

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**И. А. ДЬЯКОВ**

# **СХЕМОТЕХНИКА**

Электронное учебное пособие  
для студентов 4 курса дневного отделения специальности 2203

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2001

УДК 681.32(075)  
ББК з973.202  
Д92

Рецензент  
Кандидат технических наук  
*А. Е. Бояринов*

Д92 **Дьяков И. А.**  
Схемотехника: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. 84 с.  
ISBN 5-8265-0072-7

Учебное пособие состоит из двух основных частей, где рассматриваются контрольно-измерительная аппаратура и компоненты микропроцессорных систем. В первой рассмотрены основы построения измерительных приборов (мультиметров и электронных осциллографов) и методы проведения измерений в микропроцессорных системах. Во второй части - структурные и функциональные схемы микропроцессоров нескольких поколений и основной набор компонент микропроцессорных систем.

Представлена электронная мультимедийная версия учебного пособия. Работа компонент поясняется динамическими и статическими временными диаграммами. Рисунки имеют динамический характер и систему текстовых подсказок. Учебное пособие выполнено с использованием современных компьютерных технологий.

Предназначено для студентов 4 курса дневного отделения специальности 2203 и может быть использовано для дистанционного образования в сети Internet.

УДК 681.32(075)

ББК 3973.202

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ), 2001

© Дьяков И. А., 2001

ISBN 5-8265-0072-7

## **ВВЕДЕНИЕ**

Микропроцессорная техника имеет широкое распространение и применяется практически во всех областях человеческой деятельности. В зависимости от условий эксплуатации и назначения, микропроцессорные системы могут очень сильно отличаться друг от друга и по элементной базе, и по габаритным размерам и по схемотехнике. Однако есть некоторые основополагающие принципы, объединяющие микропроцессорные системы любого назначения. Во первых – это двойственная структура микропроцессорной техники, включающая аппаратную и программную составляющие. Во вторых, передача информации осуществляется посредством электрических сигналов, в подавляющем большинстве бинарных.

Зная специфику микропроцессорной системы, ее тестирование и отладку, можно проводить с помощью стандартной контрольно-измерительной аппаратуры, применяющейся для обычных электронных систем. Методы проведения измерений остаются прежними, но должны поддерживаться дополнительным программным обеспечением. При этом очень важно знать виды сигналов, основы построения измерительной аппаратуры и принципы их работы, методы проведения измерений, принципы работы микропроцессоров и компонент системы. Предлагаемый конспект лекций посвящен рассмотрению именно этих вопросов, в рамках дисциплины «Схемотехника» и «Микропроцессорные средства и системы» специальности 2203.

Автор выражает благодарность студентам 4-го курса 1999 года Салущеву А.А, Гриневой Е.Г., Ипполитову С.В., Мацневу А.Г., Ненастьевой Н.С. за подготовку мультимедийной компьютерной версии конспекта лекций.

# 1 ИМПУЛЬСЫ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

В микропроцессорных системах информация передается сигналами с двумя устойчивыми состояниями – уровнем логической единицы и уровнем логического нуля. Каждому логическому уровню соответствует определенный диапазон напряжений. Этот диапазон зависит от технологии изготовления микросхем и от питающего напряжения. В процессе передачи информации логические уровни изменяются, что приводит к появлению импульсов. Другими словами любая микропроцессорная система принадлежит к классу импульсной техники. Поэтому рассмотрим подробнее понятие импульсных сигналов и их характеристики.

К импульсным сигналам, в общем случае, принято относить различные электрические сигналы – периодические и непериодические, отличные по форме от сигналов синусоидальных [1].

Форму импульсов для удобства представляют близкими по виду геометрическими фигурами. Импульсная техника оперирует с прямоугольными, трапециевидными, треугольными, пилообразными, ступенчатыми и другими видами импульсов. Для практики наибольшее значение имеют прямоугольные импульсы. Понятие “прямоугольный импульс” - идеализированное. Форма нормального импульса показана на рис.1.1.

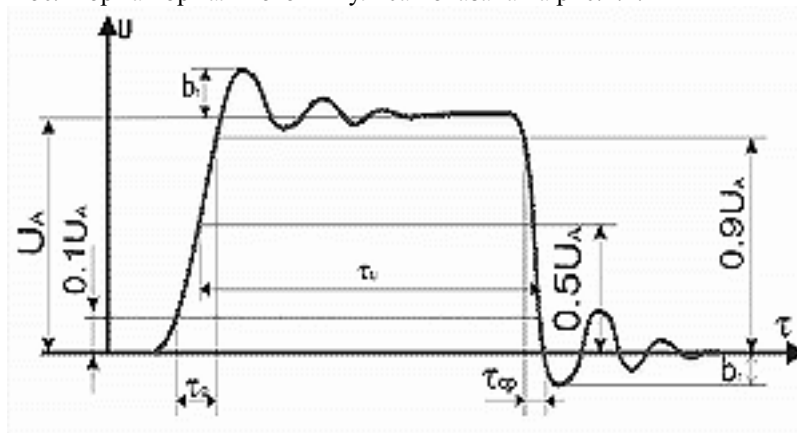


Рис.1.1. Форма и параметры импульсного сигнала.

Параметры импульсов подразделяют на электрические и временные. Уровень высокого напряжения обозначают  $u^1$ , низкого –  $u^0$ . Амплитуда  $U_A$  характеризует наибольшее из мгновенных значений относительно начального уровня. В длительность реального импульса входит время фронта  $\tau_f$  и среза  $\tau_{ср}$ . На практике длительность фронта и среза определяют с помощью осциллографа. Условно считают время изменения напряжения импульса от  $0,1U_A$  или от  $0,9U_A$  до  $0,1U_A$ . Это связано со сложностью определения у реального импульса момента начала и конца процесса. В справочной литературе можно встретить термины “критерии фронта” и “критерии среза”. Ниже приведены формулы “критерия фронта”  $K_f$  и “критерия среза”  $K_c$ :

$$K_f = (0,9U_A - 0,1U_A) / \tau_f = 0,8 U_A / \tau_f \quad [\text{В/мкс}],$$

$$K_{ср} = (0,9U_A - 0,1U_A) / \tau_{ср} = 0,8 U_A / \tau_{ср} \quad [\text{В/мкс}].$$

Активную длительность  $\tau_a$  отсчитывают на уровне  $0,5U_A$ . При рассмотрении процессов генерирования и формирования импульсов, длительность фронта и среза не учитывают.

Импульсы, следующие в определенном порядке, образуют импульсную последовательность. В периодической последовательности импульсы и паузы между ними одинаковы. Сумма длительностей импульса  $\tau_u$  и паузы  $\tau_n$  определяют период следования  $T$  (рис.1.2.). Длительности  $\tau_u$  и  $\tau_n$  в цифровой

технике можно заменить на  $\tau_1$  и  $\tau_0$  – длительности единичного и нулевого уровня. Обратная величина  $f=1/T$  характеризует частоту следования импульсов.

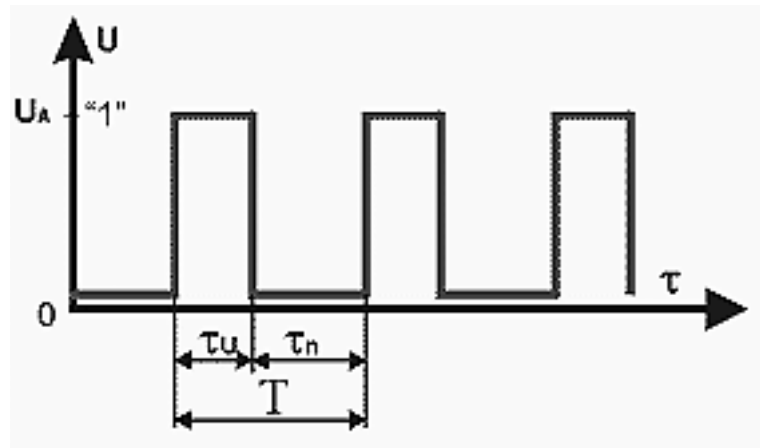


Рис.1.2. Форма идеальной последовательности импульсов

Для характеристики периодической последовательности используют дополнительные параметры:  $Q=T/\tau_u$  – скважность импульсов,  $\gamma=\tau_u/T$  – коэффициент заполнения. Периодическую последовательность, у которой  $\tau_u=\tau_n$ , т.е.  $Q=2$ , называют меандром.

## 2 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В процессе эксплуатации микропроцессорных систем нередко приходится измерять их электрические параметры. Для измерения служат различные приборы. Каждый прибор имеет свои метрологические характеристики, указанные в документации к нему. Поэтому в измеренных с помощью приборов значениях должны учитываться характеристики самого прибора, или другими словами погрешность прибора. Погрешности прибора – показывают степень расхождения показаний прибора и истинного значения измеряемой величины[2-4]. В соответствии с ГОСТ 8.009-84 определены следующие виды погрешностей: *абсолютная, относительная и приведенная*. Рассмотрим их подробнее.

*Абсолютная* погрешность прибора представляет собой разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины. Ее рассчитывают по формуле:

$$\Delta x_{\Pi} = x_{\Pi} - x \quad (2.1)$$

где  $x_{\Pi}$  – показание прибора;  $x$  – истинное значение измеряемой величины. Таким образом, мы определяем, на сколько больше или меньше показанное прибором значение.

*Относительную* погрешность прибора рассчитывают как отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины по формуле:

$$\delta_{\Pi} = \Delta x_{\Pi} / x \quad (2.2)$$

Относительную погрешность обычно выражают в процентах. Основной проблемой вычислений погрешностей, является знание истинного значения измеряемой величины. Обычно для расчета погрешностей приборов используют ее действительное значение.

*Приведенная* погрешность прибора – это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности прибора к нормирующему значению:

$$\gamma = \Delta x_{\Pi} / X_N \quad (2.3)$$

Нормирующим значением  $X_N$  является условно принятое значение. В большинстве случаев в качестве нормирующего значения выбирают верхнюю границу диапазона измерений.

Условия эксплуатации приборов, весьма различны. Это могут лабораторные, офисные условия. Прибор может эксплуатироваться, например, в уличных или цеховых (производственных) условиях с высокой степенью агрессивности окружающей среды. Погрешность измерений одного и того же прибора, но в различных условиях эксплуатации, может отличаться. В зависимости от условий применения измерительных приборов их погрешности делят на *основные*, возникающие при использовании приборов в нормальных условиях, и *дополнительные*, возникающие в результате отклонения значения одной из влияющих величин окружающей среды от нормального значения.

Обобщенной характеристикой, определяемой пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, является *класс точности* прибора. В соответствии с ГОСТ 8.401–80 всем измерительным приборам присваивается соответствующий класс точности.

При обработке результатов измерений важно учитывать отклонение значений самой погрешности и пределов отклонения. Пределы допускаемой основной погрешности выражают в виде абсолютной, относительной или приведенной погрешности. Форма представления погрешности зависит от характера изменения погрешности в диапазоне измерений, а также от условий применения измерительного прибора. Класс точности прибора определяется пределами погрешностей.

Пределы допускаемых основных погрешностей определяются одним или несколькими слагаемыми: абсолютной погрешности:

$$\Delta x_{\Pi} = x \pm (a) \text{ или } \Delta x_{\Pi} = x \pm (a + b x_{\Pi}) \quad (2.4)$$

относительной погрешности:

$$\delta_{\Pi} = \pm \Delta x_{\Pi} / x_{\Pi} \text{ или } \delta_{\Pi} = \pm [c + d (|x_K / x_{\Pi}| - 1)] \quad (2.5)$$

где  $a$  и  $b$  – положительные числа, не зависящие от показаний прибора;  $c$  и  $d$  – постоянные (положительные) числа, пропорциональные погрешности в относительных значениях;  $x_K$  – конечное значение диапазона измерений;

приведенной погрешности:

$$\gamma = \pm x_{\Pi} / X_N \quad (2.6)$$

где  $X_N$  – нормирующее значение.

Нормирующее значение при расчете приведенной погрешности принимают значения верхней границы диапазона измерений для приборов с нулевой отметкой в начале шкалы, суммы нижнего и верхнего граничных значений диапазона приборов с нулевой отметкой внутри шкалы или всего диапазона измерений приборов с логарифмической или гиперболической шкалой.

В случае равенства абсолютной и приведенной погрешности прибора, во всем диапазоне измерений, класс точности выбирают в соответствии с ГОСТ 8.401–80 из следующего ряда чисел:  $1 \cdot 10^n$ ;  $1,5 \cdot 10^n$ ;  $2 \cdot 10^n$ ;  $2,5 \cdot 10^n$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$ , где  $n = 1; 0; -1; -2; \dots$ . Класс точности прибора в этом случае выражают одним числом, соответствующим основной приведенной погрешности во всем диапазоне измерений прибора.

Для измерительных приборов, пределы основных допускаемых погрешностей которых рассчитывают по формуле (2.5), класс точности обозначают отношением  $c$  и  $d$ .

Классы точности измерительным приборам присваивают при выпуске с завода-изготовителя или по результатам их поверки.

Измеряемая величина может быть постоянной во времени или изменяться с течением времени. Соответственно существует погрешность измерительного прибора *статическая* и *динамическая*. Статическая погрешность вычисляется по рассмотренным выше формулам. А динамическая погрешность вычисляется как разность между

погрешностью в динамическом режиме и статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени  $\tau_i$ .

Одним из основных параметров каждого прибора является его чувствительность, вычисляемая как отношение изменения сигнала на выходе прибора к изменению измеряемой величины. *Чувствительность приборов* выражают в абсолютном и относительном виде. *Абсолютная чувствительность* определяется отношением

$$S_A = X_{\text{ВЫХ}} / x \quad (2.7)$$

а *относительная*

$$S_O = dX_{\text{ВЫХ}} / dx \quad (2.8)$$

где  $X_{\text{ВЫХ}}$  – сигнал на выходе прибора;  $x$  – измеряемая величина;  $dX_{\text{ВЫХ}}$  – изменение сигнала на выходе;  $dx$  – изменение измеряемой величины.

Еще одним важным параметром прибора является *цена деления шкалы*, вычисляемая как разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы прибора. Другой метод вычисления цены деления шкалы прибора, наиболее часто применяемый на практике, заключается в делении предела измерений прибора на предельное значение шкалы измерений.

С течением времени метрологические свойства прибора изменяются и влияют на погрешности измерений. Качество, отражающее неизменность во времени его метрологических свойств, характеризуется *стабильностью измерительного прибора*.

Ошибки в эксплуатации приводят к включению прибора для измерения величин больших, чем номинальные. Способность прибора определенное время выдерживать нагрузки, превышающие допустимые характеризуется его *перегрузочной способностью*. При этом изменения в конструкции прибора не должны носить остаточный характер. Для определения перегрузочной способности прибора его подвергают испытаниям после изготовления на заводе в соответствии с нормативными требованиями.

Стрелочные приборы дополнительно характеризуются *продолжительностью установления показаний*, измеряемой от момента начала изменения величины, до момента, когда амплитуда колебаний подвижной части станет не более абсолютной погрешности прибора.

Для цифровых приборов нормируется *продолжительность измерения* (частота опроса). Эта характеристика определяется с момента начала изменения величины или начала цикла измерений одной и той же величины, до момента представления результата измерений с нормированной погрешностью на индикаторах прибора.






Каждый прибор, включаемый в цепь для измерений, потребляет часть мощности схемы. *Мощность*, потребляемая измерительным прибором из цепи, в большинстве случаев мала, но при измерении величин в маломощных измерительных цепях вследствие потребления мощности прибором может измениться режим работы цепи, что приведет к дополнительным погрешностям измерений. Одним из требований к измерительным приборам является малое собственное потребление мощности. Это достигается увеличением сопротивления входных цепей прибора. Наименьшие искажения вносят цифровые приборы, обладающие высоким входным сопротивлением.

Прибор должен эксплуатироваться в течение определенного времени и при этом сохранять свои нормированные характеристики, т.е. обладать *надежностью*. Основными критериями надежности приборов являются вероятность безотказной работы и средняя продолжительность безотказной работы. Вероятность безотказной работы определяется вероятностью отсутствия отказов прибора в течение определенного промежутка времени. Средняя продолжительность безотказной работы определяется отношением продолжительности безотказной работы прибора к числу отказов за это время.

Каждый прибор относится к определенному классу по различным признакам. Мы рассматриваем приборы, измеряющие только электрические сигналы. Класс прибора можно определить по условным обозначениям (табл.2.1)

Таблица 2.1

Прибор	Условное обозначение
Магнитоэлектрический прибор с подвижными рамками	
Электромагнитный прибор - логометр с подвижными рамками	
Электромагнитный прибор	
Электромагнитный логометр	
Электромагнитный поляризационный прибор	
Электродинамический прибор	
Электродинамический логометр	
Ферродинамический прибор	
Ферродинамический логометр	
Индукционный прибор	
Тепловой прибор с нагреваемой проволокой	
Электростатический прибор	
Электронный преобразователь в измерительной цепи	
Выпрямитель	
Шунт	
Добавочное сопротивление	
Зажим для заземления	
Корректор	
Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
Прибор применять при наклоне положения шкалы (например под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	

Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, превышающим 500В, например 2кВ	
Постоянный ток	
Переменный (однофазный) ток	
Постоянный и переменный ток	
Трёхфазный ток (общее назначение)	

Условные обозначения, наносимые на электроизмерительные приборы, определены в ГОСТ 23217 – 78.

### 3 МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Знания принципов работы измерительных приборов и приемов использования этих принципов есть суть *методов измерений*. Результаты измерений могут быть получены *прямым* или *косвенным* способом.

Если искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных, например, измеряя ток амперметром, напряжение – вольтметром, то такие измерения считают *прямыми*.

В тех случаях, когда значение величины находят на основании известных зависимостей между искомой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, говорят о *косвенном* измерении. Примеры косвенных измерений – это определение сопротивления или мощности по измеренным значениям тока и напряжения.

В технике измерений применяют понятия *совокупных* и *совместных* измерений. В первом случае одновременно измеряют несколько одноименных величин. Затем по известным уравнениям находят результат. Параметры уравнений получают прямыми измерениями. Если существует необходимость определения зависимости между несколькими неоднородными (например, различными в физическом плане) величинами, то используют *совместные измерения*. Результаты совместных измерений также находят по данным, полученным прямыми измерениями этих величин.

Рассмотрим теперь методы измерений. Структурная схема методов приведена на рис.3.1. Можно выделить два основных класса методов – непосредственной оценки и сравнения.

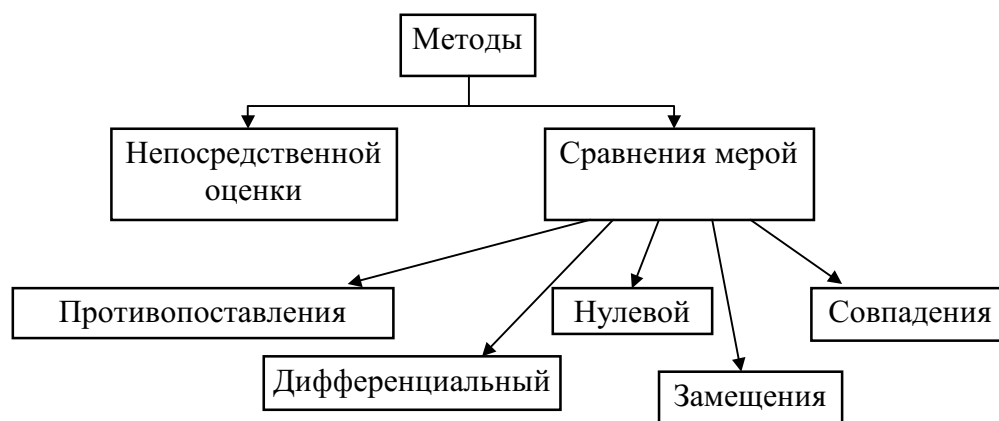


Рис 3.1. Методы измерений

класс методов имеет несколько разновидностей, определяемых действием над сравниваемыми величинами.

Метод непосредственной оценки

заключается в том, что значение величины определяют по шкале (отсчетному устройству) измерительного прибора прямого действия. При использовании этого метода в измерительном приборе происходит прямое, от входа к выходу, преобразование измеряемой величины. В качестве примера можно привести измерение напряжения при помощи электромеханического вольтметра.



Метод сравнения (*метод сравнения с мерой*) состоит в том, что измеряемую величину сравнивают с величиной - мерой. Примером метода сравнения является измерение сопротивления при помощи моста. Метод сравнения имеет следующие разновидности: метод противопоставления, дифференциальный, нулевой, замещения и совпадений. При измерении *методом противопоставлений* измеряемая величина и величина-мера, одновременно воздействуют на прибор сравнения, при помощи которого устанавливается соотношение между ними. При *дифференциальном методе* на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины. *Нулевой метод* это метод сравнения с мерой, при котором результирующий эффект воздействия обоих величин на прибор сравнения доводят до нуля, т.е. одна величина полностью компенсирует другую. Если измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой, такой метод измерения называют методом замещения. Метод *совпадений* заключается в том, что разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Наибольшее распространение этот метод получил при измерении неэлектрических величин.

С точки зрения практического применения большее распространение получил метод непосредственной оценки, как более простой и менее затратный. В то время как метод сравнения дает меньшие погрешности измерений, но требует больших затрат.

Наличие большого числа методов показывает их несовершенство. Учитывая субъективность оценок при проведении измерений, погрешности приборов и другие факторы, можно говорить о том, что результаты измерений отличаются от истинных значений. Следовательно, существует *погрешность измерения*, т.е. отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность измерений определяют в единицах измеряемой величины (абсолютная) или в процентах, долях от истинного значения измеряемой величины (относительная). *Абсолютная погрешность измерения*  $\Delta x$  определяется по формуле (3.1), как разность между значением величины, полученным в результате измерения  $x$ , и истинным значением измеряемой величины  $x_n$ :

$$\Delta x = x - x_n. \quad (3.1)$$

*Относительная погрешность измерения*  $\delta$  представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению величины, выраженное в процентах:

$$\delta = 100(\Delta x / x_n). \quad (3.2)$$

На практике вместо истинного значения пользуются действительным значением измеряемой величины, за которое принимают такое ее значение, которое найдено экспериментальным путем и настолько приближается к истинному значению, что может быть использовано вместо него. Погрешности измерений считаются положительными, если значение величины, полученное в результате измерений, больше действительного значения измеряемой величины, и наоборот.

Погрешность измерений состоит из систематической и случайной погрешности.

Погрешность остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях называется *систематической погрешностью измерения*. Систематическая погрешность обусловлена в основном погрешностями градуировки или некоторым сдвигом диапазона измерений. Постоянные систематические погрешности выявляются лишь при проверке измерительного средства или его метрологической

аттестации. Систематические, погрешности могут быть уменьшены включением в измерительную цепь раз личных корректирующих элементов.

*Случайная погрешность* – это погрешность, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях. Случайные погрешности возникают вследствие суммарного воздействия на результаты измерений различных причин. Например, если многократно измерить одну и ту же величину, то результаты измерений неодинаковы и не могут быть точно предсказаны. Однако, результаты ряда измерений подчиняются некоторой закономерности, которую можно описать, пользуясь теорией вероятностей. Частоту появления различных значений и погрешность каждого измерения можно характеризовать законом распределения вероятностей.

#### 4 МУЛЬТИМЕТРЫ

Мультиметр - это прибор, предназначенный для измерения постоянных и переменных токов и напряжений, а также сопротивлений. Существуют два основных типа приборов - токовые и потенциальные по принципу измерения. Обычно к токовым приборам относятся мультиметры со стрелочными индикаторами, а к потенциальным с цифровой индикацией. Устаревший и сравнительно простой мультиметр представляет собой амперметр (рис.4.1 а). Во всех случаях, в конце концов, измеряется постоянный ток. При работе в низковольтном диапазоне относительно малое сопротивление прибора представляет собой значительную нагрузку для измеряемой схемы, что приводит к неправильным показаниям. Цифровые приборы измеряют напряжение в схеме, имеют, как правило большое входное сопротивление, и не нагружают измеряемую точку схемы. Однако цифровыми приборами очень трудно измерять устройства, имеющие р-п переходы. В основе цифровых приборов лежит использованием аналого-цифровых преобразователей, схем коммутации входных аналоговых сигналов, дешифраторов цифровых сигналов и цифровых индикаторов (рис.4.1 б).

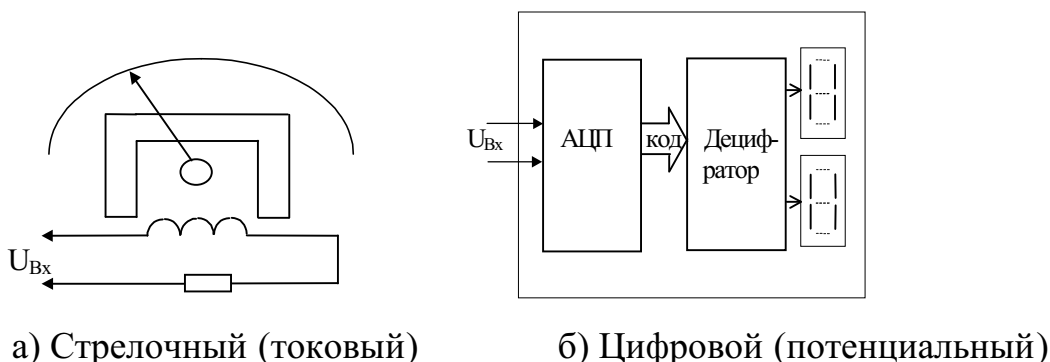


Рис. 4.1. Принцип построения мультиметров

Преобразователи в цифровых вольтметрах осуществляют пять измерений в секунду, поэтому приборы нельзя применять для фиксации быстрых выбросов напряжения, которые возникают в

системе при отказе. Это же относится и к измерению потребляемого тока, так как прибор показывает только среднее значение. С помощью мультиметра можно найти короткие замыкания в линиях питания, микросхемах и пр.

