа АЦП завершилась неправильно.

Контроллер проверяет состояние 15 разряда
(команда Test, флажок N в PSW)

В зависимости от состояния флажка:

если $15p=0$ -результат,

если $15p=1$ -ошибка

0

результат

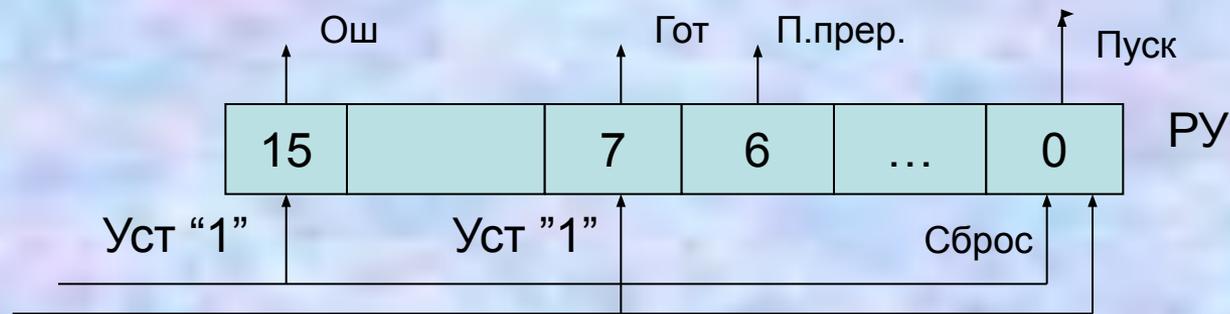
15p

1

ошибка

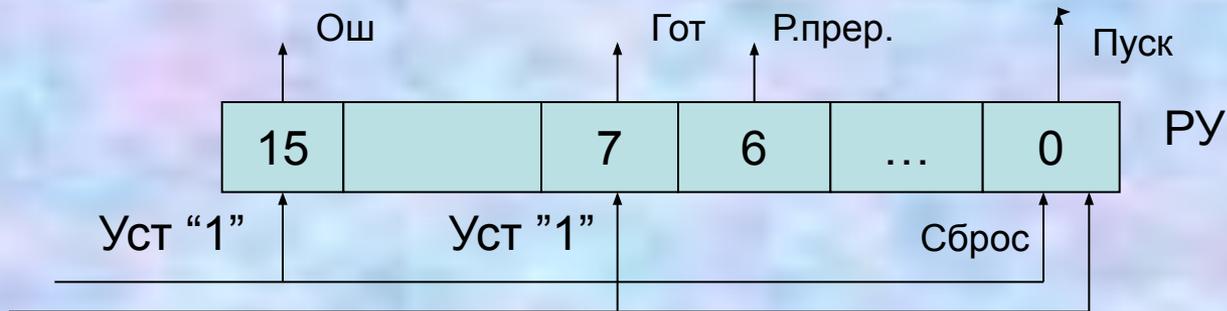
15p

Чтение результата измерения.



В случае правильного завершения работы АЦП, в счетчике Сч храниться результат измерения. Чтение результата измерения в буферный регистр происходит аналогично описанному выше, Для чтения результата измерения из АЦП контроллер должен выполнить операцию чтения Чт из счетчика Сч АЦП, т.е. из адреса Асч.

Обмен по прерыванию



1. Если бр РУ = "1" - прерывание разрешено.
2. АЦП вырабатывает сигнал запрос прерывания **3.Прер.** (временная диаграмма).
3. Чтение АВП (адрес вектора прерываний).
4. Переход к программе обработки прерывания (основные этапы).
5. Выполнение программы обработки прерывания.
6. Возврат из прерывания (основные этапы).

Программирование ИМ

1. **MOV#01,Ару**; Пуск - запись «1» в 0 разряд РУ
2. **M1:TSTB Ару**; Проверка готовности: проверка состояния 7 разряда РУ.
Если $7p.=1$, то АЦП готово к дальнейшей работе; если $7p.=0$, то не готово.
Если «1» процессор устанавливает флажок N в 1 в PSW.
3. **BPL M1**; Ожидание готовности
4. **TST Ару**; Проверка ошибки
5. **BMI ERR**; Переход на обработку ошибки
6. **MOV Асч, RD**; Чтение результата
7. Выход из программы работы с АЦП.
8. **ERR**: (Программный модуль обработки ошибки)