Рассмотрим устройство, принцип работы и методы проведения измерений с использованием промышленного мультиметра Ц4352 [5]. Внешний вид прибора показан на рис.4.2.

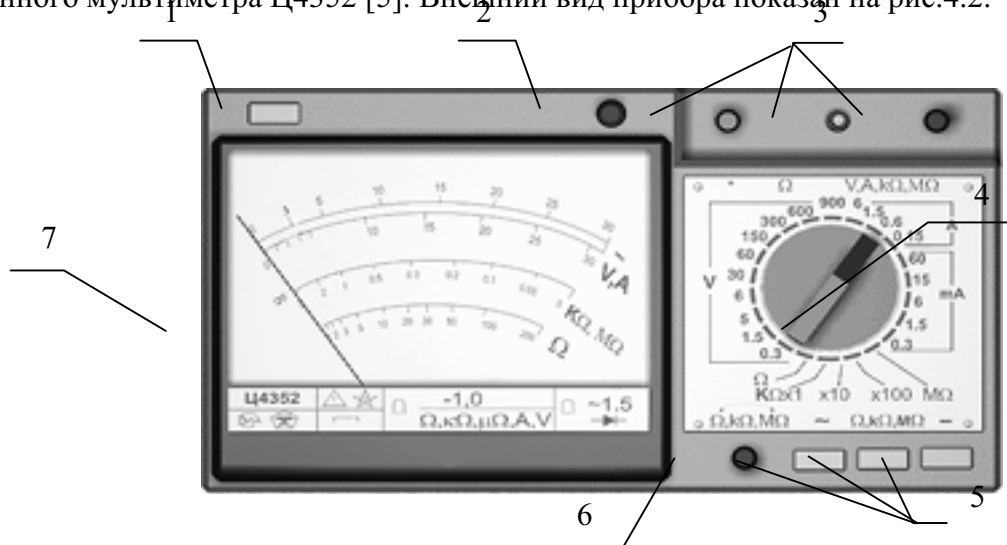


Рис.4.2. Внешний вид прибора Ц4352

На лицевой панели прибора располагаются органы управления и индикации: 1 и 2 – кнопки выключения и включения защиты; 3 – клеммы для подключения внешнего источника питания и щупов; 4 – переключатель диапазонов измерений; 5 – кнопки переключения рода работы («-», «~» и «Ω, кΩ, МΩ») в зависимости от вида измеряемой величины; 6 – ручка регулятора установки нуля; 7 – отсчетное устройство.

Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4352 с автоматической защитой от электрических перегрузок предназначен, для измерения силы и напряжения постоянного тока, действующего значения силы и напряжения переменного тока синусоидальной формы, сопротивления постоянному току.

Прибор может применяться при регулировании, ремонте и эксплуатации электро-, радиоаппаратуры, цифровых и микропроцессорных системах в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями. Например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других, в том числе хорошо вентилируемых подземных помещениях (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и отсутствие воздействия атмосферных осадков, ветра, а так же воздействия песка и пыли наружного воздуха).

Рабочие климатические условия применения прибора - температура окружающего воздуха от 10 до 35 градусов по Цельсию, относительная влажность воздуха до 80% при температуре 25 градусов.

Основные технические характеристики.

Измерение напряжения постоянного тока, В

0.75..900

Измерение напряжения переменного тока, В	0.3..900
Сопротивление постоянному току, кОм	0.2..3000
Измерение силы постоянного тока, мА	0.3..6000
Измерение силы переменного тока, мА	1.5..6000
Ток потребления при измерении напряжения и сопротивления, мА	0.306..22
Падение напряжения при измерении силы тока, В	0.08..0.65

Принципиальная электрическая схема прибора приведена на рис.4.3. Схема прибора включает в себя органы управления В1, В2, КА1, КН, R21; источник питания Б; магнитоэлектрическую систему Тр и МИ; универсальный шунт и сопротивления.

Переключатель В1 имеет две группы В1.1 и В1.2, коммутирующие сигнал с входных клем \* и V, А – кОм - МОм, Ом на трансформатор ТР и магнито-электрическое устройство через ограничивающие резисторы R1-R20. Резистор R21 предназначен для регулирования тока МИ и установки стрелки прибора в ненулевое положение при изменении сопротивлений. Резисторы R1-R9 образуют цепочку, уменьшающую, в зависимости от предела измерений, силу тока, проходящего через МИ. Переменный ток выпрямляется двухполупериодной схемой, выполненной на диодах VD1,VD2. Резисторы R13-R20 образуют делитель напряжения и применяются при измерении напряжений. Резисторы R10-R12, R21 ограничивают ток, протекающий через измеряемое сопротивление. Независимые переключатели В2.1, В2.2, В2.3 определяют род тока или работу в режиме измерения сопротивлений.

Элементы электрической схемы прибора заключены в изоляционный корпус. Органы управления, отсчётное устройство и присоединительные зажимы размещены на лицевой стороне корпуса.

Электрохимические источники тока для питания схемы омметра и автоматической защиты расположены в камере с тыльной стороны корпуса.

В приборе применён механизм измерительный (МИ) магнитоэлектрической системы на растяжках с внутрирамочным магнитом. Ток полного отклонения механизма измерительного 300 мкА, падение напряжения на обмотке рамки не превышает 15мВ.

Расширение пределов измерений осуществляется с помощью коммутации универсального шунта и добавочных сопротивлений вольтметра. Выпрямление переменного тока происходит по двухполупериодной схеме, выполненной на полупроводниковых диодах.

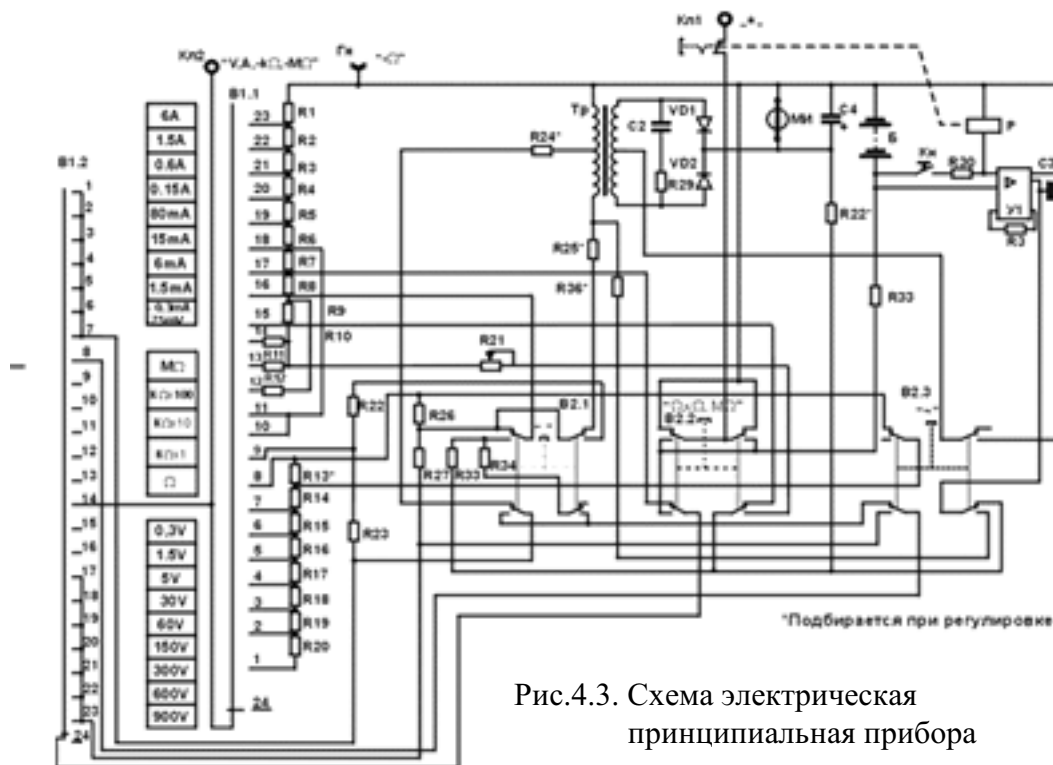


Рис.4.3. Схема электрическая  
принципиальная прибора

Конечные значения диапазонов измерений, значения пределов допускаемых основных погрешностей (в нормальных условиях применения), значения потребляемого тока и падения напряжения на входных клеммах прибора соответствуют табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Измеряемая величина	Предел допускаемой основной погрешности и %	Конечное значение диапазонов измерений	Ток потребления, мА, не более	Падение напряжения, В, не более
Напряжение постоянного тока, В	$\pm 1.0$	0.075, 0.3, 1.5, 6, 30, 60, 150, 300, 600, 900	0.306 1.53	- -
Напряжение переменного тока, В	$\pm 1.5$	0.3, 1.5, 6, 30, 60, 150, 300, 600, 900	5.1 1.02 1.53	- - -
Сопротивление постоянному току, кОм	$\pm 1.0$	0.2, 3, 30, 300, 3000	22 20 2 0.8	- - - -
Сила постоянного тока, мА	$\pm 1.0$	0.3, 1.5, 6, 15, 60, 150, 600, 1500, 6000	- - - -	0.08 0.3 0.65
Сила переменного тока, мА	$\pm 1.5$	1.5, 6, 15, 60, 150, 600, 1500, 6000	-	0.65

Пределы допускаемых основных погрешностей прибора ( $\gamma$ ) выражаются в процентах от нормирующего значения ( $X_N$ ) в виде приведенных погрешностей по формуле (2.6). Где  $X_N$

выбирают, как конечное значение диапазона измерений или диапазон измерений в единицах шкалы. Значение длин шкал омметра в миллиметрах, не менее: «Ω» - 58, «кΩ, МΩ» - 67.

Нормальными условиями применения рассматриваемого прибора являются следующие величины и их значения: горизонтальное положение  $\pm 2^\circ$ ; температура окружающего воздуха  $20 \pm 5^\circ \text{C}$ ; относительная влажность  $65 \pm 15\%$ ; атмосферное давление  $750 \pm 30$  мм.рт.ст.; частота силы и напряжения переменного тока (табл.4.2); синусоидальная форма кривой тока или напряжения, с коэффициентом гармоник до 2%; напряжение питания схемы, для измерения сопротивлений до 30 кОм от 3.7 до 4.7В, от 30 до 300 кОм – 11-14В и свыше 300 кОм 120-160В постоянного тока; земное магнитное поле; коэффициент переменной составляющей постоянного тока или напряжения не более 3%. Таким образом, прибор имеет ограниченную область применения. В других условиях эксплуатации погрешности прибора и измерений будут иметь совершенно иные значения.

Частотный диапазон прибора при измерениях силы и напряжения переменного тока соответствует значениям табл.4.2.

Таблица 4.2.

Конечное значение диапазона измерений	Нормальная область частот, Гц	Рабочая область частот, Гц
0.3, 1.5, 6, 30 В	45-60	60 – 10000
60, 150, 300 В	45-60	60-2000
600, 900 В	45-60	60-1000
1.5, 6, 15, 60, 150 мА	45-60	60-10000
600, 1500, 6000 мА	45-60	60-10000

Время установления рабочего режима и показаний прибора не превышает 4 с после включения. Прибор допускает продолжительность непрерывной работы в течение 16 часов в диапазонах измерений, не требующих источников питания. Непрерывная работа омметра прибора определяется нормируемой ёмкостью применяемых электрохимических источников тока и током потребления прибора (табл. 4.1), но не более 16 ч.

Изоляция между восьми изолированными электрическими цепями и корпусом, а также наружными органами управления коммутирующих и регулировочных элементов прибора в нормальных климатических условиях применения выдерживает в течение 1 минуты действие испытательного напряжения значением 3 кВ (действующее значение) переменного тока частотой 50 Гц.

Прибор выдерживает кратковременные перегрузки, не превышающие 25-кратных значений от конечного значения диапазона измерения, но не более 50А в последовательных и 2 кВ в параллельных электрических цепях. Время перегрузки 0,2-20 с интервалом 20с.

При отсутствии источника питания автоматической защиты кратковременные перегрузки (испытательный ток или напряжение) не должны превышать в диапазоне измерений: до 1 А -  $I_{ном}$ ; свыше 1 А -  $2,5(1A+I_{ном})$ ; до 100 В -  $5 U_{ном}$ ; свыше 100 В -  $2 U_{ном}$  (но не более 2 кВ). Время воздействия перегрузки не более 0,5 с интервалом 15с.

Изменение показаний, вызванное изменением положения прибора от нормального до любого значения в пределах температурного диапазона рабочих условий применения, не превышает предела допускаемой основной погрешности (для омметра  $\pm 5\%$ ) на каждые 10 °С изменения температуры.

Изменение показаний, вызванное изменением частоты от границы нормальной области частот до любого значения частоты в смежной части рабочей области (табл. 4.2), не превышает  $\pm 1.5\%$ .

Изменение показаний, вызванное влиянием однородного внешнего постоянного магнитного поля с индукцией 0.5 мТл при самом неблагоприятном направлении магнитного поля, не превышает  $\pm 1.5\%$ .

Изменение показаний, вызванное влиянием однородного внешнего магнитного поля, синусоидально изменяющегося по времени с частотой, одинаковой с частотой тока, протекающего по измерительным цепям испытуемого прибора, при самых неблагоприятных направлениях и фазе магнитного поля, не превышает  $\pm 1.5\%$ .

Индукция магнитного поля при частотах до 1 кГц не должна превышать 0,2 мТл.

Изменение показаний, вызванное влиянием ферромагнитного основания толщиной  $2\pm 5$  мм или влиянием помещённого вплотную с прибором такого же прибора, до этого находившегося на расстоянии не менее 1м, не превышает половины предела допускаемой основной погрешности.

Изменение показаний, вызванное отклонением формы кривой силы или напряжения переменного тока от нормального значения под влиянием 2-й, 3-й или 5-й гармонической составляющей, равной 5% от действующего значения измеряемой силы тока или напряжения не превышает  $\pm 3\%$ .

Габаритные размеры прибора 215\*115\*90мм. Масса прибора не более 1,2 кг.

При работе с прибором необходимо соблюдать действующие типовые правила техники безопасности. При измерениях в цепях с напряжением свыше 36 В. Следует включать и отключать прибор при выключенном напряжении в исследуемой цепи. Недопустимо переключение приборов с одного вида измерений на другой, а также переключение диапазонов измерения без отключения от исследуемой схемы. Измерения в цепях с напряжением свыше 200 В. Должны производиться в присутствии других лиц.

Подключение прибора к исследуемой схеме должно производиться посредством соединительных проводов, предоставляемых с прибором. Подключение прибора к исследуемой цепи с помощью щупов необходимо производить одной рукой, держась за изоляционную втулку щупа. Вторая рука должна быть свободной во избежание прохождения электрического тока через организм человека.

При исследовании электрической схемы прибор должен располагаться так, чтобы при снятии показаний была исключена опасность прикосновения к частям исследуемой схемы, находящимся под напряжением.

Более простую схемотехнику имеют цифровые измерительные приборы. Обычно в основе таких приборов находится специализированная микросхема, преобразующая напряжение в коды символов индикаторов. Внешний вид одного из множества цифровых приборов показан на рис.4.4.

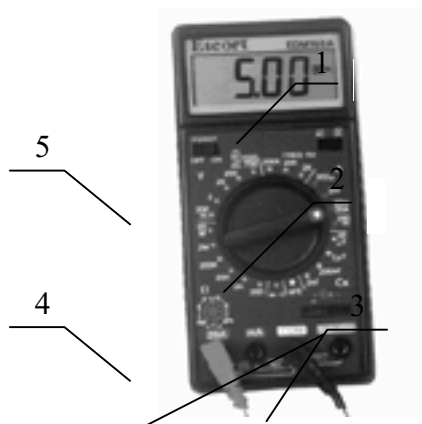


Рис.4.4. Внешний вид цифрового прибора

На лицевой панели прибора располагаются органы управления и индикации: 1 - отсчетное устройство (дисплей); 2 – переключатель диапазонов измерений; 3 – клеммы для подключения щупов; 4 – гнездо для подключения и измерения параметров транзисторов; 5 – кнопки переключения рода работы в зависимости от вида измеряемой величины.

Принципиальная электрическая схема простого цифрового прибора показана на рис.4.5. Цифровой мультиметр состоит из цифроаналогового преобразователя КР57ПВ5А с цепями коррекции, жидкокристаллического индикатора ИЖКЦ-1, входных коммутирующих цепей и батареи питания. Элементы С1, С3-С5, R19, R20 определяют частотные характеристики ЦАП и время преобразования входного сигнала на вход 30 ЦАП, через R17, VD, VD2, R18 и С2 поступает измерительное отрицательное относительно входа 32 напряжение.



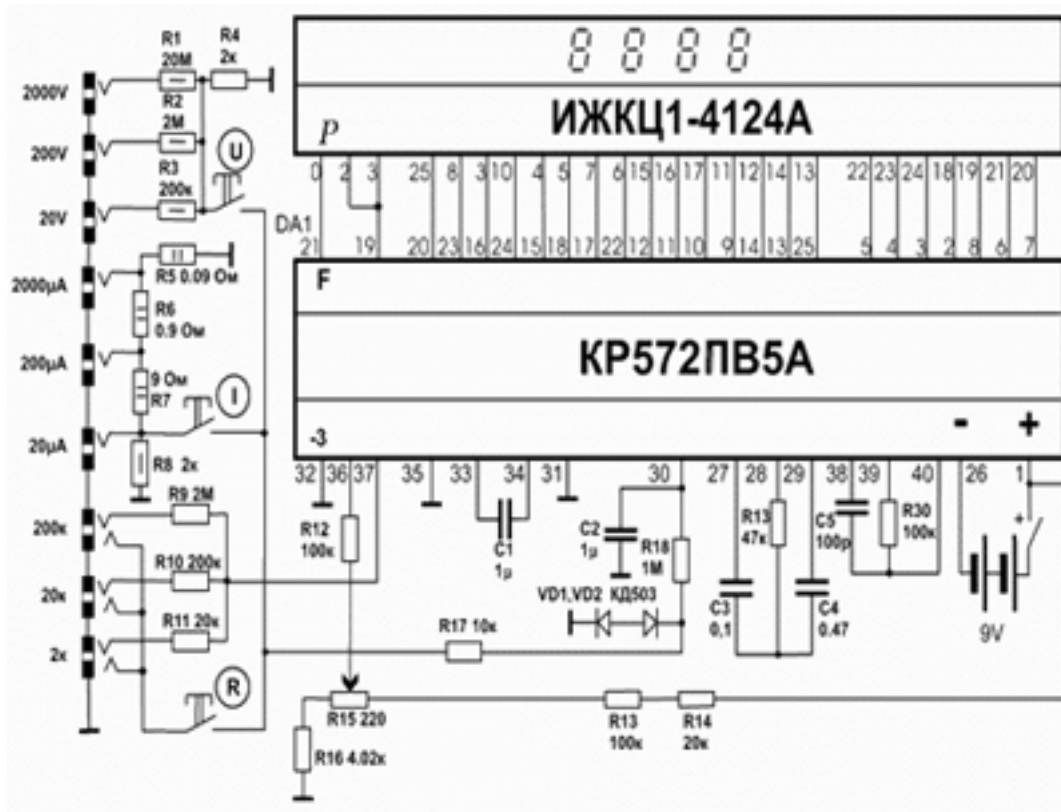


Рис.4.5. Принципиальная электрическая схема цифрового прибора

Делитель R12-R16 представляет собой делитель образцового напряжения 2В, полученного внутренним стабилизатором микросхемы (выв36-вход, 37 выход). Резисторы R1-R4 образуют делитель входного напряжения. R5-R8 образуют шунт для падения напряжения, в зависимости от силы протекающего тока. В обоих случаях, при измерении напряжения им силы тока, на вход 30 ЦАП поступает значение напряжения.

Резисторы R9-R11 играют роль одного плеча делителя, вместо второго плеча - измеряемое сопротивление R. Измеренное на входе 30, напряжение преобразовывается в код для семисегментных индикаторов и передаётся на вход ИЖКЦ-1. четырьмя цифрами и знаком полярности.

Рассмотрим, какими характеристиками обладают цифровые приборы на примере устройств ряда М830–М837. Нормальными условиями эксплуатации считается температура  $23 \pm 5$  °С и относительная влажность менее 75%. Другие данные, характерные для стрелочных приборов, в паспортах не указываются. Пределы измерений, разрешение и точность прибора приведены в табл.4.3.

Таблица 4.3

Предел	Разрешение	Точность
Постоянное напряжение		
200 мВ	100 мкВ	$\pm 0.25\% \pm 2$ ед. счета
2000 мВ	1 мВ	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
20 В	10 мВ	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
200 В	100 мВ	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
1000 В	1 В	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
Переменное напряжение в эффективных значениях сигнала (45-450 Гц)		

200 В	100 мВ	$\pm 1.2\% \pm 10$ ед. счета
750 В	1 В	$\pm 1.2\% \pm 10$ ед. счета
Постоянный ток		
200 мкА	100 нА	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета
2 мА	1 мкА	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета
20 мА	10 мкА	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета
200 мА	100 мкА	$\pm 1.2\% \pm 2$ ед. счета
10 А	10 мА	$\pm 2\% \pm 2$ ед. счета
Сопротивление		
200 Ом	100 МОм	$\pm 0.8\% \pm 2$ ед. счета
2000 Ом	1 Ом	$\pm 0.8\% \pm 2$ ед. счета
20 кОм	10 Ом	$\pm 0.8\% \pm 2$ ед. счета
200 кОм	100 Ом	$\pm 0.8\% \pm 2$ ед. счета
20000 кОм	1 кОм	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета

Прибор имеет встроенную защиту от перегрузок. При измерении напряжения защита сработает при 200В эффективного значения на пределе 200 мВ и 1000В постоянного или 750В эффективного на остальных пределах. Защита для измерения постоянных токов сработает при 250В на пределе 200 мА (плавкий предохранитель) или на пределе 10А (без предохранителя). При измерении сопротивления защита от перегрузок сработает по истечении 15 с, если на щупах присутствует эффективное значение напряжения 200В.

Большинство приборов комплектуется звуковым пробником для прозвонки цепей схем. Встроенный зуммер звучит, если сопротивление цепи менее 1 кОм. Некоторые мультиметры имеют функцию измерения температуры с помощью термопары типа «К». Диапазон температур от -20 до 1370 °С. Точность измерения температур  $\pm 3^\circ\text{C}$  до 150 °С и  $\pm 3\%$  выше 150 °С.

Некоторые приборы имеют возможность измерять  $h_{21E}$  транзисторов (n-p-n, p-n-p) при токе базы 10мкА и напряжении коллектор-эмиттер 2.8В. Еще одна функция прибора – это встроенный генератор меандра частотой 50 или 1000 Гц. Выходное напряжение генератора до 5В.

## 5 ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Осциллограф отображает электрические сигналы в виде осциллограммы на ЭЛТ. Различают одно- и двухлучевые осциллографы. Типичный двухканальный осциллограф, позволяет одновременно наблюдать на экране два сигнала, а протяженностью индикации во времени можно управлять посредством встроенного в прибор генератора. Рассматриваемый нами базовый прибор удобен для фиксации и индикации периодических сигналов независимо от их формы. Схема запуска в осциллографе устанавливается на инициирование развертки, когда входной сигнал превышает заданное напряжение, а направление запуска (т.е. сигнал с положительным или отрицательным переходом) можно выбирать. В случае периодического входного сигнала после установки осциллографа на запуск в требуемой точке и после установки скорости развертки на экране появляется неподвижное изображение, так как последовательные сигналы накладываются друг на друга. При отладке и тестировании микропроцессорных систем осциллографом можно проверить все временные характеристики сигналов, для тестирования необходима программная поддержка.

Рассмотрим принцип действия электронного осциллографа. Хотя структурные схемы осциллографов достаточно сложны, для изучения принципа действия этих приборов достаточно рассмотреть простейшую схему, состоящую из трех элементов: усилителя вертикально отклоняющего напряжения, генератора развертки G и ЭЛТ (рис.5.1).

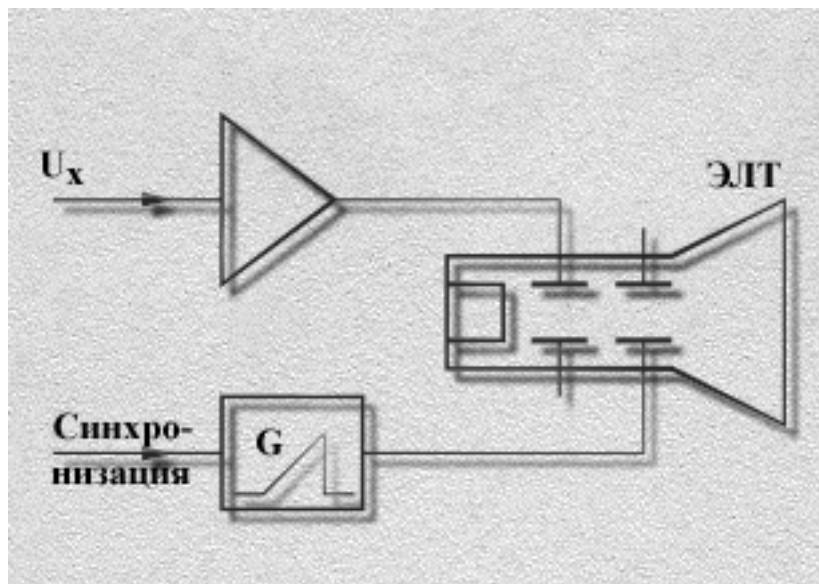


Рис.5.1 Простейшая схема осциллографа

Исследуемое напряжение  $U_x$  подводят ко входу усилителя и затем на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Под действием этого напряжения луч отклоняется по оси ординат. Отклонение луча по оси абсцисс обусловлено действием напряжения развертки, которое изменяется во времени по линейному закону. Отклонение луча по оси абсцисс также является линейной функцией времени. Траекторию луча называют осциллограммой исследуемого колебания. Поскольку отклонение луча по оси ординат пропорционально мгновенному значению колебания, а отклонение по оси абсцисс - времени, то на экране ЭЛТ в некотором масштабе воспроизводится зависимость  $U_x(t)$ .

Размеры экрана и отклоняющее напряжение ограничены, поэтому напряжение развертки возрастает до определенного уровня, при котором луч, двигаясь вправо, достигает границы рабочей части экрана. Продолжительность возрастающего участка напряжения развертки оценивают длительностью  $T_p$  прямого хода развертки. По окончании прямого хода напряжение развертки уменьшается до начального уровня. Пятно при этом перемещается справа налево, совершая обратный ход развертки. За время  $T_o$  обратного хода напряжение развертки уменьшается по нелинейному закону, поэтому траектория луча не несет полезной информации и лишь искажает осциллограмму. Во избежание этого на время обратного хода на модулятор ЭЛТ подают запирающее напряжение, так что луч гасится. Генераторы развертки строят так, чтобы длительность обратного хода была меньше длительности прямого хода развертки.

При осциллографировании периодических колебаний необходимо, чтобы за каждый период исследуемого напряжения луч перемещался по одной и той же траектории. Для этого синхронизируют период развертки с периодом повторения исследуемого сигнала (рис.5.2, а): период развертки устанавливают равным целому числу периодов повторения исследуемого сигнала.

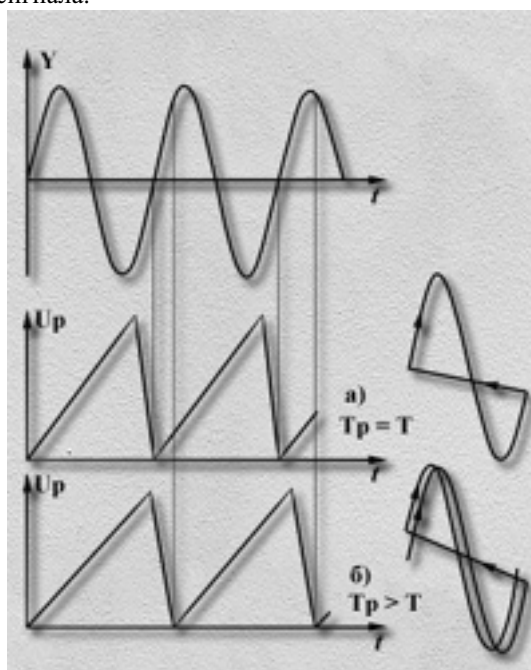


Рис.5.2 Временные диаграммы синхронизации

Если  $T_p = T$ , т. е. имеет место режим синхронизации, то началу первого периода развертки соответствует  $Y=0$ , затем луч прочерчивает почти полный период синусоиды. К моменту начала второго периода развертки входное

напряжение обращается в нуль, поэтому луч попадает в ту же точку и в дальнейшем движется по той же траектории. Такое движение луча создает неподвижную осциллограмму периода колебания  $U_x(t)$ . Если необходимо получить на экране  $n$  периодов, то период развертки должен быть в  $n$  раз больше периода исследуемого колебания.

При нарушении синхронизации ( $T_p > T$ , рис.5.2, б) в момент начала второго периода развертки  $Y > 0$  и луч отклоняется вверх. Синусоидальная траектория луча при этом не будет совпадать с траекторией, полученной за первый период сдвинутых по фазе синусоидальных кривых, обычно наблюдаемых на экране как светлый прямоугольник.

Для исследования непериодических импульсных напряжений применяется ждущая развертка. В этом режиме генератор развертки запускается перед каждым пришедшим импульсом. К моменту начала каждого импульса напряжение развертки имеет определенное значение, поэтому начало каждого импульса соответствует одной и той же точке на экране. Поскольку скорость нарастания напряжения развертки в каждом цикле постоянна, то траектории луча, вызванные всеми импульсами, совпадают, и на экране возникает неподвижная осциллограмма импульса.

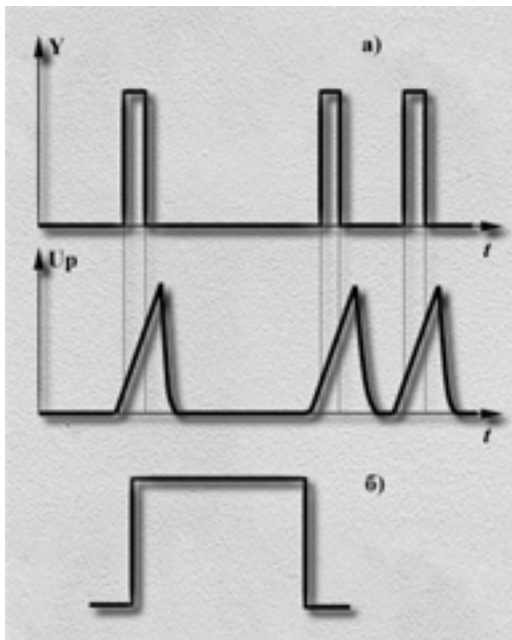
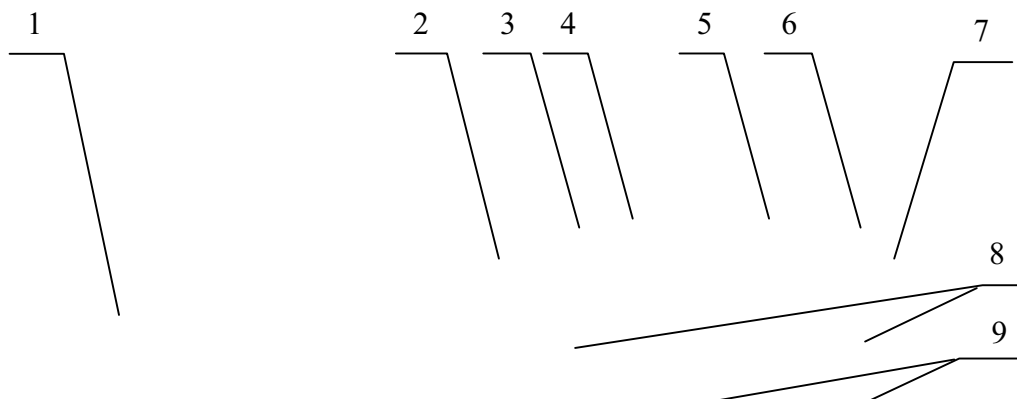


Рис. 5.3. Временные диаграммы развертки. Длительность прямого действия импульса больше длительности импульса (рис.5.3, а), поэтому осциллограмма импульса (рис.5.3, б) занимает большую часть экрана. Режим ждущей развертки целесообразен при периодических импульсных напряжениях с большой скважностью, поскольку, изменяя скорость развертки, можно установить удобный для наблюдения размер импульса по горизонтали.

Кроме линейной развертки, предусмотренной во всех выпускаемых промышленностью осциллографах, существуют и другие типы разверток, например круговая или спиральная, применяемые при измерении фазовых соотношений. В этих развертках луч движется с постоянной угловой скоростью по кругу или по спирали, что позволяет получать большую по сравнению с диаметром экрана длину линии развертки.

Рассмотрим, например, двухлучевой универсальный осциллограф С1-74 [6]. На рис.5.4 показана лицевая панель осциллографа.

Рассмотрим некоторые, основные, органы управления и контроля, расположенные на лицевой панели осциллографа: 1 – экран ЭЛТ; 2,7 – регулятор уровня захвата развертки, лучей А и Б; 3,6 – переключатель развертки (Время/Дел), лучей А и Б; 4,5 – переключатель вида развертки (автоматической, ждущей или однократной), лучей А и Б; 8 – переключатель масштаба амплитуды входного сигнала (V/Дел), прямого и дифференциального входов луча А; 9 – переключатель вида входного сигнала; 10 – регуляторы подсвета шкалы, яркости и фокуса лучей. Позиции 8 и 9 сохраняются для нижнего блока луча Б.





Универсальность осциллографа обеспечивается сменными блоками в каналах вертикального и горизонтального отклонения, вставляемыми в базовый блок.

Принцип действия осциллографа поясняется его структурной схемой (рис.5.5), на которой показаны основные функциональные узлы и их взаимосвязь.

Осциллограф состоит из следующих функциональных узлов:

- двух каналов вертикального отклонения,
- двух каналов горизонтального отклонения,
- двух усилителей подсвета,
- индикатора, калибратора,
- схемы коммутации,
- усилителя канала “Z”,
- блока питания.

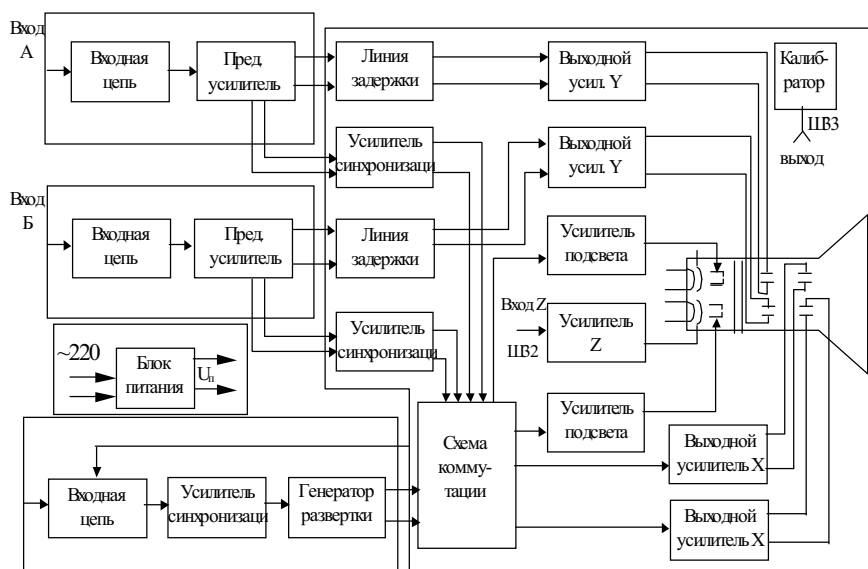


Рис.5.5 Структурная схема двухлучевого осциллографа

Исследуемый сигнал подается в канал вертикального отклонения на входную цепь, состоящую из входных разъемов, переключателей режимов входов и коэффициентов отклонения, затем сигнал поступает на предварительный усилитель. Функции входных цепей и предварительных усилителей выполняют сменные блоки типа Я40-1 (1У).

В зависимости от типа сменного блока в составе предварительного усилителя может находиться коммутатор (двухканальный блок), преобразователь (логарифмический блок) или другое функциональное устройство, выполняющее функцию предварительного усилителя и обработки сигнала.

Далее сигнал, преобразованный в парафазный, поступает на симметричную линию задержки для компенсации времени срабатывания (запаздывания) канала горизонтального отклонения. Линия задержки выполняет свои функции при работе с блоками, работающими в реальном масштабе времени. Для компенсации времени срабатывания канала горизонтального отклонения при работе со стробоскопическими блоками необходима внешняя линия задержки, входящая в комплект блока Я40-2700 (1Р71), включаемая между источником исследуемого сигнала и входной цепью. С линии задержки сигнал поступает на выходной усилитель У, который возбуждает соответствующую пару сигнальных пластин ЭЛТ.

С выхода предварительного усилителя часть исследуемого сигнала подается на усилитель внутренней синхронизации. Усиленный этим усилителем сигнал через схему коммутации поступает на вход канала горизонтального отклонения для запуска развертки.

Схема коммутации позволяет производить выбор запуска развертки того или другого канала горизонтального отклонения. Запускающие сигналы как внутренние так и внешние, подаются на входные цепи канала, состоящие из входных разъемов, аттенюатора, переключателей полярности и вида синхронизации. После прохождения входной цепи и синхронизатора, выполняющего функции нормирующего устройства, сигнал подается на генератор развертки, который формирует пилообразное линейное или ступенчатое (стробоскопическое) напряжение для отклонения лучей ЭЛТ пропорционально времени.

Входные цепи, синхронизатор и генератор развертки объединены и выполнены в виде сменного блока Я40-2 (1Р).

Входные сигналы генератора развертки (пилообразное напряжение и импульс подсвета) поступают через схему коммутации на выходные усилители развертки и усилители импульсов подсвета.

Схема коммутации позволяет осуществить подачу пилообразного напряжения разверток и подсветных импульсов с выхода блока Я40-2 (1Р) соответственно на выходной усилитель развертки и усилитель импульсов подсвета того или другого канала горизонтального отклонения или на соответствующие усилители обоих каналов одновременно. Это позволяет получать различные режимы работы осциллографа и повышает его универсальность.

Усилитель развертки усиливает пилообразное напряжение до величины, необходимой для получения требуемого временного масштаба изображения, и выдает его на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Усилитель импульсов подсвета усиливает поступившие с блока Я40-2 (1Р) импульсы и выдает

на модулятор ЭЛТ положительные импульсы подсвета для отпираания луча на время прямого хода развертки.

Для преобразования исследуемых электрических сигналов в видимое изображение в осциллографе служит индикатор, в котором используется двухлучевая ЭЛТ типа 13ЛО16А.

В состав осциллографа входит калибратор амплитуды и времени, предназначенный для калибровки коэффициентов отклонения каналов вертикального отклонения и коэффициентов развертки каналов горизонтального отклонения.

Усилитель канала «Z» усиливает подаваемые на разъем ВХОД Z сигналы внешней модуляции и выдает их на катод ЭЛТ для получения временных яркостных меток на экране ЭЛТ.

Электропитание осциллографа осуществляется от сети переменного напряжения, которое преобразуется и стабилизируется схемой питания до требуемых величин.

### 5.1 Подготовка к проведению измерений.

Все операции по исследованию параметров электрических сигналов производятся по изображению формы исследуемых сигналов на экране ЭЛТ. Рабочей частью экрана каждого луча является участок экрана размером 60x100 мм. Рабочие части экрана обоих лучей совмещены. К экрану прикреплена шкала размером 60x100 мм, которая разделена на 6 вертикальных и 10 горизонтальных делений, каждое деление - 10 мм. Большие деления на шкале экрана нанесены с двух сторон, благодаря чему уменьшается ошибка за счет параллакса при совмещении изображения исследуемого сигнала с линиями шкалы. На центральных линиях (горизонтальной и вертикальной) шкалы каждое деление разбито на 5 малых делений, расположенных друг от друга на расстоянии, равном 2 мм.

Изображение исследуемого сигнала на экране ЭЛТ может быть получено как в режиме реального времени, так и в режиме стробоскопического преобразования (в случае применения стробоскопических блоков).

Для сохранения параметров исследуемого сигнала используйте выносные делители, пробники и высокочастотные кабели из комплекта ЗИП.

Во всех случаях рекомендуется подавать сигнал выносным делителем или выносным пробником, так как при этом обеспечивается наименьшая нагрузка исследуемой цепи.

Если источник сигнала имеет выходное сопротивление 50 Ом, то соединительный кабель обязательно должен нагружаться у входов блоков на волновое сопротивление, равное 50 Ом (кроме стробоскопических). Низкочастотные сигналы большой амплитуды могут подаваться непосредственно на входы блоков с помощью кабеля, заканчивающегося штекерами. Этот вид подачи наиболее удобен для сигналов с частотой ниже 1 кГц при коэффициенте отклонения блока свыше 1 В/Дел.

Если внешние наводки окажутся недопустимыми, используйте кабель, заканчивающийся с обеих сторон разъемами, выносной делитель или активный пробник.

Необходимо помнить, что заземляющая шина длиной в несколько сантиметров может создать «звон» порядка нескольких процентов.

Потери, вызываемые рассеянием энергии в диэлектрике кабеля пропорциональны частоте сигнала. Таким образом, большая часть высокочастотной информации в импульсе с малым временем нарастания, может быть потеряна в соединительном кабеле длиной всего в несколько десятков сантиметров, в случае, если он не согласован с его волновым сопротивлением.

#### 5.2 Проведение измерений.

1) Для подготовки осциллографа к измерениям амплитудных и временных параметров исследуемых сигналов производите калибровку коэффициентов отклонения и развертки каналов вертикального и горизонтального отклонения.

2) Калибровку канала вертикального отклонения производите в следующей последовательности:

Подключите выход калибратора на (разъем ВЫХОД) к входному разъему сменного блока типа Я40-1 (1У) с сопротивлением входа 50 МОм (со сменными блоками с сопротивлением 50 Ом этот режим не может быть использован). Установите ручку ОТКЛ-1 Mhz - в положение « », ручку КАЛИБРАТОР,  $V$  - в положение  $E$  обеспечивающее необходимую величину калибрационного сигнала « » на разъеме ВЫХОД. Установите автоколебательный режим работы развертки при коэффициенте развертки 0.5 или 1ms/Дел.

Произведите калибровку вертикального тракта с помощью органов корректировки усиления на передней панели сменного блока, устанавливая изображение калибрационного сигнала в средней части шкалы экрана ЭЛТ размером в 5 делений, При калибровке ручка плавного изменения коэффициента отклонения - в положении КАЛИБР.

Калибровку стробоскопических блоков производите от калибратора, расположенного в блоке Я40-2700 (1Р71).

3) Калибровку канала горизонтального отклонения производите в следующей последовательности.

Установите ручку ВРЕМЯ/ДЕЛ блока Я40-2 (1Р) в положение «1 $\mu$ s». Подавайте калибрационный сигнал 1 МГц с выхода калибратора на вход блока типа Я40-1 (1У). Размер изображения на экране установите 2-3 деления и с помощью регулировки КОРР-ВРЕМЯ/ДЕЛ соответствующего луча, расположенной на верхней обшивке осциллографа, добейтесь совмещения каждого периода сигнала с делением шкалы экрана. Затем установите ручку РАСТЯЖКА в положение “x10” и с помощью регулировки КОРР-РАСТЯЖКА того же луча добейтесь совпадения периода сигнала с крайними точками осевой горизонтальной линии шкалы экрана ЭЛТ.

4) Измерение амплитуд или временных интервалов сигналов производите методом калиброванной шкалы.



Этот метод измерения амплитуд или временных интервалов основан на измерении линейных размеров изображения непосредственно по шкале экрана ЭЛТ. Измеряемую величину подсчитывайте по формуле:

$$A=B \cdot C \cdot D,$$

где А - искомая величина сигнала, В - число делений, С - значение положения переключателей коэффициента отклонения ( $V/\text{ДЕЛ}$ ,  $mV/\text{ДЕЛ}$ ) или коэффициента развертки ( $\text{ВРЕМЯ}/\text{ДЕЛ}$ ), Д - коэффициент передачи делителя, пробника или множителя развертки.

Метод измерения по калиброванной шкале является основным методом измерения данного осциллографа, для которого приведены нормы погрешностей. Величины погрешностей для наихудшего случая - минимальный размер изображения (2-4 деления по вертикали и 4 деления по горизонтали). Необходимо стремиться к тому, чтобы измеряемая часть сигнала занимала 80-90% рабочей части шкалы экрана ЭЛТ. В этом случае погрешность измерения амплитуд подсчитывается по формуле:

$$\Delta u = 1.7 + 8/B, \quad (1)$$

а погрешность измерения временных интервалов по формуле:

$$\Delta u = 1.2 + 15/B. \quad (2)$$

5) Измерение величины постоянного напряжения производите в следующей последовательности операций:

- установите переключатель коэффициента отклонения в такое положение, чтобы смещение луча от подачи на вход блока постоянного напряжения происходило примерно на 5 делений;
- если подаете положительное постоянное напряжение, то перед подачей сигнала сместите луч к нижней границе рабочей шкалы;
- если же измеряемое напряжение отрицательной полярности, то сместите луч к верхней границе рабочей части ЭЛТ:
- установите переключатель входа в положение « $\approx$ »;
- после того как луч будет установлен в верхней или нижней части экрана ЭЛТ, не вращайте ручку « $\gg$ » для предотвращения имитации ложного сигнала;
- подайте постоянное напряжение и отсчитайте, на сколько делений отклонится луч вверх или вниз от начального положения;
- величину постоянного напряжения подсчитайте по формуле (1).

6) Измерение величины сигнала на уровне постоянного напряжения производите в следующей последовательности операций:

- установите переключатель входа блока Я40-1 (1У) в положение « $\approx$ »;
- если уровень постоянного напряжения положительный, то перед подачей сигнала, который находится на уровне постоянного напряжения, сместите ручкой « $\gg$ » луч в нижнюю часть шкалы ЭЛТ;
- подайте сигнал на вход блока Я40-1 (1У);

- переключатель коэффициента отклонения блока установите в такое положение, чтобы изображение находилось в пределах рабочей области экрана ЭЛТ;
- установите длительность развертки такой, чтобы на экране было видно несколько периодов сигнала;
- убедитесь, что ручка плавного изменения коэффициента отклонения находится в положении КАЛИБР, и измерьте в делениях величину изображения от пика до пика.

Величину сигнала постоянного напряжения можно подсчитать по формуле (1).

7) Измерение мгновенного значения напряжения с учетом постоянной составляющей производите в последовательности операций, указанной в п. 6.

После того, как убедитесь, что ручка плавного изменения коэффициента отклонения находится в положении КАЛИБР, измерьте в делениях расстояние от первоначального положения луча на экране ЭЛТ до нужной точки.

Величину мгновенного значения напряжения в выбранной точке можно подсчитать по формуле (1).

8) Дифференциальные свойства блоков значительно расширяют возможности их использования.

Например, с помощью дифференциального блока удобно настраивать двух- и многоканальные системы, у которых выходные сигналы всех каналов должны быть одинаковы. Для этого на один вход блока подается сигнал, принятый за эталон, а на другой вход - поочередно сигналы остальных каналов и определяется их отличие от эталонного на экране ЭЛТ.

С помощью дифференциального блока можно исследовать малые изменения напряжения на большом уровне постоянного напряжения.

Для этого на один вход подается исследуемый сигнал, а на другой вход - постоянное напряжение от эталонного источника той же полярности, что и составляющая исследуемого сигнала. Постоянное напряжение взаимно компенсируется и наблюдается только переменная составляющая сигнала.

Дифференциальный блок позволяет детально исследовать отдельные участки импульсов, В этом случае на один вход подайте исследуемый импульс, в 5-10 раз превышающий по величине сигнал, соответствующий максимальному изображению. На второй вход подайте постоянное напряжение от эталонного источника той же полярности, что и импульс. Регулируя величину эталонного напряжения, можно вывести на экран ЭЛТ любой участок импульса и рассматривать его в увеличенном масштабе.

9) Подавление синфазных сигналов производите в следующей последовательности:

- подайте исследуемый сигнал с помехой на один из входов блока;
- на второй вход подайте сигнал, подобный сигналу помехи;

- установите оба переключателя входов в положение « $\approx$ » или в положение « $\sim$ », если постоянная составляющая входного сигнала слишком большая. Сигнал, который остается на экране ЭЛТ, должен составлять только полезный сигнал без составляющей помехи, т.к. помеха подавляется.

При подавлении помехи величина ее размаха не должна превышать 1В в положении «0.01» переключателей *V/ДЕЛ*.

При увеличении коэффициента отклонения величина помехи может иметь большие значения. Например, если переключатель *V/ДЕЛ* установлен в положение «0.2», то величина размаха напряжения, подаваемая на этот вход, не должна превышать 12 В.

10) Метод измерения временных интервалов с помощью калиброванных меток основан на создании на линии развертки меток от внешнего генератора калиброванной частоты и подсчете их числа на измеряемом интервале.

Этот метод позволяет уменьшить погрешность измерения временных интервалов до величины, равной сумме величин погрешностей опорной частоты и отсчета. Так, например, при использовании генератора стандартных сигналов с погрешностью установки частоты 1% и числе меток на измеряемом интервал, равном 50, погрешность измерения составит 2-3%.

Калиброванные метки следует подавать на вход *Z*.

11) Измерение длительности фронта импульса производите путем измерения временного интервала между точками, расположенными на изображении сигнала на уровне 0.1 и 0.9 от амплитуды измеряемого импульса. Длительность спада измеряется аналогично.

Последовательность операций измерения следующая:

- подавайте исследуемый импульс на вход усилителя вертикального отклонения и установите размер изображения импульса по вертикали на всю рабочую часть экрана;
- установите такую длительность развертки, чтобы измеряемый участок занимал по горизонтали наибольший размер, и расположите его по возможности симметрично относительно вертикальной оси шкалы;
- установите ручкой « $\longleftrightarrow$ » изображение сигнала на одну из нижних точек шкалы, нанесенных на уровне 0.1 рабочей части шкалы;
- измерьте расстояние по горизонтали между точками на изображении сигнала на уровнях 0.1 и 0.9 рабочей области шкалы в делениях шкалы;
- умножьте это расстояние на показание переключателей *ВРЕМЯ/ДЕЛ* и *РАСТЯЖКА*.

## **6 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ**

Проведение измерений электрических сигналов в микропроцессорных системах не отличается коренным образом от аналогичных измерений в других электронных системах. Но следует помнить, что получить некоторые сигналы можно только с помощью программной поддержки. Еще важно

помнить, что подавляющее большинство сигналов это непериодические последовательности импульсов.

6.1 Измерение напряжений. В микропроцессорных системах применяется целый ряд напряжений. Напряжения переменного тока применяются, как правило, во входных цепях блоков питания. Питание компонент системы осуществляется напряжением постоянного тока. Наиболее часто применяются напряжения +5В, +12В, -12В, +3.3В, +2.8В и реже -5В. Измерение напряжений питания это первый шаг процесса отладки и тестирования микропроцессорной системы.

К питающим напряжениям применяются жесткие требования с точки зрения пределов изменения и пульсаций. Это определяется тем, что при повышенном напряжении элементы (микросхемы) выходят из строя, а при пониженном система работает со сбоями.

Для постоянных стабилизированных напряжений +5В, +12В, -12В и -5В допускается отклонение  $\pm 5\%$  с нестабильностью и пульсацией не более  $\pm 1\%$ . Питание устройств памяти, часов реального времени и процессоров (Pentium) в персональных компьютерах производится напряжением 3.3В. Диапазон допустимых изменений от 3.135В до 3.6В. Период пульсаций, в указанном диапазоне, должен быть не более 20% от периода тактовой частоты процессора.

Существует целое семейство цифровых микросхем (однокристальные ЭВМ, Flash -память) где допускается широкий рабочий диапазон напряжений. Например, для EEPROM типа AT24C32(64) есть следующий ряд диапазонов:  $5 \pm 5\text{В}$ , от 2.7В до 5.5В, от 2.5В до 5.5В, от 1.8В до 5.5В.

Таким образом, в некоторых случаях от точности установки питающих напряжений напрямую зависит работоспособность системы и ее исправность. Следовательно, требуется не только установить точное значение напряжения, но и скорректировать его с учетом погрешности измерений и прибора.

Измерение напряжений можно производить цифровым или стрелочным прибором. При этом щупы прибора подключаются непосредственно к выводам питания микросхемы (рис.6.1). Если в силу малых габаритов элемента или особенностей монтажа такое подключение невозможно, то необходимо найти ближайший элемент с тем же напряжением питания или измерить напряжение на разъеме.



Рис.6.1 Измерение напряжения в схеме

Измерительный прибор должен быть включен в режиме измерения напряжения постоянного тока. Предел измерений должен быть ближайшим, но большим, как минимум, в 1.5-2 раза, чем ожидаемое значение. Например, при измерении напряжения +5В, предел может быть 6В, а при измерении  $\pm 12В$  предел – 30В.

В некоторых случаях измеряются значения напряжений на информационных входах или выходах микросхем. Но следует помнить об импульсном характере сигнала. Если прибор имеет в основе магнитоэлектрическую систему, а состояние входов-выходов статическое, то будет измерено пиковое значение сигнала. Применяя тот же тип прибора, но для измерения динамического сигнала, получим интегральное или эффективное значение напряжения.

Уровни напряжений, соответствующие логическим уровням, на входах и выходах микросхем имеют различные значения (рис.6.2).

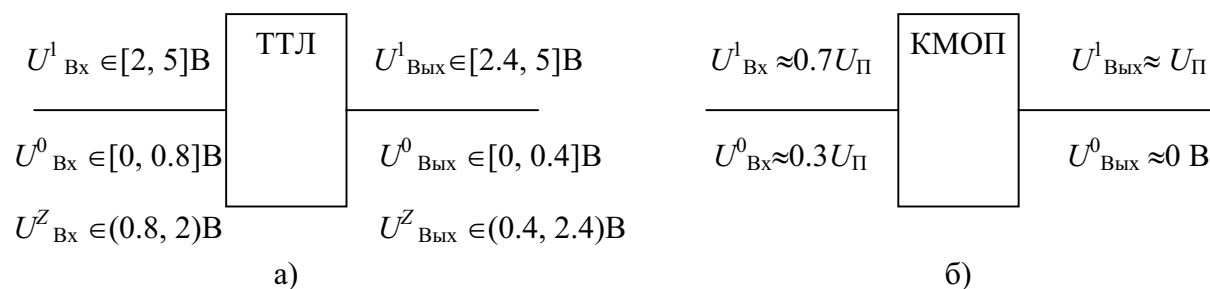


Рис.6.2 Характеристики входного и выходного напряжений ТТЛ элемента (а), КМОП элемента (б)

Для элементов выполненных по технологии ТТЛ характерен четкий диапазон напряжений. Это в первую очередь связано, с необходимостью обеспечивать, протекание тока через транзисторные схемы логического элемента. Напряжение питания ТТЛ-схем не превышает 5В. В элементах КМОП, построенных на базе полевых транзисторов, диапазон напряжений определяется в процентном отношении от напряжения питания  $U_{\Pi}$ . В свою очередь напряжение питания может меняться от 3В до 15В. Существуют другие технологии изготовления микросхем, работающих с пониженным энергопотреблением.

6.2 Измерение силы тока. Методы измерения силы тока в микропроцессорных системах такие же, как и в другой электронной аппаратуре. Прибор установленный в режим измерения силы тока, включается последовательно, в измерительную цепь. При проведении измерений стрелочными приборами следует соблюдать полярность включения. Цифровые приборы, в результате несоблюдения полярности, показывают отрицательные значения.

Потребляемый схемой ток определяется количеством элементов в схеме, технологией их изготовления и частотой переключений. Таким образом, потребляемый схемой ток, в процессе ее работы меняется. Источники питания персональных компьютерных систем рассчитаны на максимальные выходные токи в 10-20 А. Однако реальное потребление гораздо ниже.

Для микросхем, выполненных по технологии КМОП, характерны малые рабочие токи, порядка 5 мА. Микросхемы ТТЛ низкой степени интеграции потребляют от 50 до 100 мА.

Микросхемы ТТЛ высокой степени интеграции (БИС, СБИС) потребляют более 100 мА на один корпус. На рис. 6.3 показаны значения входных и выходных токов в соответствии с логическими состояниями.

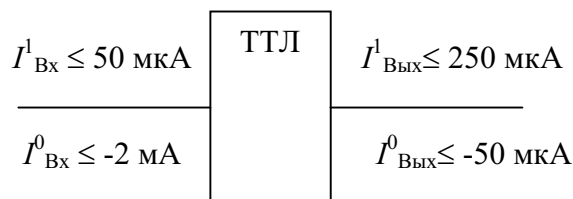


Рис.6.3 Характеристики входных и выходных токов ТТЛ-элемента

Потребление тока резко возрастает в случаях пробоя микросхем и короткого замыкания на общий провод питания. Иногда это приводит к выходу из строя источника питания микропроцессорной системы, чаще срабатывает защита по току. Потребляемый ток значительно превышает рабочий. Таким образом, измерив, значение тока можно определить неисправность системы.

6.3 Измерение сопротивлений. В микропроцессорных системах измерение сопротивления применяется также часто, как и измерение напряжений. Это обусловлено тем, что по значениям сопротивлений определяется исправность компонентов системы.

В первую очередь измеряют сопротивление между шинами питания, чтобы исключить короткие замыкания. При выходе из строя микросхемы (пробое) ее сопротивление очень мало, практически равно нулю. Очень часто выходят из строя конденсаторы, подключенные параллельно выводам питания микросхем. Учитывая плотность монтажа и количество выводов микросхем, поиск неисправного элемента может оказаться нетривиальным. Сопротивление исправной схемы, по шинам питания, составляет несколько десятков Ом в прямом включении прибора, и несколько меньше в обратном.

Следует заметить, что стрелочный прибор, включенный для измерения сопротивлений, имеет полярность. Это хорошо заметно, если измерить сопротивление диода.

Во вторую очередь измерение сопротивления применяют для так называемой «прозвонки». Здесь точное значение сопротивления не важно. Главное высокое оно или близко к нулю. Таким способом определяют обрывы проводников трасс печатных плат, кабелей, пробой транзисторов, диодов и других дискретных элементов.

Измерение сопротивлений производят параллельным подключением щупов прибора к измеряемой цепи (рис.6.4). Предел измерений должен быть установлен заранее с учетом ожидаемого значения.

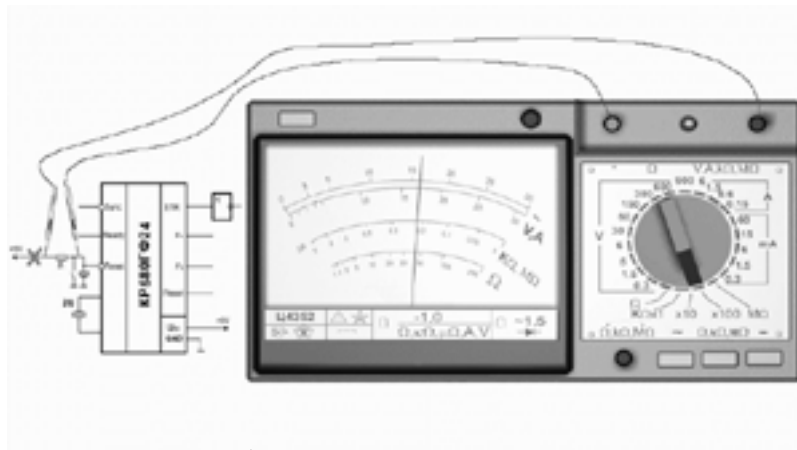


Рис.6.4 Способ измерения сопротивления

При измерении сопротивлений схема должна быть обесточена, в противном случае источник питания системы влияет на проводимые измерения и может быть причиной поломки прибора.

6.4 Измерение временных характеристик сигналов. Выполняется при помощи электронного осциллографа. Настройка осциллографа производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Вход прибора подключается параллельно измеряемой цепи. Временная диаграмма наблюдается на экране (рис.6.5).

Тестирование осциллографом микропроцессорных систем можно осуществить, организовав циклическое или периодическое изменение сигнала или переведя систему в режим свободного счета. Таким образом, можно измерить частоту повторения сигналов на всех линиях шины адреса, чтобы убедиться в отсутствии отказов. Тест свободного счета формирует периодические сигналы на всех линиях адреса, и запуск осциллографа возможен с любой из них.

С помощью простых тест-программ образуются периодические сигналы в других блоках вычислительной системы, например в выходных портах. Используя осциллограф, составляются временные диаграммы работы микропроцессорной системы. При этом в память микропроцессорной системы записывается циклическая программа из нескольких команд. Прерывания в системе запрещаются.

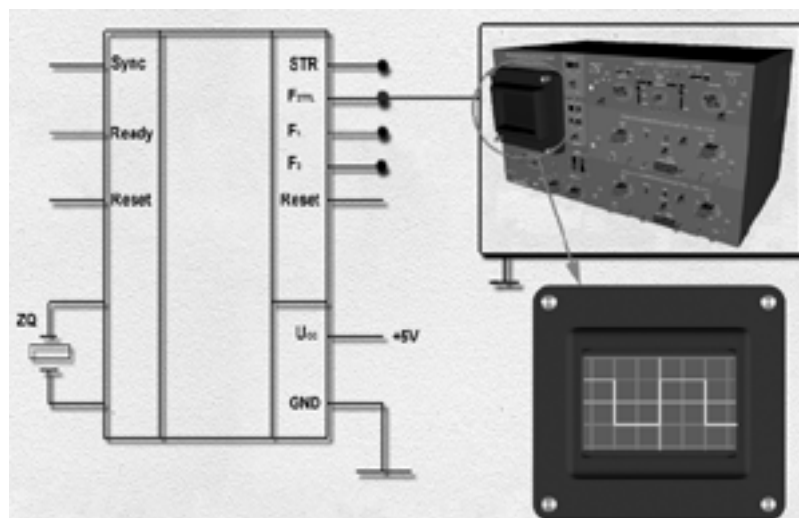


Рис.6.5 Построение временных диаграмм с помощью осциллографа

Двухлучевой осциллограф позволяет построить временную диаграмму с количеством сигналов большим, чем два. Для этого выбирают некоторый сигнал в качестве главного, синхронизируют осциллограф по этому сигналу, и относительно него снимают показания других сигналов.

Пусть необходимо построить временную диаграмму выполнения микропроцессором i8080 программы из нескольких команд.

Тогда запишем в память системы коды команд программы, где первая команда запрещает прерывания, последняя команда закидывает выполнение исследуемой программы. Зная, что в начале каждого машинного цикла выполнения команд, процессор формирует сигнал Sync, выбираем его в качестве основного. Далее устанавливаем вход, например луча А осциллографа, на линию связи, соответствующую сигналу Sync. Запускаем программу на выполнение и добиваемся статической картинки сигнала на экране осциллографа. Чертим на листе временную диаграмму сигнала. Вторым входом, например луча Б, поочередно подключаем к линиям связи других сигналов и чертим относительно Sync поведение других сигналов.

Для показанной на рис.6.6 временной диаграммы выполнения одной команды последовательность записи сигналов следующая: SYNC, SYNC – READY, SYNC – WAIT, SYNC – DBIN, SYNC – WR, SYNC – A0(A15), SYNC – D0(D7), SYNC – F1, F1 – F2.

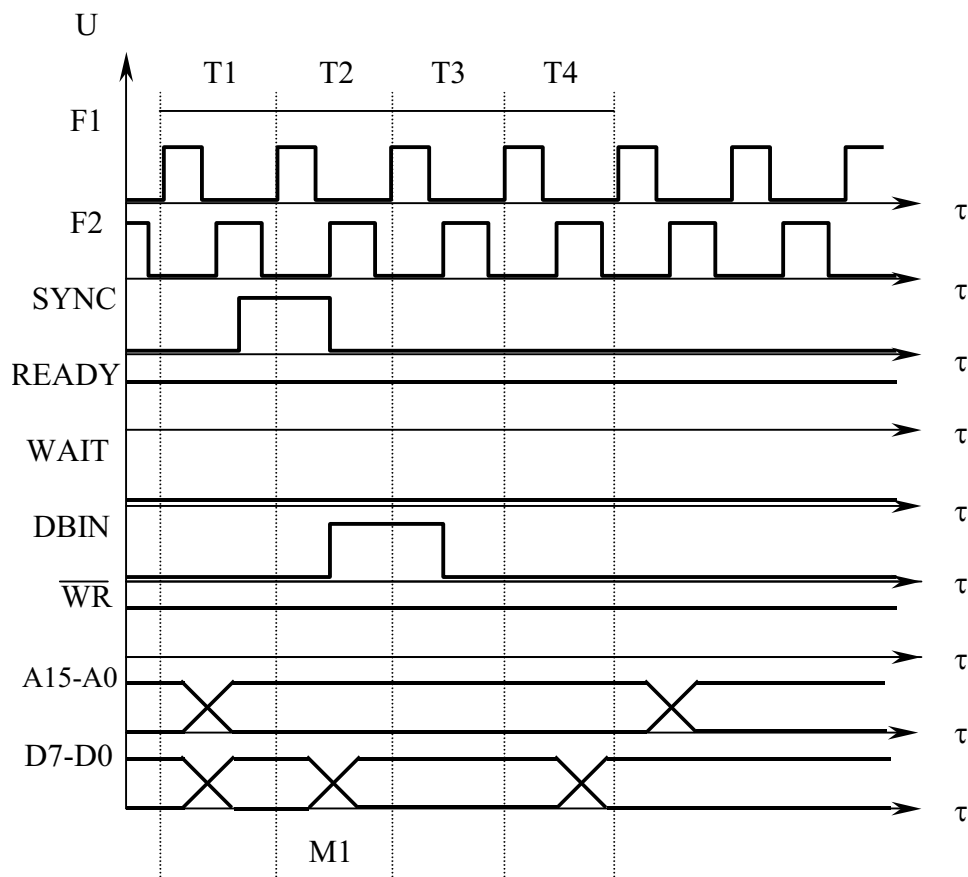


Рис.6.6 Временная диаграмма выполнения команды NOP



Экран осциллографа имеет ограниченные размеры и на нем можно качественно наблюдать диаграммы 1-3 последовательно выполняемых команд. Это существенное ограничение приводит к необходимости сдвига лучей по горизонтальной оси или наблюдать поведение сигналов, разделяя один фрагмент программы на несколько более коротких и выполняя по очереди.

## **7 МИКРОПРОЦЕССОРЫ**

### **7.1 МИКРОПРОЦЕССОР i8080**

Микропроцессор i8080, фирмы INTEL, функционально законченный однокристалльный, параллельный восьмиразрядный микропроцессор с фиксированной системой команд, применяется в качестве центрального процессора в устройствах обработки данных и управления. Отечественным аналогом является микросхема КР580ВМ80А [7].

Микропроцессор имеет отдельные 16-разрядный канал адреса и 8-разрядный канал данных. Канал адреса обеспечивает прямую адресацию внешней памяти объемом до 65536 байт, 256 устройств ввода, 256 устройств вывода. Восьмиразрядное арифметико-логическое устройство микропроцессора обеспечивает выполнение арифметических и логических операций над двоичными данными, представленными в дополнительном коде, а также обработку двоично-десятичных упакованных чисел.

В состав блока регистров входят: 16-разрядный регистр адреса команды (IP), 16-разрядный указатель стека (SP), 16-разрядный регистр временного хранения (WZ), 16-разрядная схема инкремента-декремента и шесть 8-разрядных регистров общего назначения (B,C,D,E,H,L), которые могут использоваться и как три 16-разрядных регистра (BC,DE,HL). Практически все арифметические и логические действия над данными выполняются в регистре – аккумуляторе (A).

Микропроцессор выполняет команды по машинным циклам. Число циклов, необходимое для выполнения команды, зависит от её типа и может быть от одного до пяти. Машинные циклы выполняются по машинным тактам. Число тактов в цикле определяется кодом выполняемой команды и может быть от 3 до 5. Длительность такта равна периоду тактовой частоты и при частоте 2,0 МГц составляет 500 нс.

Система команд микропроцессора i8080 состоит из 78 базовых команд, которые можно разделить на пять групп:

- а) команды передачи данных - используются для передачи данных из регистра в регистр, из памяти в регистр и из регистра в память;
- б) арифметические команды - используются для сложения, вычитания, инкремента или декремента содержимого регистров или ячейки памяти;

в) логические команды - И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, сравнение, сдвиги;

г) команды переходов - используются для условных и безусловных переходов, вызова подпрограмм и возврата из них;

д) команды управления, ввода/вывода и работы со стеком - используются для управления прерыванием, регистром признаков, ввода и вывода информации.

Условное графическое обозначение микропроцессора на принципиальных электрических схемах показано на рис.7.1.

D0-D7 (in/out) – двунаправленный канал данных, обеспечивает двусторонний обмен информацией микропроцессора с памятью (ЗУ) или устройствами ввода-вывода (УВВ) для обработки данных и команд. Бит D0 – младший разряд данных. В первом такте каждого машинного цикла по сигналу SYNC на шине данных выставляется слово состояния (SW), которое определяет дальнейшее поведение микропроцессорной системы.

Состав слова состояния следующий:

Бит D0 – подтверждение прерывания (INTA), используется для стробирования команды RST в микропроцессор из блока прерывания;

Бит D1 - запись или вывод (WO), низкий активный уровень свидетельствует о том, что в данном цикле будет происходить вывод информации из микропроцессора в ЗУ или УВВ;

Бит D2 – свидетельствует о том (STACK), что на адресном канале установлено содержимое указателя стека;

Бит D3 – подтверждение останова (HLTA), свидетельствует о том, что микропроцессор перешёл в состояние останова;

Бит D4 – вывод (OUT), свидетельствует о том, что на адресном канале установлен номер внешнего устройства и осуществляется вывод информации из регистра результата на УВВ;

Бит D5 – первый машинный цикл (M1), свидетельствует о том, что в микропроцессор принимается первый байт команды;

Бит D6 – ввод (INP), свидетельствует о том, что на адресном канале установлен номер внешнего устройства и осуществляется ввод информации из УВВ в регистр результата;

Бит D7 – работа с памятью (MEMR), свидетельствует о том, что производится чтение содержимого ЗУ. В последующих тактах по шине D0 – D7 передаются код команды или данные.

RDY (in) – готовность, служит для ввода сигнала, указывающего на готовность действительных данных к вводу в микропроцессор, или на готовность памяти и внешних устройств к

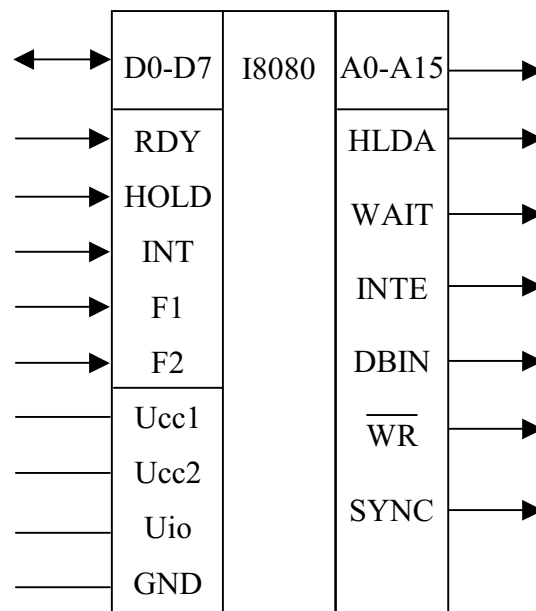


Рис.7.1 Условное графическое обозначение микропроцессора i8080

приёму информации с шин данных. Сигнал позволяет синхронизировать работу микропроцессора с памятью и внешними устройствами любого быстродействия.

HOLD (in) – захват шин, предназначен для подачи входного сигнала, который используется внешними устройствами для запроса доступа к шинам адреса и данных.

INT (in) – запрос маскируемого прерывания, служит для подачи входного сигнала, обеспечивающего возможность работы микросхемы в реальном масштабе времени.

F1 (in) – тактовый сигнал, служит для подачи не перекрывающихся импульсов фаз (+12В).

F1 (in) – тактовый сигнал, служит для подачи не перекрывающихся импульсов фаз (+12В).

RESET (in) – сброс, предназначен для подачи входного сигнала, устанавливающего внутренние узлы микросхемы в исходное состояние.

Ucc1 – предназначен для подачи напряжения источника питания (+5В).

Ucc2 – предназначен для подачи напряжения источника питания (+12В).

Uio – служит для подачи напряжения смещения на подложку (-5В).

CND – общий провод для напряжений питания +5, -5, +12 В.

A0-A15 (out) – адресный канал, обеспечивает адресацию внешней памяти объёмом до 64 КБайт, а так же адресацию 256 устройств ввода и 256 устройств вывода. A0 младший разряд.

HLDA (out) – подтверждение захвата, служит для выдачи выходного сигнала, являющегося ответным на сигнал HOLD и показывающего, что шина адреса и данных находятся в высокоимпедансном состоянии.

WAIT (out) – ожидание, служит для выдачи выходного сигнала, подтверждающего, что микропроцессор находится в состоянии ожидания.

INTE (out) – разрешение прерывания, предназначен для выдачи выходного сигнала, который индицирует состояние внутреннего триггера разрешения прерывания.

DBIN (out) – приём, предназначен для выдачи выходного сигнала, показывающего, что шины данных находятся в режиме приёма, т. е. микропроцессор ожидает поступления данных от памяти устройства ввода или других устройств системы.

$\overline{\text{WR}}$  (out) – служит для выдачи выходного сигнала, показывающего, что микропроцессор вывел на шину данных действительные данные для записи в память или внешнее устройство.

SYNC (out) – синхронизация, служит для выдачи выходного сигнала, определяющего начало каждого машинного цикла. Во время действия этого сигнала информация состояния посылается во внешний регистр состояния.

На рис.7.2 показана диаграмма работы шины микропроцессора.

Выполнение команд происходит по машинным циклам, состоящим из машинных тактов. Рассмотрим эти такты и действия внутри них.

T1 – при подаче на микросхему сигнала машинный цикл начинается с такта T1. В такте на адресный канал выдаётся адрес ячейки ЗУ канал данных выводится состояния.

T2 – в этом такте производится анализ входных сигналов RDY, и сигнала состояния HOLDA. Если на входе напряжение логического

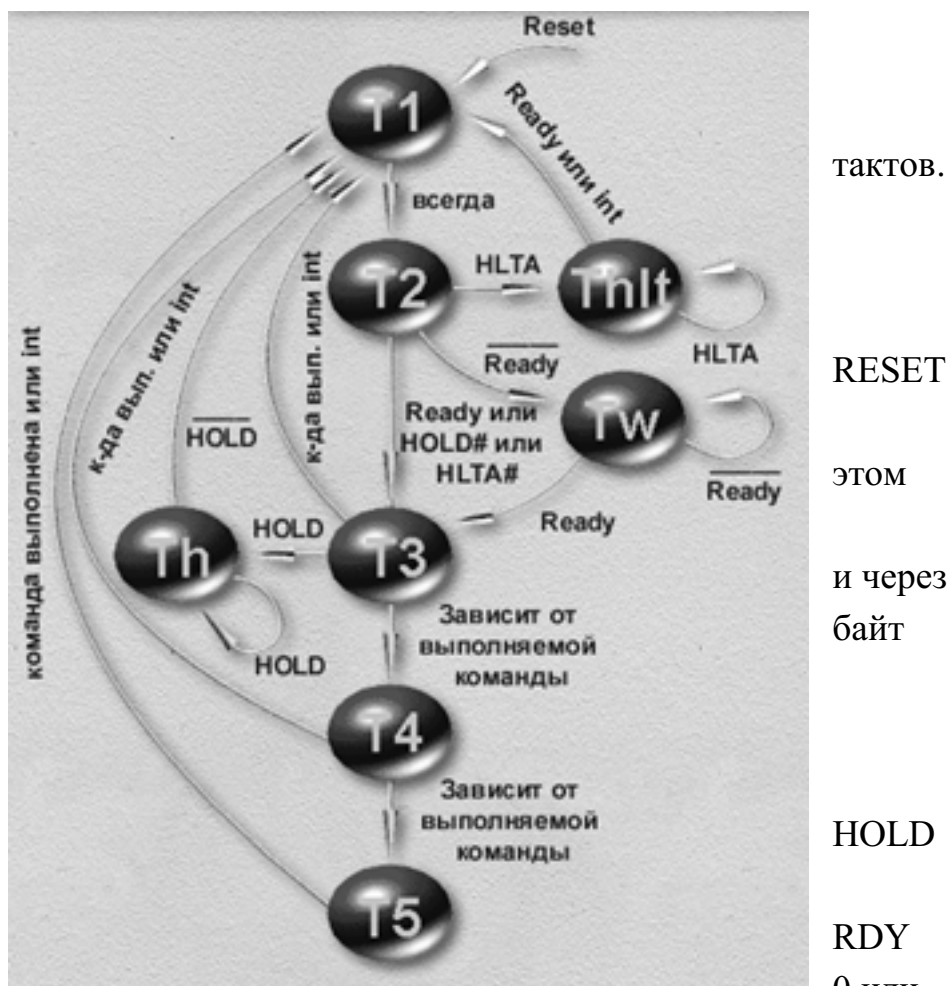
если выработался сигнал HOLDA, то микропроцессор переходит в состояние ожидания (Twait) или в состояние останова (Thlt) соответственно. Если на входе RDY напряжение логической единицы, микропроцессор переходит в такт T3.

T3 – в этом такте происходит приём информации на регистр команд или регистры общего назначения из внешних устройств по каналу данных. В этом же такте происходит анализ сигнала HOLD. Если на входе HOLD напряжение логической единицы, то после окончания такта T3 микропроцессор переходит в режим HOLD и выполняет действия, указанные при описании этого режима. После выполнения такта T3 цикл может быть закончен либо микропроцессор может перейти в такт T4.

T4 – в течение этого такта выполняются внутренние операции микропроцессора. В это время не происходит обращения к ЗУ, УВВ и не требуется подачи внешних управляющих сигналов. После выполнения такта T4 цикл может быть закончен либо микропроцессор может перейти в такт T5.

T5 - в течение этого такта выполняются внутренние операции микропроцессора. В это время не происходит обращения к ЗУ, УВВ и не требуется подачи внешних управляющих сигналов. После выполнения такта T5 цикл заканчивается.

Thold – в состоянии останова микропроцессор может выполнять действия указанные при описании режима HOLD .



Thlt – в состоянии останова микропроцессор может выполнять действия указанные при описании режима HLT.

Twait – в состоянии ожидания микропроцессор будет находиться до тех пор, пока на вход RDY не будет подано напряжение логической единицы.

Более подробно работа микропроцессора иллюстрируется временными диаграммами. На рис.7.3 приведена временная диаграмма выполнения микропроцессором команды SHLD. Теперь зная назначение каждого такта и сигналов микропроцессора можно легко представить принцип его работы. В этой диаграмме отсутствует изменение сигналов READY (выход микропроцессора RDY) и WAIT. Это значит, что скорость работы памяти не хуже, чем скорость работы процессора.

Команда SHLD запоминает значения, хранящиеся в регистрах H и L в памяти. Следом за кодом команды располагаются два байта адреса по которому записываются значения регистров. Сначала сохраняется регистр L, затем по увеличенному на единицу адресу сохраняется регистр H.

В первом машинном цикле читается код команды, в последующих двух циклах из памяти в процессор вводится адрес. Полученный адрес устанавливается на шину адреса и в циклах M4, M5 выполняется запись в память

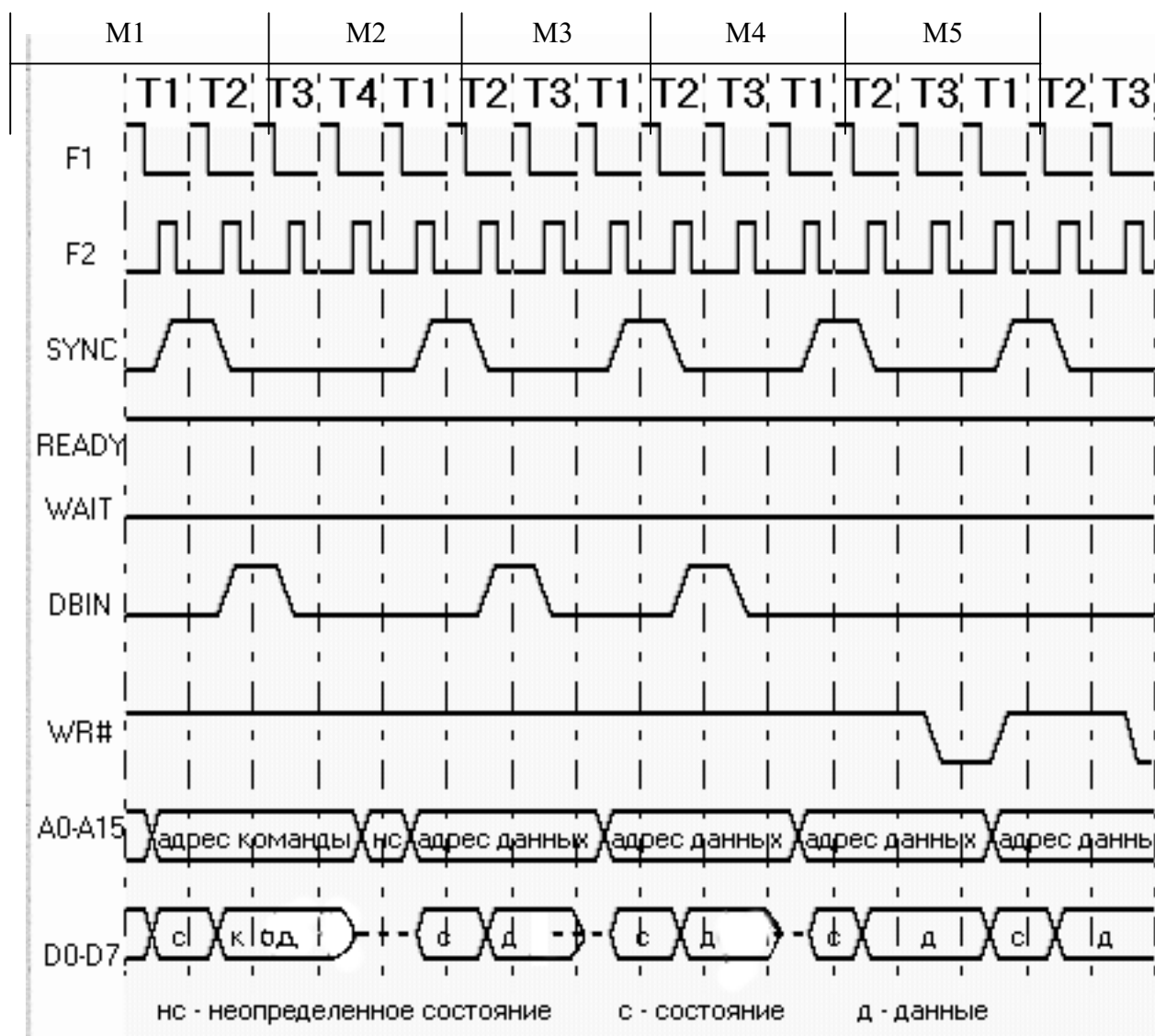


Рис.7.3 Временная диаграмма выполнения микропроцессором команды SHLD

## 7.2 МИКРОПРОЦЕССОР I80386

Высокопроизводительный 32-разрядный микропроцессор 80386 ориентирован на эффективное выполнение программ в среде многозадачных операционных систем. Микропроцессор имеет 32-разрядные регистры и шины, которые обеспечивают хранение и передачу 32-разрядных адресов и данных. На кристалле БИС МП интегрирован диспетчер памяти, аппаратные средства многозадачности и механизма защиты для поддержки операционных систем. Микропроцессор 80386 допускает одновременную работу нескольких операционных систем [8].

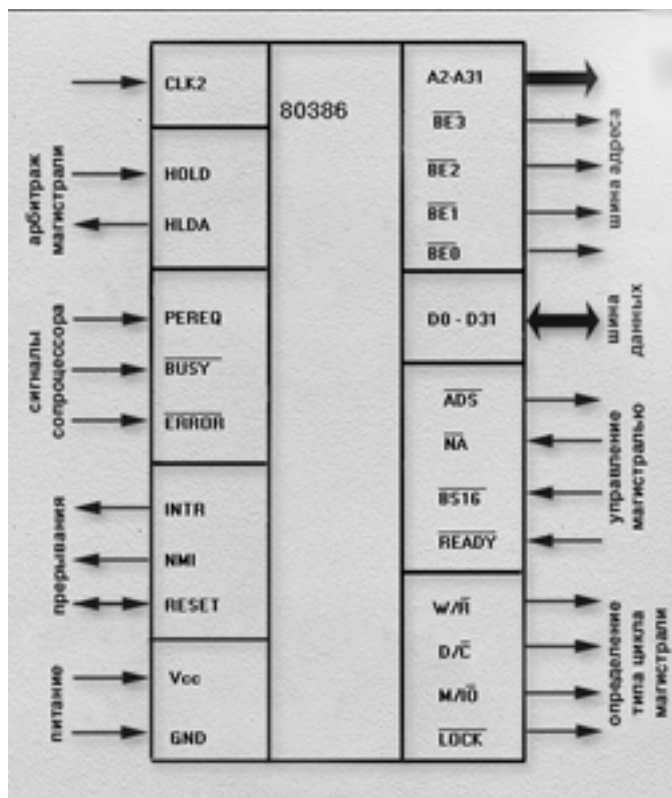
Характерные особенности МП 80386:

- Гибкость структуры, включающей восемь 32-разрядных регистров общего назначения (РОН), которая позволяет оперировать с 8-, 16- и 32-разрядными данными.
- Физическое адресное пространство 4Гбайт, виртуальное - 64Тбайт (2<sup>64</sup>), максимальный размер сегмента - 4Гбайт.
- Наличие встроенного диспетчера памяти, обеспечивающего поддержку виртуальной памяти, страничную организацию памяти средствами МП, 4 уровня защиты памяти.
- Полная совместимость с МП 80286, совместимость по коду с семейством 8086.
- Наличие виртуального режима МП 8086, позволяющего выполнить программы этого МП с использованием защиты и страничной организации памяти.
- Тактовая частота до 33МГц, скорость обмена по магистрали при этой частоте - 66 Мбайт/с.
- Высокая скорость выполнения арифметических операций при работе с сопроцессором.

Тестовые возможности МП 80386 включают самотестирование и прямое обращение к кэш-памяти трансляции страниц. Четыре регистра прерываний обслуживают условные и безусловные прерывания по выполняемому коду или выбираемым данным, что обеспечивает эффективную отладку систем, в том числе включающих ПЗУ.

Условное графическое обозначение БИС МП приведено на рис.7.4. Рассмотрим назначение сигналов микропроцессора.

CLK2 (in) - обеспечивает основную синхронизацию работы 80386. Эта тактовая частота делится пополам для того, чтобы сформировать внутреннюю процессорную тактовую частоту, используемую при выполнении команд внутри процессора. Внутренний синхросигнал состоит из двух фаз: "фазы один" и " фазы два". Если необходимо, фаза внутреннего синхросигнала может быть синхронизирована от отрицательного фронта сигнала RESET, который обеспечит заданные времена установки и удержания (setup and hold times).



проверка выполняется до тех пор, пока сигнал на входе не станет пассивным. Это исключает наложение на выполнение предыдущей команды сопроцессора.

**ERROR# (in)** - Ошибка сопроцессора. Сигнал указывает, что предшествующая команда сопроцессора привела к ошибке, не маскируемой регистром управления сопроцессора. Этот вход автоматически проверяется микропроцессором, когда встречается команда сопроцессора, и если сигнал активен, МП 80386 генерирует исключение 7 для передачи управления соответствующей процедуре обслуживания. Сигнал ERROR# идентифицируется по значению логического уровня и может не быть синхронным по отношению к сигналу CLK2.

**INTR (out)** - Запрос маскируемого прерывания. Активный сигнал на этом входе является запросом на обслуживание прерывания, который может быть замаскирован битом IF регистра флагов МП 80386. Отвечая на сигнал INTR, МП 80386 производит два цикла подтверждения прерывания и в конце второго читает 8-разрядный вектор прерывания на выводах D0-D7 для идентификации источника прерывания.

**NMI (out)** - Запрос немаскируемого прерывания. Активный сигнал на этом входе является запросом на обслуживание прерывания, который не может быть замаскирован программно. Обслуживание немаскируемого прерывания всегда производится процедурой, соответствующей входу 2 таблицы прерываний, поэтому циклы подтверждения прерываний не выполняются.

**RESET (in/out)** - Сброс. Этот входной сигнал приостанавливает все производимые действия и переводит МП 80386 в состояние инициализации. МП 80386 сбрасывается при активности сигнала RESET# в течение 15 или более периодов CLK2 (80 или более периодов CLK2 до запроса самотестирования). Если сигнал RESET# активен, то все остальные входные сигналы игнорируются.

**A2-A31(out) - BE0#-BE3#, A2-A31** - Шина адреса. Эти выходы с тремя состояниями обеспечивают физическую адресацию памяти или адресацию устройств ввода/вывода. Шина адреса обеспечивает физическое пространство адресов памяти объемом 4 гигабайта (от 00000000H до FFFFFFFFH) и пространство адресов ввода/вывода объемом 64 килобайта (от 00000000H до 0000FFFFH) для обращения к устройствам ввода/вывода. Для передачи сигналов ввода/вывода, автоматически формируемых для обеспечения взаимодействия 80386 с сопроцессором, используется адресное пространство ввода/вывода от 800000F8H до 800000FFH, так как для обращения к сопроцессору необходимо совпадение двух условий: наличие высокого уровня напряжения на линии адреса A31 и наличие низкого уровня на линии M/IO#. Значения сигналов стробов данных BE0#-BE3# определяют соответственно те байты 32-разрядной шины данных, которые участвуют в текущей передаче. Это особенно удобно для взаимодействия с внешней аппаратурой. Количество стробов данных BE0#-BE3#, находящихся в активном состоянии, определяет размер операнда обмена (1,2,3 или 4 байта). Когда выполняется цикл записи в память или в устройство ввода/вывода, и передаваемый операнд занимает только старшие 16 разрядов шины данных (D16-D31), копия этого операнда одновременно передается по младшим 16 разрядам шины данных (D0-D15). Это дублирование выполняется для обеспечения оптимального режима записи на 16-разрядные шины. Процедура дублирования записываемых данных зависит от значений стробов данных BE0#-BE3#.

**D0-D31(in/out)** - Шина данных. Двухнаправленные с тремя состояниями линии шины данных обеспечивают перемещение данных от 80386 к другим устройствам. Наличие высокого уровня напряжения на входах/выходах шины данных обозначает наличие кодов логической единицы "1" на этих выводах. Шина данных может передавать данные как на 32-, так и на 16-разрядные шины благодаря тому, что есть возможность изменения размера шины данных. Для правильного выполнения операций считывания сигналов с шины данных требуется обеспечение

**HOLD (in)** - Запрос захвата магистрали. Входной сигнал запроса управления магистралью от активного внешнего устройства. Он должен оставаться активным всё время, пока магистралью управляет другое устройство. Сигнал HOLD не воспринимается, пока активизирован сигнал RESET. Если этот сигнал активизирован одновременно, то RESET имеет приоритет.

**HLDA (out)** - Подтверждение захвата магистрали. Активность этого входного сигнала говорит о том, что МП 80386 передал управление магистралью в ответ на запрос HOLD и находится в состоянии подтверждения захвата. При этом единственным сигналом, вырабатываемым МП80386, является HLDA, другие входные и двунаправленные линии (W/R#, D/C#, M/IO#, BE0#-BE3#, A2-A31, D0-D15 и APS#) находятся в третьем состоянии. Запрос по входу NMI во время подтверждения захвата фиксируется для обработки после снятия сигнала HOLD.

**PEREQ (in)** - Запрос сопроцессора. Активность этого сигнала указывает на запрос сопроцессора к МП 80386 по пересылке операнда в память или из памяти. В ответ МП пересылает информацию между сопроцессором и памятью.

**BUSY# (in)** - Сопроцессор занят. Активность этого сигнала показывает, что сопроцессор все выполняет команду и не способен принять следующую. Когда МП 80386 сталкивается с любыми командами сопроцессора, которые оперируют с арифметическим стеком или командой WAIT, начинает автоматически проверять вход BUSY#, и эта

необходимых значений времени установки  $t_{21}$  и времени удержания  $t_{22}$  считываемых данных. При любой операции записи (включая циклы останова и выключения) 80386 всегда передает все 32 разряда данных, даже если в текущем цикле размер шины обмена равен 16 разрядам.

ADS# (out) - Состояние адреса. Входной сигнал, подтверждающий код цикла магистрали и адрес (W/R#, D/C#, M/IO#, BE0#-BE3# и A2-A31) на выводах МП 80386. Он появляется в тактах T1 и T2P.

NA# (in) - Запрос следующего адреса. Применяется как запрос конвейеризации. Этот входной сигнал показывает готовность к приёму новых значений W/R#, D/C#, M/IO#, BE0#-BE3# и A2-A31 от МП 80386, даже если конец текущего цикла не подтверждается READY#.

BS16# (in) - Шестнадцатиразрядная шина. Позволяет не посредственно связать МП 80386 с 32-разрядной и 16-разрядной шинами. При активности этого входного сигнала в текущем цикле шины используются только младшие разряды (D0-D15) шины данных, в соответствии с BE0#, BE1#. Он не оказывает влияния, если в текущем цикле активны только BE0# и/или BE1#. Если активны сигналы на выводах BE2# или BE3#, то активность DS16# приводит к дублированию байтов использованию только линий данных D0-D15.

READY# (in) - Подтверждение передачи. Сигнал показывает, что текущий цикл магистрали завершен и активные байты, определяемые BE0#-BE3# и BS16#, приняты или выставлены. Если READY# активен во время цикла чтения или подтверждения прерывания, МП 80386 фиксирует входные данные и завершает цикл. Если READY# активен во время цикла записи, то процессор завершает магистральный цикл. Значение READY# игнорируется в первом такте всех циклов магистрали, а далее в каждом такте магистрали проверяется, пока не будет зафиксировано активное значение. Каждый цикл магистрали, включая циклы индикации останова и включения, должен быть, завершен активным сигналом READY#.

W/R# (out) - Сигнал W/R# разделяет циклы записи и циклы управления.

D/C# (out) - Сигнал D/C# разделяет циклы данных и циклы управления.

M/IO# (out) - Сигнал M/IO# разделяет циклы обращения к памяти и циклы ввода/вывода.

LOCK# (out) - Сигнал LOCK# отличает блокирование и не блокированные циклы магистрали.

На рис.7.5 приведена диаграмма работы микропроцессора по тактам. Рассмотрим действия процессора в каждом такте подробнее. В активном состоянии интерфейс

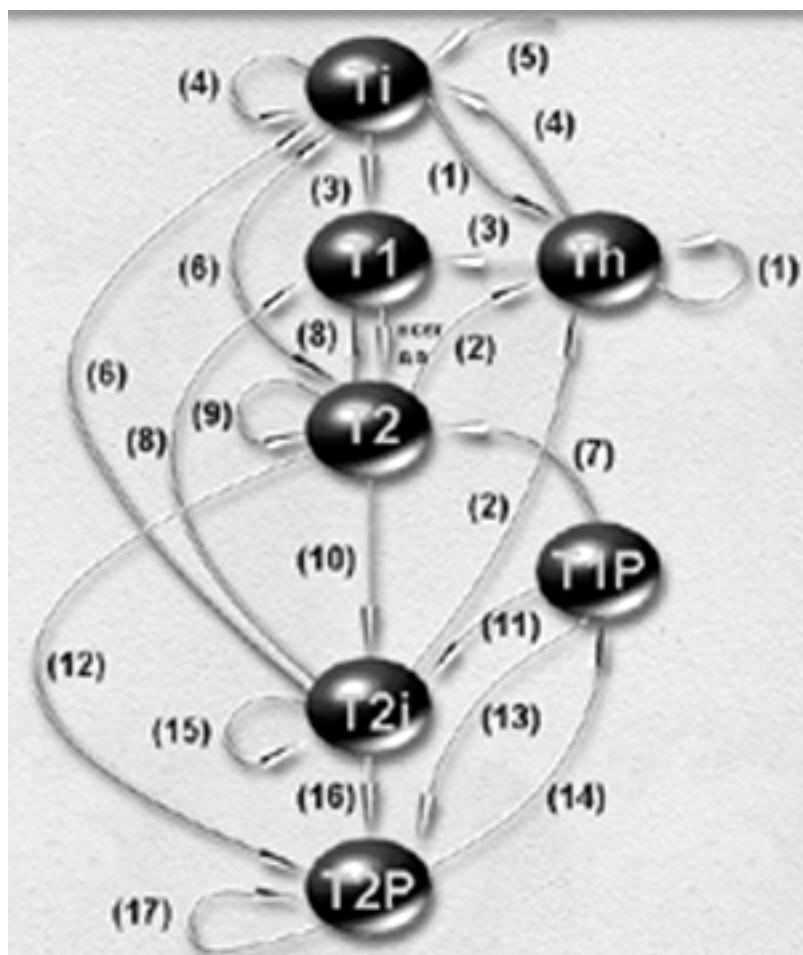


Рис.7.5 Циклы магистрали микропроцессора i80386

магистрали выполняет один из циклов: чтение или запись в память; блокированное чтение или запись в память; чтение или запись в области ввода-вывода (сопроцессора); подтверждение прерывания; индикацию останова или выключения. Адреса в i80386 могут быть двух типов обычные и конвейерные. Наличие конвейера определяется активным значением сигнала NA#. При отсутствии конвейера адресов текущий адрес и код цикла остаются постоянными в течение всего цикла.

Микропроцессор начинает свою работу без конвейера адресов с такта Ti. Затем по внутреннему запросу переходит в такт T1, где сигналом ADS# подтверждается наличие адреса. В T2 такого

подтверждения нет. При конвейерной обработке в T1 нет подтверждения адреса для предыдущей команды, в T2 ADS# активен и подтверждает адрес текущей команды.



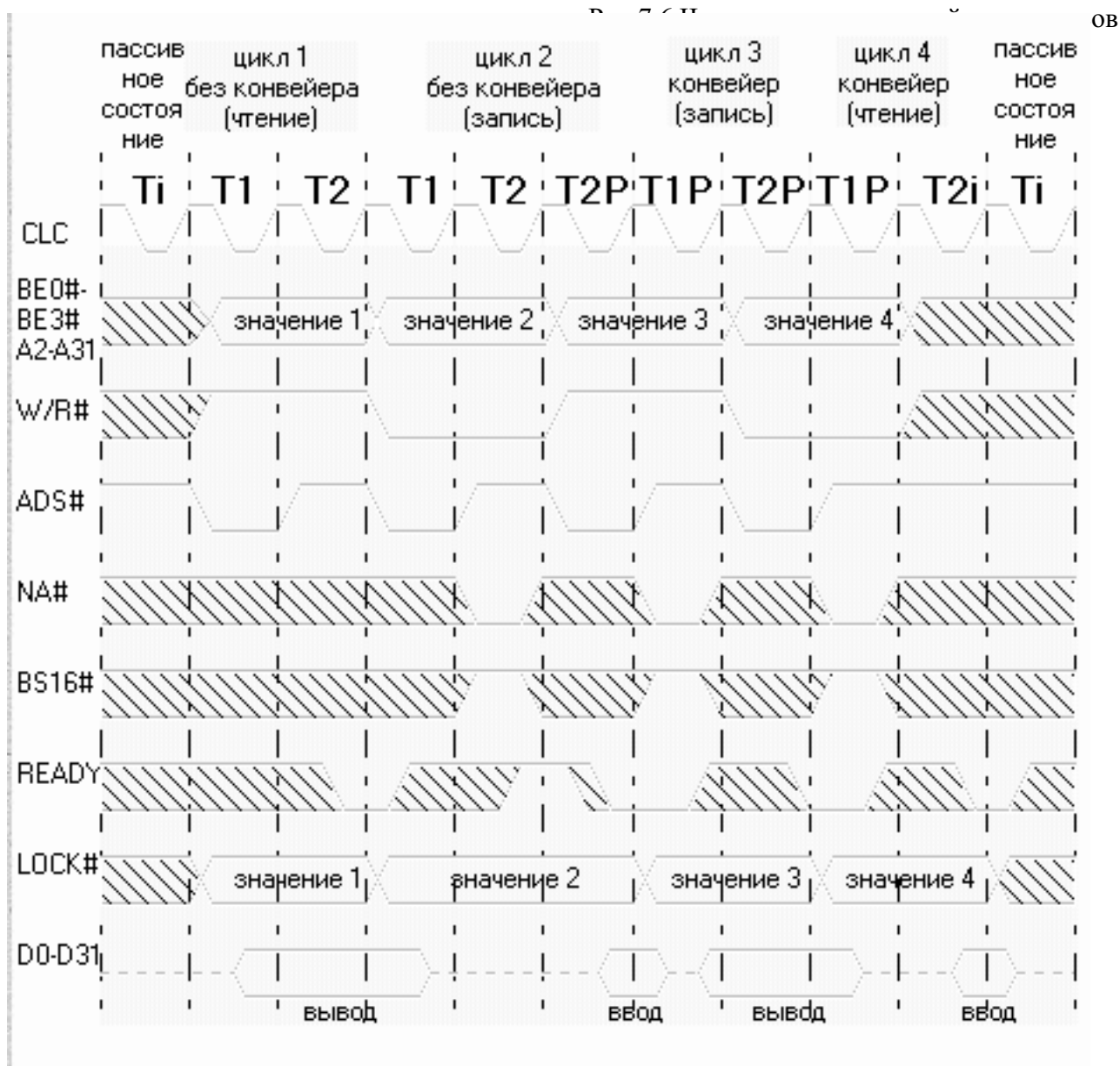
При таком способе не требуется такт ожидания. Такт  $T_i$  это пассивное состояние магистрали.  $T_h$  – состояние подтверждения захвата магистрали.  $T_{2i}$  - последующие состояния цикла шины, имеющие место, когда обнаружен активный уровень  $NA\#$  в текущем цикле шины, но еще отсутствует внутренний запрос шины, ожидающий обслуживание ( $i80386$  не выдаст новый адрес или не установит активный уровень  $ADS\#$ ).  $T_{2P}$  - последующие состояния цикла шины, имеющие место, когда в текущем цикле шины обнаружен активный уровень  $NA\#$ , и имеется внутренний, ожидающий обслуживание, запрос шины ( $i80386$  выдаст новый адрес и активизирует сигнал  $ADS\#$ ).  $T_{1P}$  - первое состояние конвейерного цикла шины.

Цифрами на диаграмме показаны возможные переходы между тактами.

Переходы происходят при выполнении некоторых условий, например:

- (1) -  $HOLD$  активен;
- (2) -  $READY\#$  активен и  $HOLD$  активен;
- (3) -  $HOLD$  не активен и есть внутренний запрос, ожидающий обслуживание;
- (4) -  $HOLD$  не активен и нет внутреннего запроса;
- (5) -  $RESET$  активен;
- (6) -  $READY\#$  активен и  $HOLD$  не активен и нет внутреннего запроса;
- (7) -  $NA\#$  не активен;
- (8) -  $READY\#$  активен и  $HOLD$  не активен и есть внутренний запрос, ожидающий обслуживание;
- (9) -  $READY\#$  не активен и  $NA\#$  не активен;
- (10) - (нет внутреннего запроса и  $HOLD$  активен) и  $NA\#$  активен и  $READY\#$  не активен;
- (11) -  $NA\#$  активен и ( $HOLD$  активен и нет внутреннего запроса);
- (12) -  $READY\#$  не активен и  $NA\#$  активен и  $HOLD$  не активен и есть внутренний запрос, ожидающий обслуживание;
- (13) -  $NA\#$  активен  $HOLD$  не активен есть внутренний запрос, ожидающий обслуживание;
- (14) -  $READY\#$  активен;
- (15) -  $READY\#$  не активен и (нет внутреннего запроса и  $HOLD$  активен);
- (16) -  $READY\#$  не активен и есть запрос, ожидающий обслуживание и  $HOLD$  не активен;
- (17) -  $READY\#$  не активен.

На рис.7.6 показана временная диаграмма работы микропроцессора в режимах чтения и записи с конвейерной обработкой адресов.



Конвейерное формирование адресов – это установка адреса и определение типа следующего цикла до того, как предыдущий цикл подтвержден активным значением сигнала READY#. Когда готов следующий адрес, микропроцессор активизирует ADS#, управляемый входным сигналом NA#. Вначале выполняется цикл без конвейера T1-T2-T2P. Если есть конвейер, то выполняется цикл T1P-T2P. Если нет внутреннего запроса и NA# активен, то вместо T2P вводится цикл T2i и завершается конвейерный цикл. Такт T2i осуществляет переход к неконвейерному циклу.

### 7.3 МИКРОПРОЦЕССОР PENTIUM MMX

Процессор Pentium фирмы Intel объединяет в себе высокую производительность с гибкостью и совместимостью, характеризующими платформу персонального компьютера. В настоящее время процессор Pentium является основой большинства ПК

и обеспечивает широкие возможности для работы с мультимедийным программным обеспечением и Internet. Это способствует созданию программного обеспечения с мощной реалистичной графикой и возможностью воспроизведения полноэкранного видео. Процессор Pentium расширил диапазон микропроцессоров архитектуры Intel, создав новую область возможностей для компьютерных систем. БИС МП объединяет более чем 3.1 миллиона транзисторов на одной кремниевой подложке, 32-разрядный Pentium процессор характеризуется производительностью с тактовой частотой 75/90/100/120/133/155/166/200 МГц [9].

Характерная особенность Pentium процессора состоит в виде уникального сочетания высокой производительности, совместимости, интеграции данных и наращиваемости. Это включает:

- Суперскалярную архитектуру;
- Раздельное кэширование программного кода и данных;
- Блок предсказания правильного адреса перехода;
- Высокопроизводительный блок вычислений с плавающей запятой;
- Расширенную 64-битовую шину данных;
- Поддержку многопроцессорного режима работы;
- Средства задания размера страницы памяти;
- Средства обнаружения ошибок и функциональной избыточности;
- Управление производительностью;
- Наращиваемость с помощью Intel OverDrive процессора.

Сущность технологии MMX состоит в дополнении архитектуры процессора Pentium и появлении у него специальных команд для работы с мультимедиа и сетевым программным обеспечением, что увеличивает скорость работы мультимедиа-приложений и повышает производительность системы в целом.

Новые инструкции принадлежат к типу SIMD (Single Instruction Multiple Data - "одна инструкция, множественные данные"). Это означает, что процессор выполняет одну и ту же инструкцию параллельно для нескольких байт данных. MMX - первое существенное изменение в архитектуре процессоров семейства x86 со времени появления процессора 80386. Теперь Pentium имеет 57 новых инструкций и 8 виртуальных регистров, с которыми эти инструкции работают.

Суперскалярная архитектура Pentium процессора представляет собой совместимую только с INTEL двухконвейерную промышленную архитектуру, позволяющую процессору достигать новых уровней производительности посредством выполнения более, чем одной команды за один период тактовой частоты.

Другое важнейшее усовершенствование, реализованное в Pentium процессоре, это введение раздельного кэширования. Кэширование увеличивает производительность посредством активизации места временного хранения для часто

используемого программного кода и данных, получаемых из быстрой памяти, заменяя по возможности обращение к внешней системной памяти для некоторых команд.

Блок предсказания правильного адреса перехода - это следующее решение для вычислений, увеличивающее производительность посредством полного заполнения конвейеров командами, основанное на предварительном определении правильного набора команд, которые должны быть выполнены.

Pentium процессор позволяет выполнять математические вычисления на более высоком уровне благодаря использованию усовершенствованного встроенного блока вычислений с плавающей запятой, который включает восьми тактовый конвейер и аппаратно реализованные основные математические функции.

Снаружи процессор представляет собой 32-битовое устройство. Внешняя шина данных к памяти является 64-битовой, удваивая количество данных, передаваемых в течение одного шинного цикла.

Мультипроцессорные приложения, которые соединяют два или более Pentium процессоров - хорошо обслуживаются посредством усовершенствованной архитектуры кристаллов, отдельным встроенным кэшированием программного кода и данных, а также наборами микросхем для управления внешней кэш-памятью и утонченными средствами контроля целостности данных.

Процессор содержит два усовершенствования, обеспечивающих хорошую защиту данных и обеспечение их целостности - внутреннее определение ошибок и контроль за счет функциональной избыточности (FCR). Внутреннее определение ошибок дополняет битом четности внутренний код и кэширование данных, сдвиговую ассоциативную таблицу страниц, микрокод, а также целевой буфер перехода, помогая определять ошибки таким образом, что это остается незаметным и для пользователя, и для системы.

Условное графическое изображение процессора показано на рис.7.7.

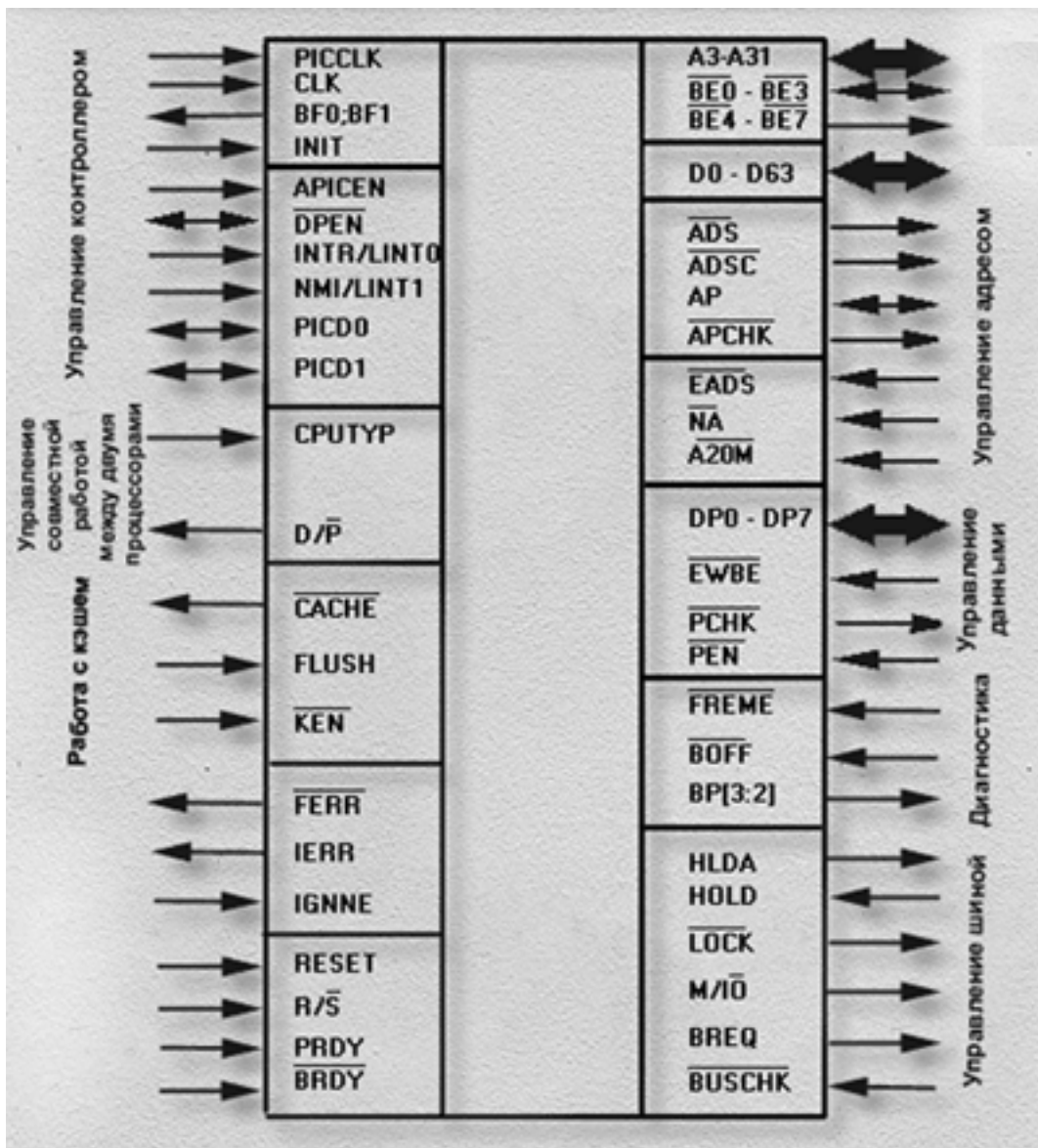


Рис.7.7 Условное графическое обозначение БИС МП Pentium

Рассмотрим входные и выходные сигналы микропроцессора. Некоторые сигналы известны по микропроцессорам предыдущих моделей, их мы рассматривать не будем.

- PICCLK (in) - тактирование процессора от программируемого контроллера прерываний.
- CLK (in) - вход тактовой частоты.
- BF0;BF1(out) - определяет частоту шины и процессора в зависимости от коэффициента.
- INIT (in) - вход инициализации процессора.
- APICEN (in) - разрешение или запрещение контроллера прерываний (PIC).
- DPEN# (in/out) - выход второго, вход первого процессора.
- INTR/LINT0 INTR (in) - запрос внешнего маскируемого прерывания. LINT0(in) - работает при разрешённом APIC.
- NMI/LINT1 NMI (in) - запрос немаскируемого прерывания. LINT1(in) - работает при разрешённом APIC.
- PICD0 (in/out) - линии данных 0 - 1 программируемого контроллера прерываний. PICD0(in/out) - разрешение совместной работы (второму процессору).
- PICD1 (in/out) - линии данных 0 - 1 программируемого контроллера прерываний.
- CPUTYP (in) - тип процессора - для различия первого и второго процессоров.
- D/P# (out) - индикатор второй/первый процессор.
- CACHE# (out) - выполнение цикла чтения/записи с кэш памятью.
- FLUSH (in) - подтверждает специальный цикл работы с кэш памятью (сброс кэша).
- KEN# (in) - разрешение кэша. Выполняется специальный цикл работы с кэш памятью.
- FERR# (out) - ошибка операции с плавающей точкой (аналогичен ERROR для i387).

IERR (out) - внутренняя ошибка (internal error). Существует два типа внутренней ошибки: а) внутренняя ошибка четности; б) внутренняя ошибка функциональной избыточности.

IGNNE (in) - игнорирование цифровой ошибки. Используется с битом NE слова состояния CR0.

R/S# (in) - работа /останов, используется фирмой Intel для отладки.

PRDY (out) - вход "пробный READY", используется фирмой Intel для отладки.

BRDY# (in) - готовность внешней системы. Этот сигнал проверяется в T2, T12, T2P.

A3-A31 (in/out) - линии адреса. Внешняя система управляет адресами A5-A31.

BE0# - BE3# (in/out) - биты определения машинного цикла.

BE4# - BE7# (out) - биты разрешения работы с памятью.

D0-D63 (in/out) - 64 линии данных. Строки D0-D7 определяют младший байт, D56-D63 - старший байт данных.

ADS# (out) - строб адреса, указывается в начале нового цикла шины.

ADSC# (out) - строб адреса (копия). Функционально идентичен ADS.

AP (in/out) - четность адреса, переводит процессор в режим работы с четными адресами.

APCHK# (out) - контроль четности адреса (бит четности).

EADS# (in) - индикатор внешнего адреса.

A20M# (in) - маска двадцати битного адреса. Эмулируется адресное пространство i8086 размером в 1Мб.

Маскируется непосредственно Pentium процессором, когда в конфигурации два процессора.

DP0-DP7 (in/out) - контроль четности данных. DP7 для D56-D63, а DP0 для D0-D0.

EWBE# (in) - вход пустого внешнего буфера записи.

PCHK# (out) - выход проверки четности прочитанных данных.

PEN# (in) - разрешение контроля четности. Аналог CR4.MCE.

FREME# (in) - функциональная избыточность, проверяется устройство в рабочем или отладочном режиме.

BOFF# (in) - вход задержки, для прерывания всех не завершившихся циклов шины.

BP[3:2] (out) - контрольные точки BP[3:0] для отладки.

BREQ (out) - запрос шины у внешней системы.

BUSCHK# (in) - bus check сигнализирует о неудачном завершении цикла шины.

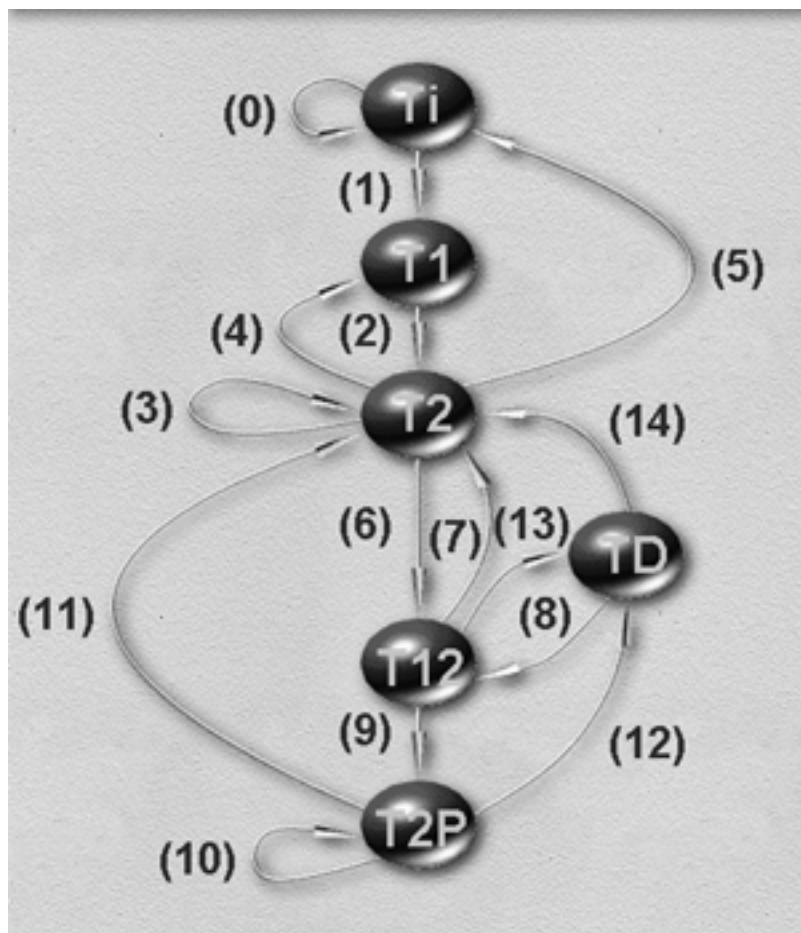


Рис.7.8 Диаграмма циклов интерфейса магистрали процессора Pentium MMX

состояние T12. TD - процессор вводит такт TD, если на предыдущих тактах было два выделенных такта. Этот переход возможен, когда установлен сигнал BRDY# и отсутствует тактирование процессора. Это состояние указывает на то, что есть один невыполненный цикл и что адреса, состояния, ADS# уже установлены и BRDY# не дискретный.

Цифрами на диаграмме показаны переходы из одного такта в другой в пределах одного машинного цикла. Условия переходов следующие:

Рассмотрим принцип работы микропроцессора Pentium. Диаграмма циклов интерфейса магистрали приведена на рис.7.8. Машинные циклы процессора состоят из тактов. T<sub>i</sub> - пассивное состояние шины или магистрали. Процессор Pentium управляет или не управляет адресами и состоянием выходов, в зависимости от состояний HLDA, AHOLD и BOFF#.

Установленный BOFF# или RESET будут всегда вынуждать процессор возвращаться в состояние T<sub>i</sub>. T<sub>1</sub> - первый такт шины, начало команд. Процессор выдаёт новый адрес и устанавливает активный уровень ADS#. T<sub>2</sub> - второй и последующие такты шины в состоянии ожидания. В состоянии T<sub>2</sub> происходит поступление данных (если это цикл записи) или данные ожидаются (если это цикл чтения). BRDY# - дискретный. Имеется один невыполненный цикл шины. T<sub>12</sub> - второй и последующие такты при конвейерной обработке. Состояние указывает, что имеются два невыполненных цикла шины, и что процессор Pentium начинает второй цикл шины в то время, когда данные переходят в первый. В T<sub>12</sub> процессор Pentium приводит в действие адреса и состояния, так же устанавливает ADS# для второго невыполненного цикла шины, в то время, когда данные переданы и BRDY# является дискретным для первого невыполненного цикла. T<sub>2P</sub> - это состояние указывает, что имеются два

невыполненных цикла шины. BRDY# является дискретным для первого невыполненного цикла. Адреса, состояния и ADS# для второго невыполненного цикла, приводятся иногда в

- (0) - запросов нет магистраль пассивна;
- (1) - начало нового цикла;
- (2) - всегда,  $\overline{\text{BOFF\#}}$  - пассивен;
- (3) - ожидание готовности или подтверждения  $\text{NA\#}$ ;
- (4) - если есть запрос процессора и  $\text{BRDY\#}$ , то переход T1 (начало нового такта);
- (5) - если нет запроса, то переход Ti;
- (6) - нет  $\text{BRDY\#}$ , но есть запрос и  $\text{NA\#}$  подтверждён;
- (7) - есть  $\text{BRDY\#}$  и не остановлено тактирование;
- (8) - есть  $\text{BRDY\#}$  и отсутствует тактирование;
- (9) - нет  $\text{BRDY\#}$ , при этом  $\overline{\text{BOFF\#}}$  должен быть пассивен - машинный цикл не выполнен;
- (10) - нет  $\text{BRDY\#}$  - процессор находится в состоянии T2P пока первый цикл передачи не закончится;
- (11) - есть  $\text{BRDY\#}$  и не остановлено тактирование - процессор завершает первый цикл шины и не нужны пустые такты;
- (12) - есть  $\text{BRDY\#}$  и отсутствует тактирование - процессор завершает первый цикл, но нужны пустые такты;
- (13) - есть запрос и  $\text{NA\#}$  подтверждён;
- (14) - нет запроса или  $\text{NA\#}$  пассивен.

Более наглядно работа процессора иллюстрируется временными диаграммами. Таких диаграмм процессор Pentium имеет достаточно много и их можно изучить в соответствующих руководствах и описаниях. Мы ограничимся только двумя достаточно простыми диаграммами (рис.7.9, рис.7.10) циклов чтения и записи без конвейерной и конвейерной обработкой адресов. В первом такте процессор выводит адрес ячейки памяти на линии  $\text{ADDR}$  и подтверждает их истинность сигналом  $\text{ADS\#}$ . Сигнал  $\text{W/R\#}$  имеет низкий активный уровень, что означает начало чтения данных в процессор. Сигнал  $\text{CACHE\#}$  показывает, что чтение производится из памяти. Запрос конвейерной обработки адресов отсутствует, т.к.  $\text{NA\#}$  имеет высокий уровень.

Во втором такте (T2) должно происходить непосредственно чтение. Одновременно в процессор вводятся биты контроля данных DP. Сигнал  $\text{BRDY\#}$  имеет низкий уровень, завершает такт T2. Процессор переходит в такт Ti, ожидая внутреннего запроса. Следующий такт T1, начинается следующий машинный цикл - цикл вывода. Действия процессора аналогичны предыдущим. Исключение составляет сигнал  $\text{W/R\#}$ , имеющий активный высокий уровень. Данные передаются из процессора в память.

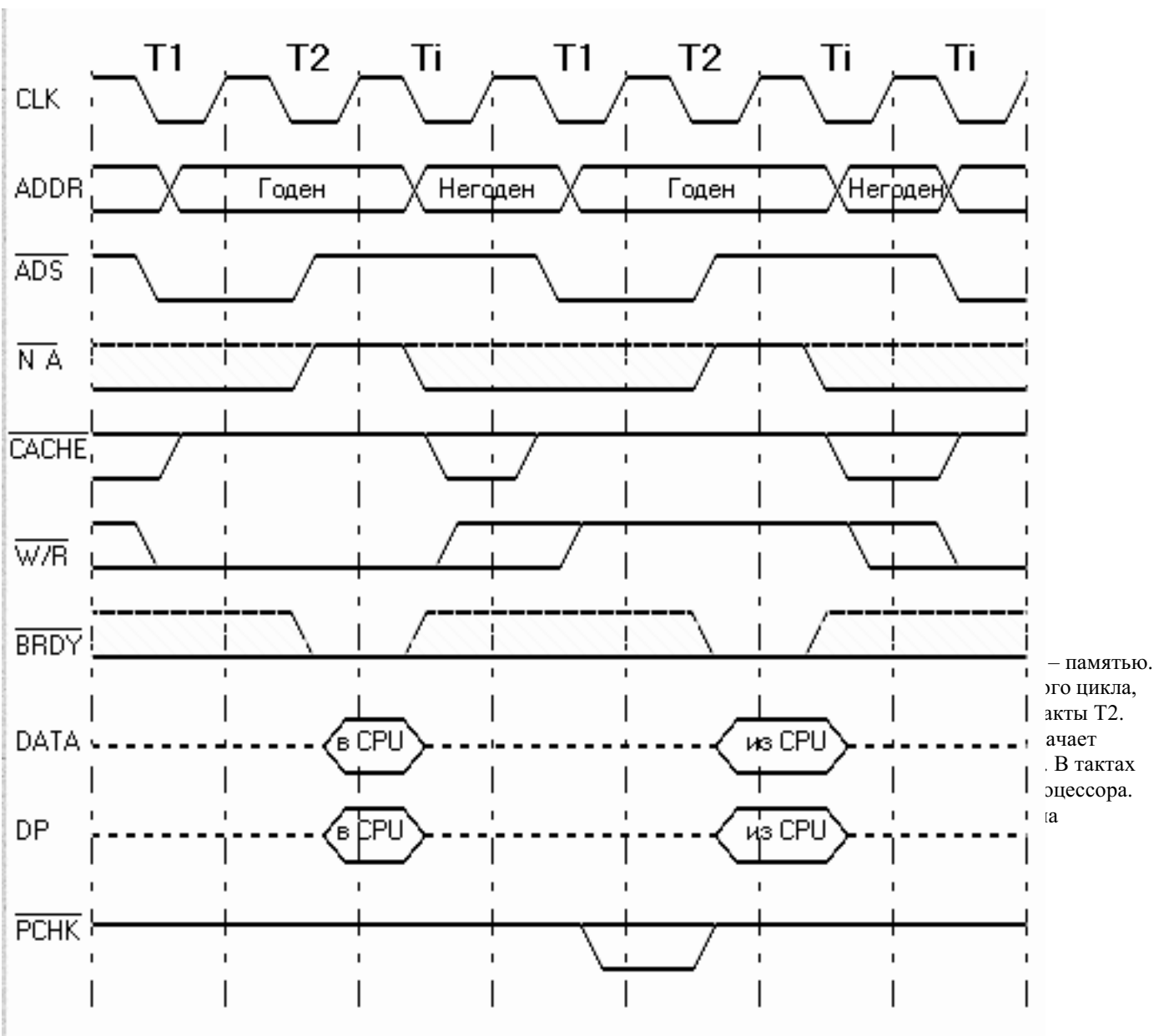


Рис.7.9 Временная диаграмма циклов интерфейса магистрали без конвейерной

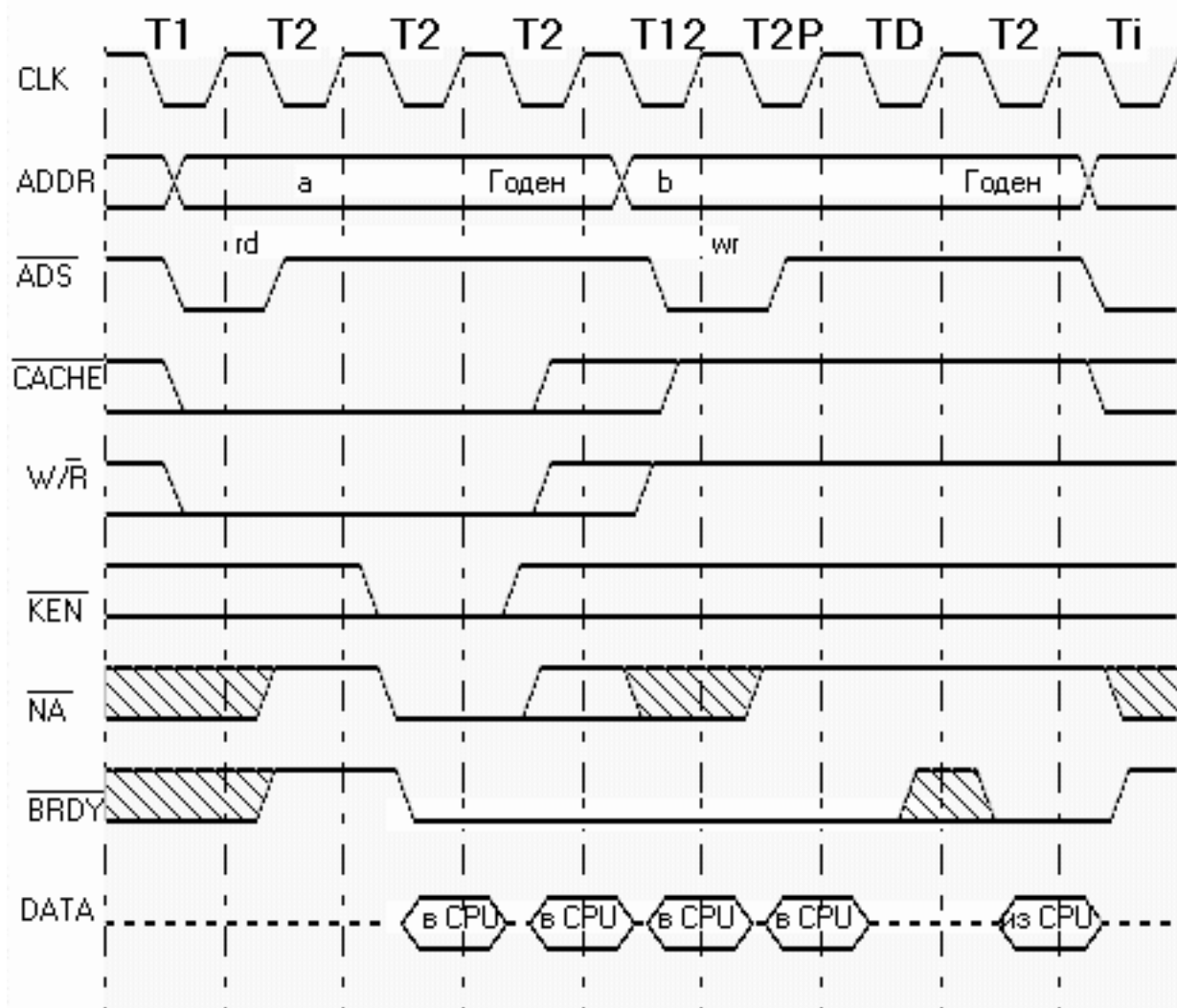


Рис.7.10 Временная диаграмма циклов интерфейса магистрали с конвейерной обработкой адресов

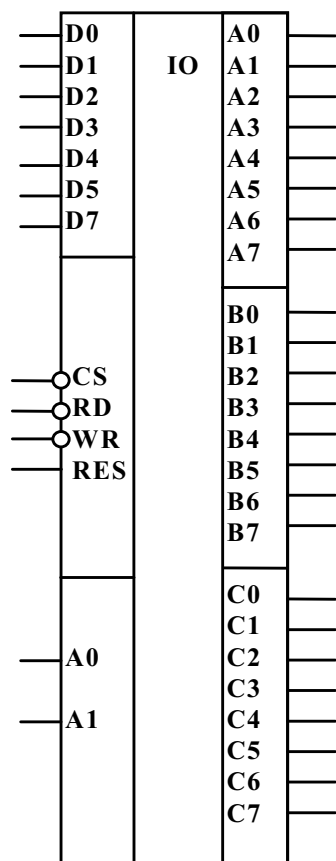


Рис.8.1 Условное графическое обозначение БИС

## 8 КОМПОНЕНТЫ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Микропроцессор никогда не работает в системе один. Для его работы требуются дополнительные элементы – тактовый генератор, формирователи интерфейсной магистрали, БИС ввода-вывода в последовательном и параллельном форматах, таймер, контроллер прерываний и т.д. Количество и тип компонентов зависит от целей для которых предназначена микропроцессорная система. Один из подходов в развитии микропроцессорных систем состоит в интеграции ранее спроектированных БИС в СБИС. Таким образом, уменьшается количество элементов на печатных платах. Но эти элементы, иногда несколько усовершенствованные, все равно присутствуют в системе. Рассмотрим несколько элементов: БИС параллельного ввода-вывода, БИС последовательного ввода-вывода, БИС программируемого интервального таймера и контроллера прерываний. Эти элементы применялись в ранних моделях компьютеров, остались и в современных в несколько измененном виде. Применяются они и в промышленных компьютерных системах контроля, управления и сбора информации.

### 8.1 БИС ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВВОДА-ВЫВОДА

Ввод – вывод в параллельном формате подразумевает одновременную передачу нескольких бит информации. Обычно количество бит – 8, 16, 24, 32 и т.д. В персональных компьютерах параллельный интерфейс нужен для работы с принтером, плоттером или сканером. В промышленных системах такой интерфейс необходим для ввода - вывода дискретных



сигналов управлений. При помощи БИС параллельного ввода - вывода в микропроцессорных системах организуются матрицы клавиатур и динамическая индикация строковых дисплеев. Рассмотрим БИС i8255 (KP580BB55A) в ее стандартном варианте исполнения и модифицированную в персональных компьютерах .

БИС применяется в качестве элемента ввода - вывода общего назначения, соединяющего различные типы периферийных устройств с магистралью данных системы. Условное графическое обозначение БИС приведено на рис.8.1 [10].

Обмен информацией между магистралью данных систем и данной микросхемой осуществляется через 8-разрядный двунаправленный трехстабильный канал данных (D0-D7). Для связи с периферийными устройствами используются 24 линии ввода - вывода, которые сгруппированы в три 8-разрядных канала А, В и С. Направление передачи информации и режимы работы этих каналов определяются программно. Сигнал RES – это входной сигнал инициализации БИС. Сигнал CS# служит для выбора БИС. Активный нулевой уровень означает, что к микросхеме открыт доступ сигналам WR#, RD#, A0 и A1. По активному нулевому значению сигналов производится запись (WR#) или чтение (RD#) данных (D0-D7). Номер канала (порта) определяется адресными разрядами A0 и A1. Обычно A0 и A1 подключены к соответствующим линиям шины адреса. Порту А соответствует комбинация сигналов A0=0 и A1=0, порту В – A0=1 и A1=0, порту С – A0=0 и A1=1. Комбинация A0=A1=1 выбирает регистр управляющего слова (PUC).

БИС может работать в трех основных режимах: 0, 1 и 2. В режиме 0 обеспечивается возможность синхронной программно управляемой передачи данных через два независимых 8-разрядных канала А и В и два 4-разрядных канала С (C0-C3, C4-C7). В режиме 1 обеспечивается возможность ввода или вывода информации в периферийное устройство или из него через два независимых 8-разрядных канала А и В по сигналам квитирования (сигналам управления обменом информацией). Для сигналов управления используется канал С.

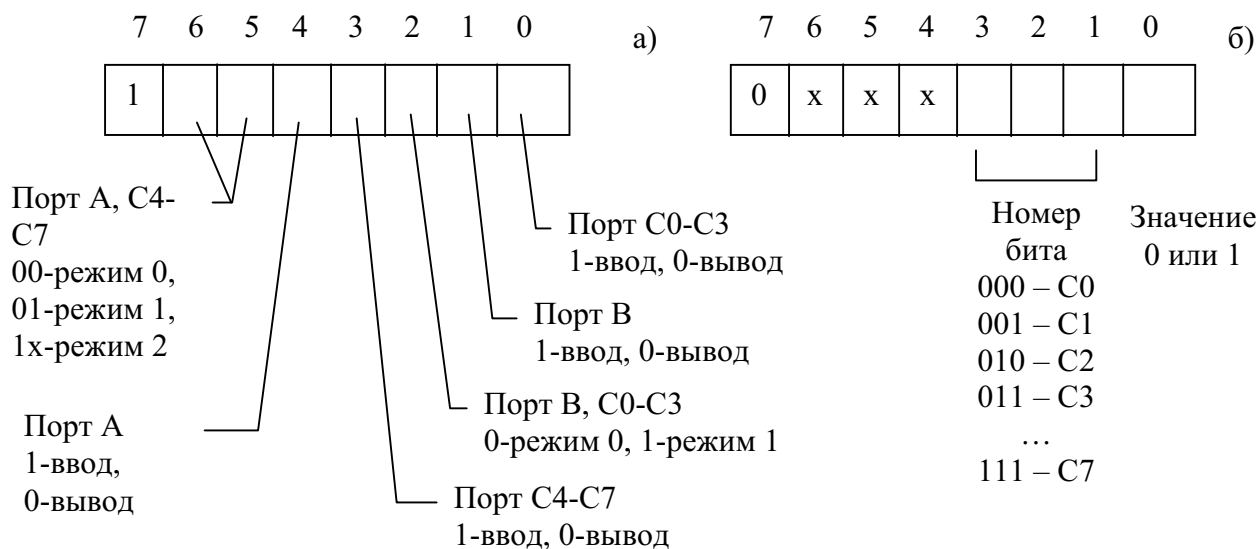
Режим работы каждого порта А, В, С определяется содержимым PUC. Произведя запись управляющего слова в этот регистр, можно перевести микросхему в один из трех режимов работы: режим 0 - простой ввод-вывод; режим 1 - стробуемый ввод-вывод; режим 2 - двунаправленный канал А.

При работе микросхемы в режиме 0 обеспечивается простой ввод-вывод информации через любой из трех каналов, и сигналов квитирования не требуется. В этом режиме микросхема представляет собой совокупность двух 8-разрядных и двух 4-разрядных каналов ввода-вывода. Каждый канал может быть запрограммирован на ввод или вывод.

В этом режиме 1 передача данных осуществляется только через каналы А и В, а линии канала С используются для приема и выдачи сигналов квитирования. Если порты А и В работают на ввод, то сигналы квитирования будут следующими: C0 (выход) – IRQb, C1 (выход) – ACKb, C2 (вход) – STRb#, C3 (выход) – IRQa, C4 (выход) – STRa#, C5 (вход) – ACKa. Сигнал IRQ можно использовать для организации обмена по прерываниям, сигнал ACK подтверждает получение данных в БИС от внешнего устройства, строб-сигнал STR# формируется внешним устройством и подтверждает истинность данных на входах портов А и В. Индекс сигнала показывает для какого порта он работает. Если порты А и В работают на вывод, то сигналы квитирования будут иметь следующее соответствие порту С: C0 (выход) – IRQb, C1 (выход) – STRb#, C2 (вход) – ACKb, C3 (выход) – IRQa, C7 (выход) – STRa#, C6 (вход) – ACKa. В остальных комбинациях направления передачи портов А и В распределение сигналов квитирования повторяет уже известные.

В режиме 2 обеспечивается возможность обмена информацией с периферийными устройствами через двунаправленный 8-разрядный канал А по сигналам квитирования. Для сигналов управления обменом используется 5 линий порта С. Биты: C3 (выход) – IRQa, C4 (вход) – STR\_RD#, C5 (выход) – ACK\_RD, C6 (вход) – ACK\_WR, C7 (выход) – STR\_WR#. Индексы RD или WR показывают направление передачи для которого работает сигнал.

Программирование БИС выполняется очень просто. В PUC записывается одно из двух управляющих слов. Первое слово (рис.8.2а) определяет режим работы и направление передачи данных каждого порта. Второе слово работает только с портом С, устанавливает в 1 или сбрасывает в 0 заданный разряд порта С.

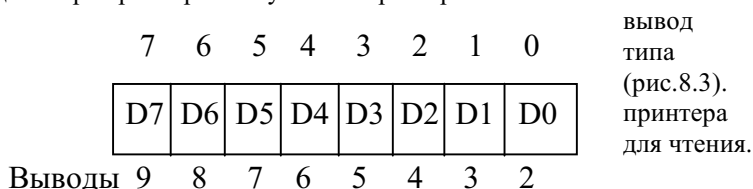


**Рис 8.2 Управляющие слова БИС**

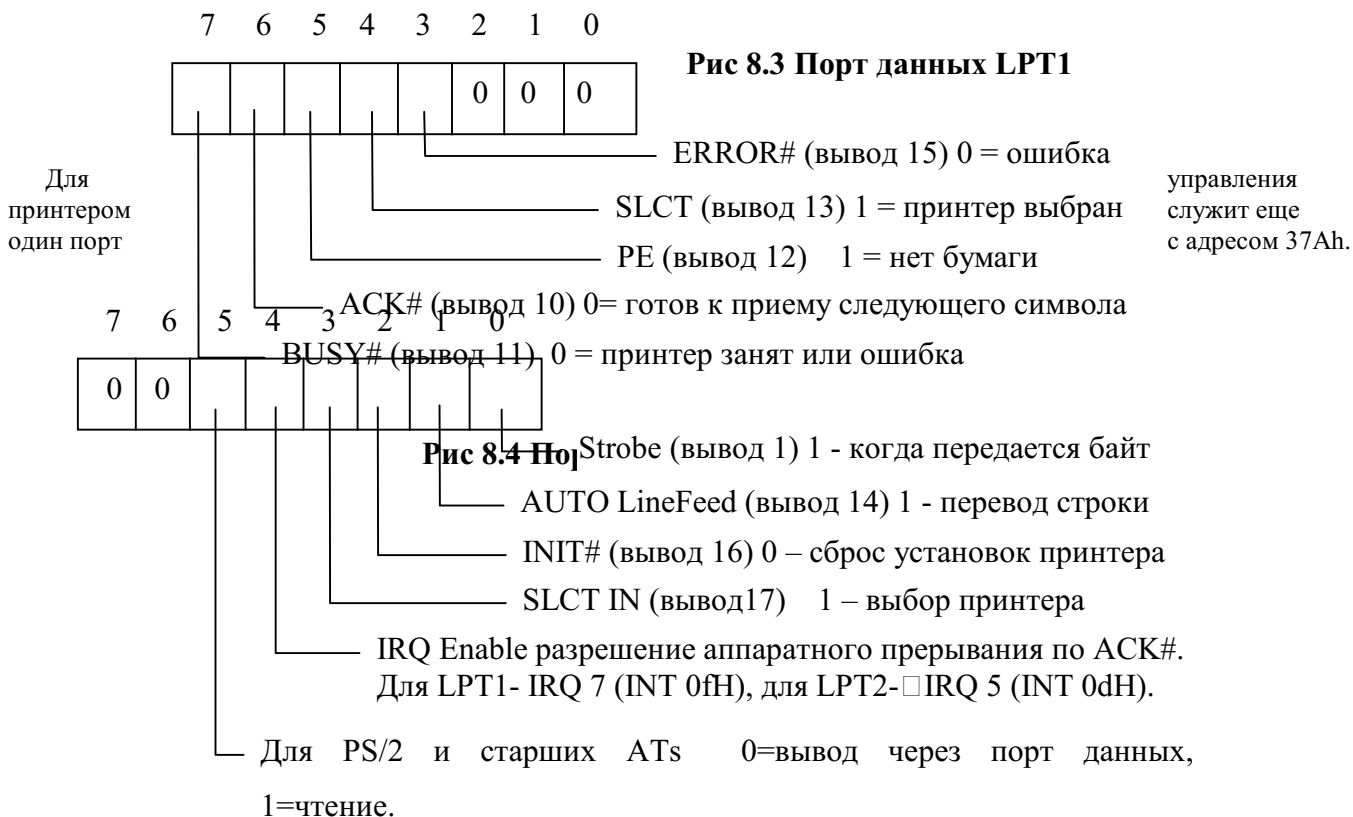
Дополнительную информацию по программированию БИС параллельного ввода-вывода в режимах 1 и 2 можно найти в справочной литературе.

В персональных компьютерах параллельный порт специализирован для работы с принтером (интерфейс Centronics). Отдельного программирования не требуется [11]. Начальные адреса портов: 378h – LPT1, 278h – LPT2, 3BCh – на видеокарте монохромного дисплея. Каждый порт принтера обслуживает три порта.

Для LPT1 по адресу 378h выполняется данных на принтер или ввод данных с другого устройств. Данные не инвертируются По адресу 379h располагается слово состояния (рис.8.4). Слово состояния доступно только



**Рис 8.3 Порт данных LPT1**



**Рис 8.5 Порт управления LPT1**

Значения этого порта доступны для записи и чтения (рис.8.5).

## 8.2 БИС ТАЙМЕРА

Программируемый интервальный таймер i8253 (КР580ВИ53/54) решает одну из наиболее общих проблем любой микропроцессорной системы – генерацию точных временных интервалов, управляемых программно. Микросхема выполнена по n-МОП - технологии в 24-выводном корпусе. Напряжение питания +5В. В состав БИС входят три 16-разрядных вычитающих счетчика с частотой по входу CLK (CLOCK) до 2 МГц. Каждый счетчик может работать в одном из шести программно – заданных режимов. Все счетчики доступны для записи или чтения. Коэффициент пересчета может иметь двоичный или двоично-десятичный формат [10].

Связь программируемого интервального таймера (ПИТ) с компонентами микропроцессорной системы осуществляется через 8-разрядную двунаправленную шину данных D0-D7 под управлением сигналов A0, A1, CS#, RD#, WR# (рис.8.6). При двухбайтном обмене операции выполняются дважды: сначала записывается или

считывается младший байт, затем старший. Счетчики работают независимо друг от друга. Перед началом работы каждый счетчик программируется, т.е. в РУС записывают управляющее слово CW. Чтобы счетчик начал работать в него необходимо записать байты коэффициента пересчета. Последний записанный байт запускает счетчик. Последовательность записи коэффициента следующая: при однобайтном – младший или старший, при двухбайтном – сначала младший, потом старший. Последовательность инициализации счетчиков произвольная. Например, сначала можно записать управляющие слова в РУС для всех трех счетчиков. Затем по мере необходимости счетчика записать в него коэффициент.

Управляющее слово CW имеет формат показанный на рис.8.7.

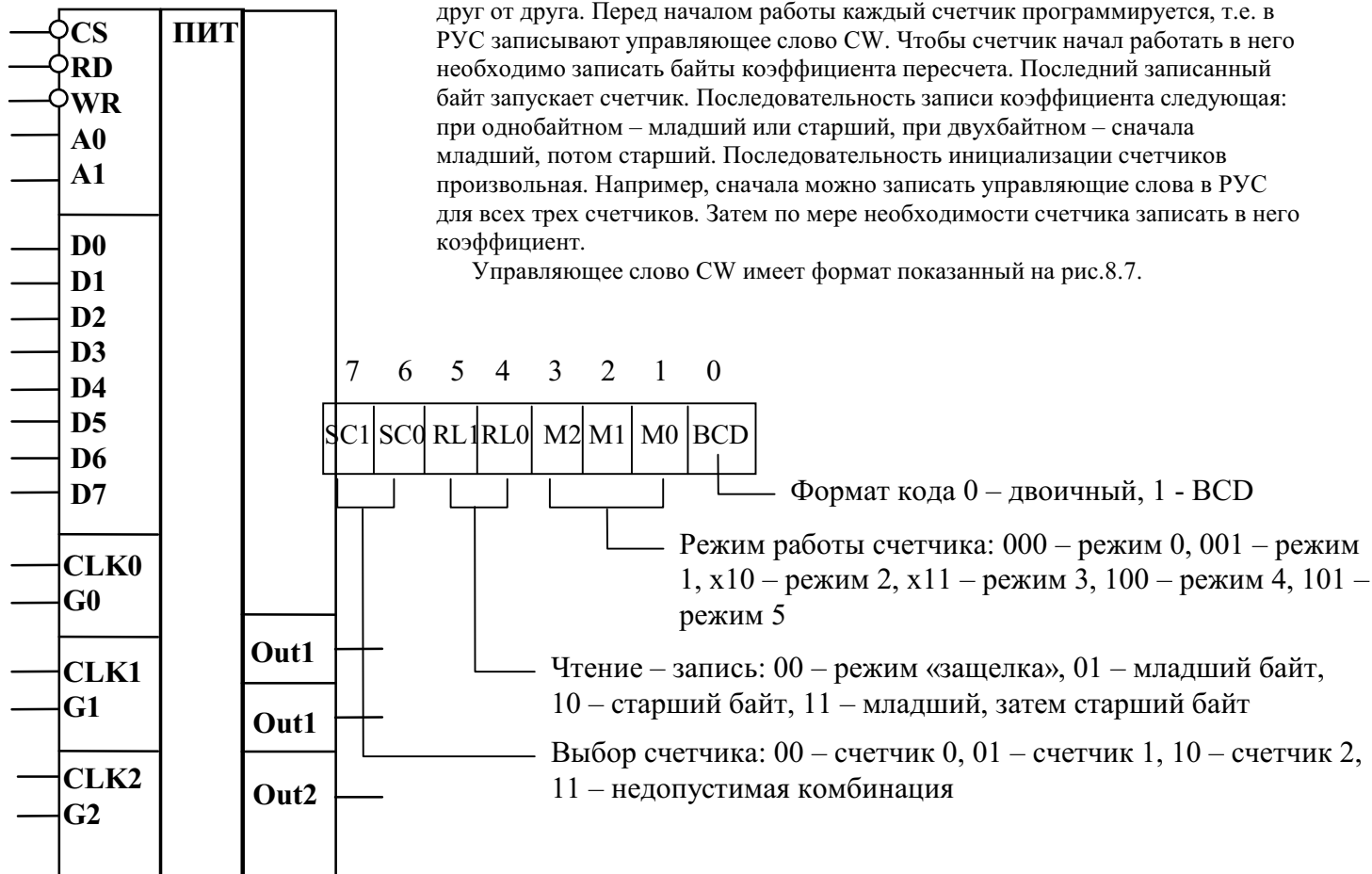
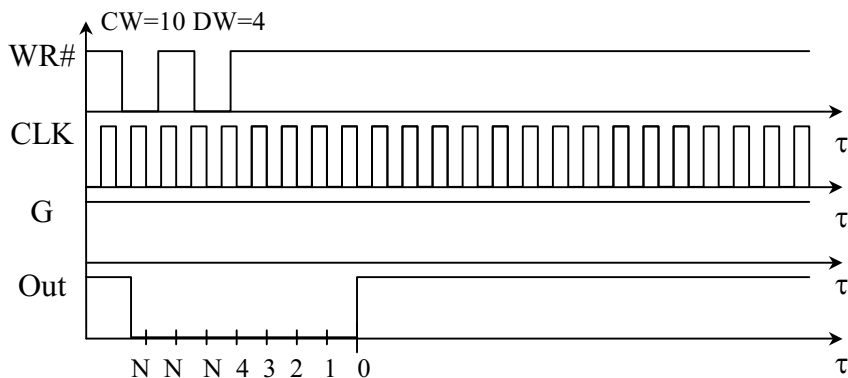


Рис 8.6 Условное графическое обозначение БИС таймера

Рис 8.7 Формат управляющего слова

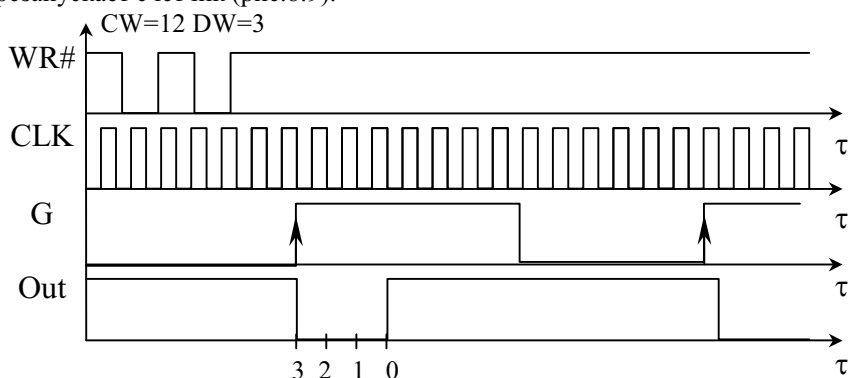
Счетчики могут работать в одном из шести режимов, определяемых программно комбинацией бит M2, M1, M0 в управляющем слове.

Режим 0 – прерывание по окончании счета. После записи управляющего слова CW на выходе Out устанавливается нулевое значение (рис.8.8). После загрузки коэффициента DW счетчик начинает вычитать по каждому срезу CLK. При переходе значения в 0, выход Out устанавливается в единицу. Перезапуск производится при загрузке новых данных DW. Вход G разрешает или запрещает работу счетчика.



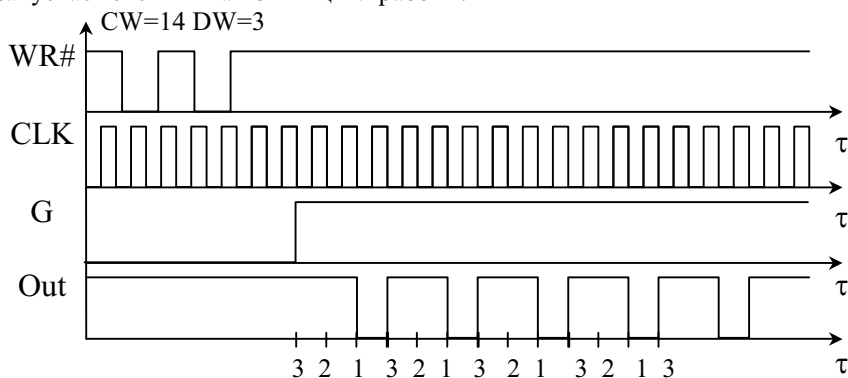
**Рис 8.8** Временная диаграмма работы счетчика в режиме 0

*Режим 1* – программируемый одновибратор. Выход Out генерирует 0 по первому срезу CLK после фронта G и счетчик начинает вычитать. При переходе счетчика в 0 на выходе устанавливается 1. Появление фронта G перезапускает счетчик (рис.8.9).



**Рис 8.9** Временная диаграмма работы счетчика в режиме 1

*Режим 2* – генератор частоты. Выход Out имеет нулевое значение только в течение одного периода входной частоты CLK (рис.8.10). Перезагрузка счетчика не приводит к изменению длительности текущего импульса. Фронт G запускает счетчик на новый цикл работы.

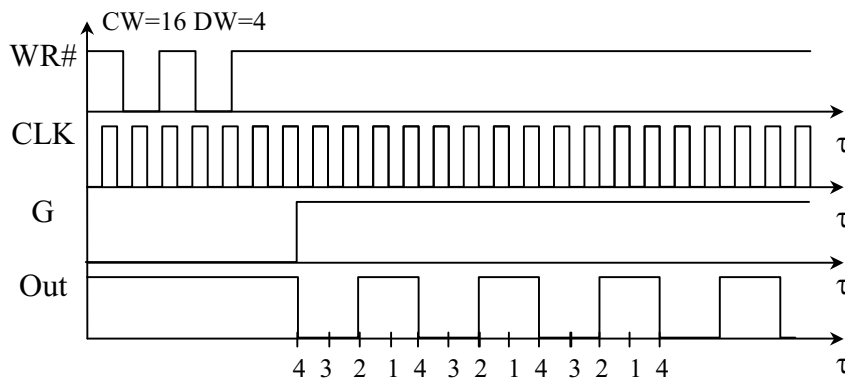


**Рис 8.10** Временная диаграмма работы счетчика в режиме 2

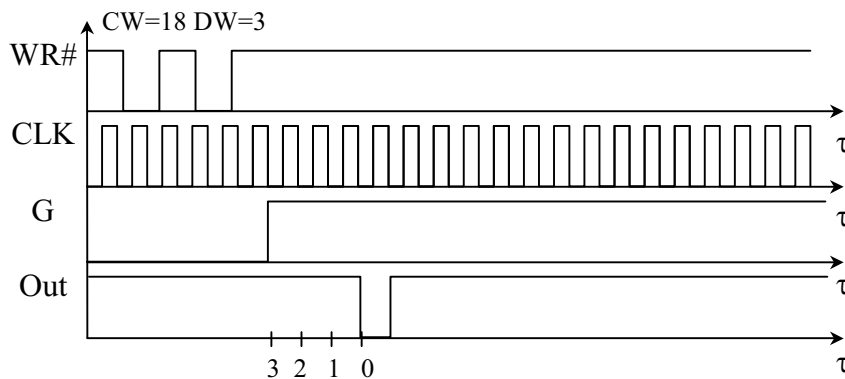
*Режим 3* – генератор прямоугольных импульсов. Выход Out равен 1, пока не закончится одна половина счета (рис.8.11). При нечетном DW на протяжении  $(N+1)/2$  тактов удерживается 1 и на протяжении  $(N-1)/2$  тактов – 0. В остальном режим 3 аналогичен режиму 2.

*Режим 4* – программная задержка строба. После записи CW на выходе Out устанавливается 1. Запуск счета осуществляется после записи DW. При достижении нуля на выходе генерируется импульс в один CLK (рис.8.12), а счетчик продолжает работать. Перезагрузка DW приводит к перезапуску. Сигнал G разрешает или запрещает работу счетчика.

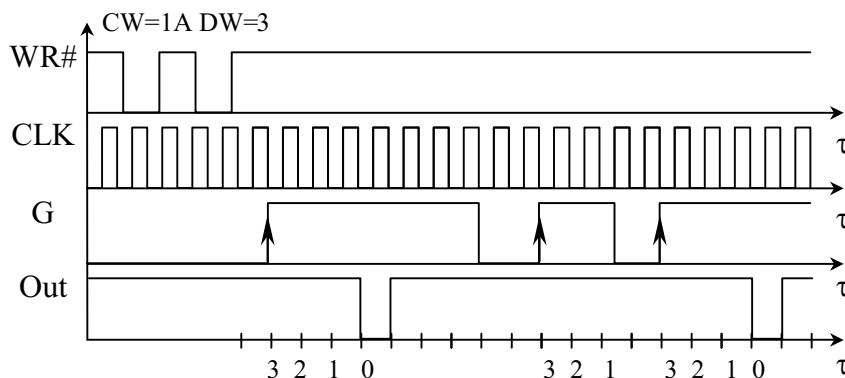
*Режим 5* – аппаратная задержка строба. Счетчик начинает работать только по фронту G (рис.8.13). Новый фронт перезапускает текущий счет. В остальном режим работы аналогичен режиму 4.



**Рис 8.11** Временная диаграмма работы счетчика в режиме 3



**Рис 8.12** Временная диаграмма работы счетчика в режиме 4



**Рис 8.13** Временная диаграмма работы счетчика в режиме 5

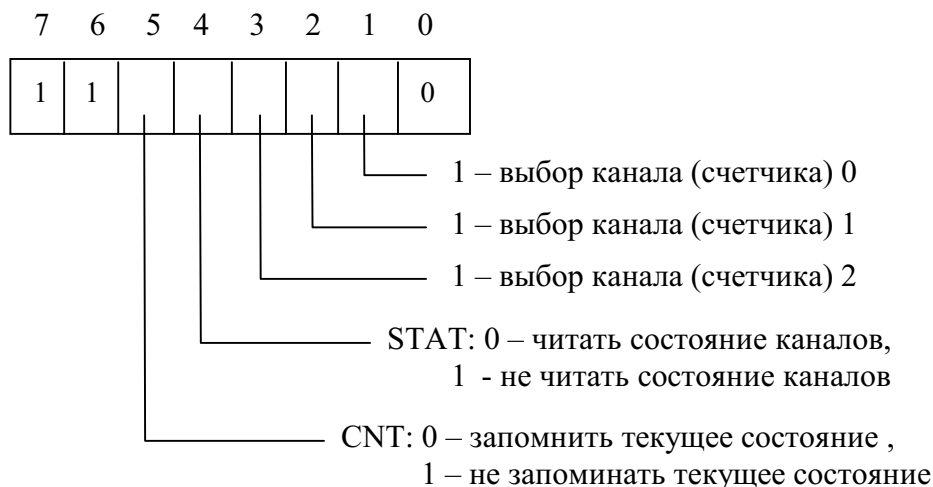
Чтение информации из таймера возможно в виде показаний счетчиков и осуществляется двумя способами: путем выполнения обычной операции чтения или ввода специальной команды и последующего чтения («чтение на лету»).

При первом способе чтения для обеспечения стабильных показаний (считывается текущая информация) работа счетчика должна быть приостановлена путем подачи на вход G напряжения низкого уровня (режимы 0, 2-4) или блокированием сигнала CLK.

Второй способ чтения заключается в том, что программист может считывать содержимое счетчика, не прерывая процесс счета, посредством операции записи определенного управляющего слова. В управляющем слове разряды D5=0, D4=0 указывают, что производится операция защелкивания; разряды D7, D6 служат адресом для выбора канала; состояние разрядов D3-D0 безразлично. Содержимое счетчика при втором способе чтения извлекается в следующем порядке: операция записи «защелкивает» текущее значение счета; первая операция чтения извлекает содержимое младшего байта; вторая операция чтения извлекает содержимое старшего байта.

В персональном компьютере таймер имеет четыре порта [11]. По адресам 40h, 41h, 42h и 43h располагаются счетчики 0, 1, 2 и РУС. Программирование таймера несколько сложнее. Это связано с изменениями в управляющих словах.

Первое управляющее слово CW1 аналогично рассмотренному CW (рис.8.7). Но комбинация SC0=SC1=1, возможна и определяет чтение состояния канала. Если производится чтение состояния канала (RBC), то требуется запись второго управляющего слова CW2 (рис.8.14).



**Рис 8.14 Формат управляющего слова CW2 (RBC)**

После записи CW2 в РУС, можно прочитать слово состояния SW. Его формат аналогичен CW (рис.8.7), за исключением двух старших бит. Бит D6 обозначается FN и соответствует флагу перезагрузки констант. Разряд D7 обозначается OUT и показывает состояние выхода. Таким образом, слово состояния показывает коэффициент пересчета, режим работы, формат чтения-записи, перезагрузку

констант и состояние выхода.

Если в слове CW1 не применяется формат RBC, то работа с таймером персонального компьютера ничем не отличается от работы с микросхемой i8253.

Таймер 0, в компьютере, служит для измерения временных интервалов. Выходная частота 18.2 Гц. Таймер 2 подключен к громкоговорителю, который дополнительно управляется через порт с адресом 61h. Бит D0 этого порта управляет входом G2 (GATE2), а бит D1 (1/0) включает/выключает динамик.

### **8.3 БИС УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКА**

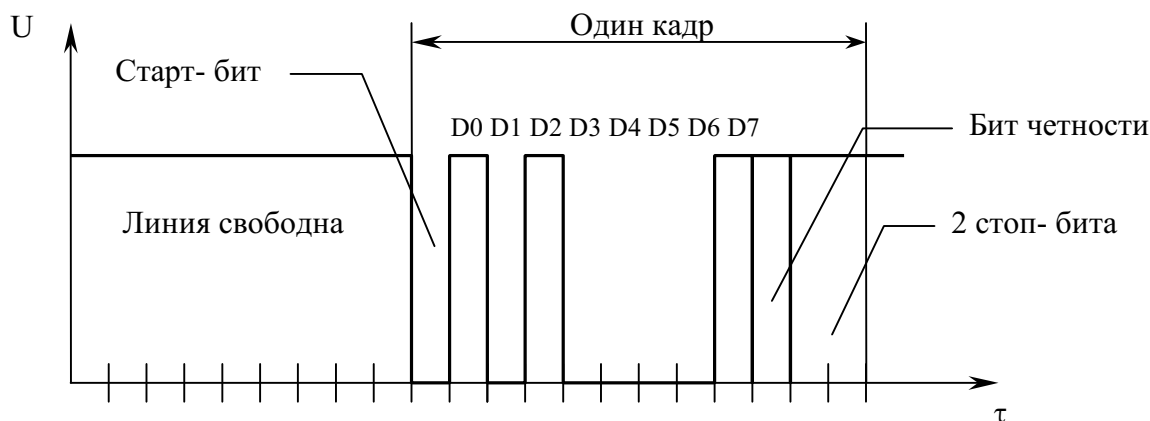
Последовательная связь в микропроцессорных системах предусматривает последовательную, по битам, передачу данных. Этот вид связи широко используется для передачи данных между устройствами, расположенными в одном помещении, но если воспользоваться модемом и телефонными линиями, такую связь можно осуществить на любом расстоянии.

Существуют два режима связи: дуплексный и полудуплексный. В дуплексном режиме одновременно с передачей данных из устройства А в устройство В устройством А может осуществляться прием данных, передаваемых устройством В.

В полудуплексном режиме предусмотрено временное разделение приема и передачи по одной линии.

Последовательная связь организуется асинхронным и синхронным способами передачи данных. Асинхронная передача данных это передача данных осуществляемая нерегулярно. Для передачи одного символа очень часто используется побайтовая передача. Время поступления данных непредсказуемо, поэтому в начале передаваемых данных помещают стартовый бит, а в конце - стоповый бит. Таким образом, когда передачи нет, на линии устанавливается состояние логической единицы. При передаче данных стартовый бит, равен нулю, а стоповый единице. Иногда применяют больше одного стопового бита и еще контроль четности байта. Единица передаваемой информации называется кадром.

Пусть необходимо передать значение 85h. Формат кадра включает 8 бит данных, контроль четности, два стоповых бита. Временная диаграмма передачи информации показана на рис.8.15.



**Рис 8.15 Кадр последовательно передаваемых данных**

При синхронной передаче данных для выделения из последовательного потока полезной информации перед битами данных вводятся синхросимволы. Количество синхросимволов, один или два. Синхросимвол имеет ту же длину, что и данные. Для синхронной передачи иногда используют дополнительные сигналы управления.

Последовательный интерфейс микропроцессорных систем строится на базе универсального синхронно - асинхронного приемопередатчика (УСАПП) аналогичного i8250 (KP580BB51A) [10].

Микросхема KP580BB51A - универсальный приемопередатчик, предназначенный для аппаратной реализации последовательного протокола обмена между микропроцессором (или другим устройством, которое сможет запрограммировать данную микросхему на требуемый режим работы) и каналами последовательной передачи дискретной информации. Микросхема преобразует параллельный код, получаемый от центрального процессора, в последовательный поток символов со служебными битами и выдает эту последовательность в последовательный канал связи с различной скоростью (максимальная скорость приема/передачи по последовательному каналу 64Кбод, минимальная не ограничена и определяется внешними устройствами). Также микросхема выполняет и обратное преобразование: последовательный поток символов - в параллельное 8-разрядное слово. Передаваемая и принимаемая информация при желании может контролироваться на четность(нечетность).

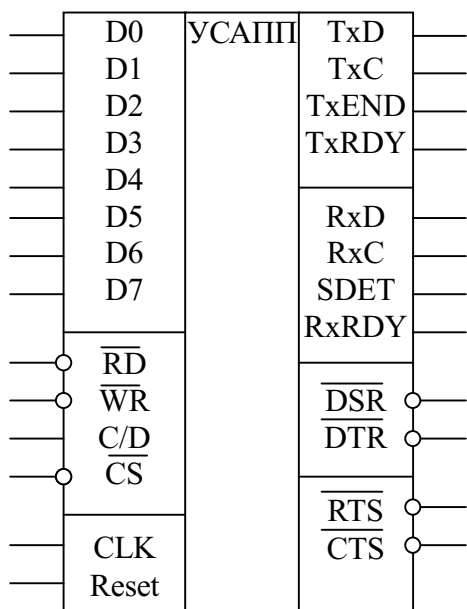
Микросхема программируется на выполнение почти всех применяющихся в настоящее время протоколов последовательной передачи данных и работает в двух режимах: синхронном и асинхронном. Синхронный режим характеризуется непрерывным потоком передаваемой (принимаемой) информации. Для установления синхронизации между передатчиком (приемником) микросхемы и приемником (передатчиком) внешнего устройства и выделения из последовательного потока символов полезной информации в поток вводятся кодирующие слова – синхросимволы, информационная 5-8 бит и временная длины синхросимвола и слова данных одинаковы. Временные промежутки между словами заполняются синхросимволами. Количество синхросимволов задается программно (один или два). При контроле четности после каждого слова вставляется бит контроля. Условное обозначение БИС приведено на рис.8.16.

Назначение выводов: D0-D7 - канал данных для обмена информацией между микропроцессором и микросхемой; RD# - сигнал чтения информации; WR# - сигнал записи информации; C/D# - управление/данные; CS - выбор микросхемы; CLK – сигнал тактирования внутренних схем; Reset - установка исходного состояния; TxD – выход передатчика микросхемы; TxC - синхронизация передатчика; TxEND - конец передачи; TxRDY - готовность передатчика; RxD – вход приемника микросхемы; RxC - синхронизация приемника; SDET - двунаправленный

трехстабильный программируемый вход-выход; RxRDY - готовность приемника; DSR (вход) - готовность внешнего устройства передать данные; DTR (выход) - запрос передатчика внешнего устройства на передачу данных; RTS (выход) - запрос приемника внешнего устройства на прием данных; CTS (вход) - готовность внешнего устройства принять данные.

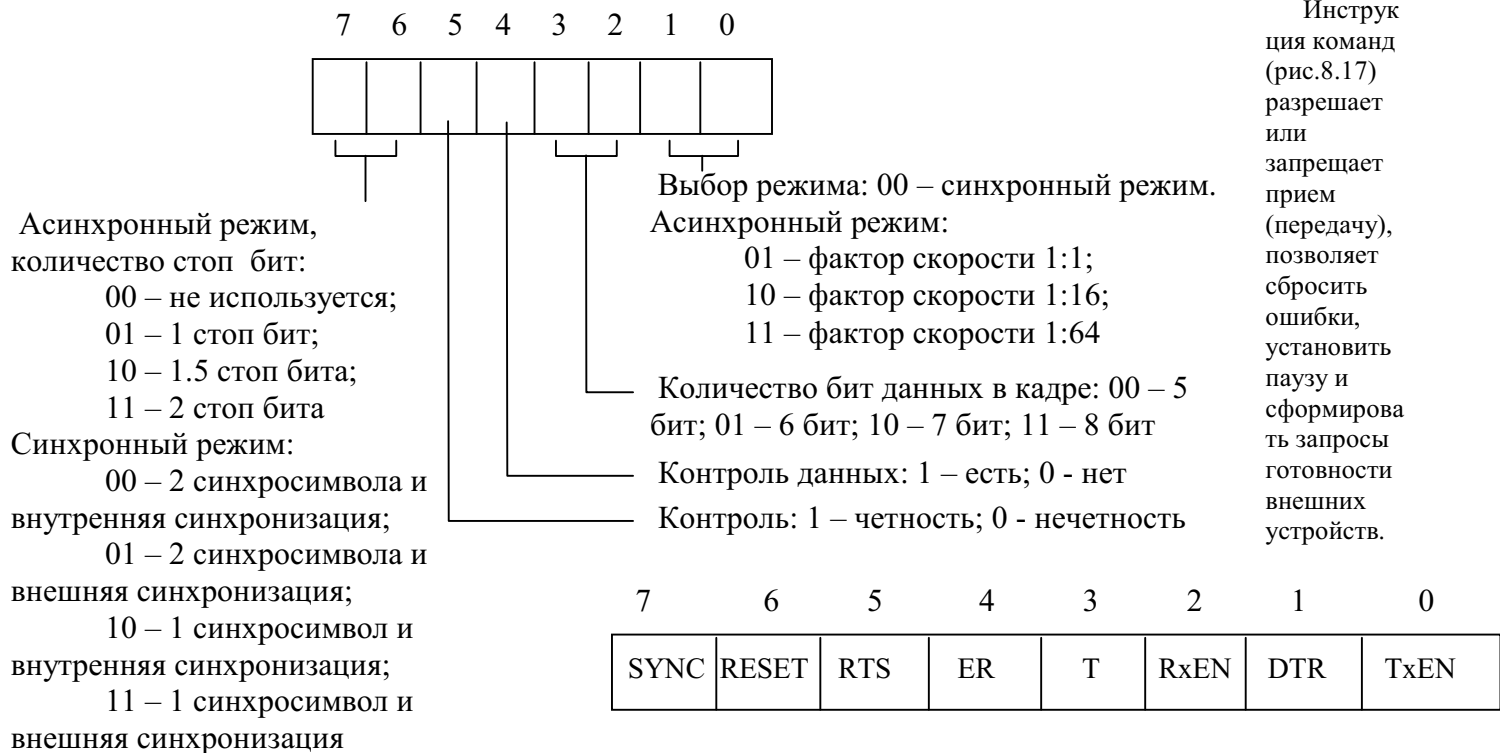
Программирование БИС выполняется по следующей схеме. Сначала определяется режим работы синхронный или асинхронный, для этого режима формат кадра и скорость передачи. Затем формируются управляющие слова MI (инструкция режима) и CI (инструкция команд). Управляющие слова обычно записываются по нечетному адресу БИС (CI=0, CI= «сброс», MI, CI= «разрешение ввода-вывода»). По этому же адресу считывается слово состояния SW. В зависимости от того что мы собираемся делать передавать или принимать данные в SW проверяются соответствующие биты. Если приемник (передатчик) готовы к работе, то по четному адресу БИС считывается (записывается) байт данных.

На рис.8.16 приведено управляющее слово MI. Если биты 0 и 1 определяют синхронный режим, то биты 6 и 7 должны устанавливаться



**Рис 8.15 Условное графическое обозначение БИС УСАПП**

для этого режима. Биты со 2 по 5 в синхронном и асинхронном режимах работают одинаково.



**Рис 8.16 Формат инструкции режима**

**Рис 8.17 Формат управляющего слова CI**

Значения бит слова следующие: SYNC=1 – поиск синхросимвола; RESET=1 – внутренний программный сброс; RTS=1 – запрос готовности приемника внешнего устройства (одноименный выход БИС имеет значение 0); ER=1 – сброс ошибки; T=1 – пауза (0 – нет); RxEN=1 – разрешение приема; DTR=1 – запрос готовности передатчика внешнего устройства (одноименный выход БИС имеет значение 0); TxEN=1 – разрешение передачи.

Слово состояния (рис.8.18) позволяет определить готовность внешнего устройства передать данные (DSR=1), вхождение в синхронизацию (SDET=1), ошибку формата (FE=1), ошибку переполнения (OE=1), ошибку контроля четности данных (PE=1), завершение передачи (TxEND=1), готовность приемника (RxRDY=1 – данные в буфере), готовность передатчика (TxRDY=1 – буфер пуст).

7	6	5	4	3	2	1	0
DSR	SDET	FE	OE	PE	TxEND	RxRDY	TxRDY

**Рис 8.18 Формат управляющего слова SW**

Организация COM порта [11] персонального компьютера имеет

некоторые отличия, связанные в первую очередь с организацией последовательной связи со стандартными устройствами и модемом. Дополнительно в БИС i8250 введены регистры, определяющие скорость приема-передачи. В персональном компьютере обычно используется два порта COM1 и COM2. Адресное пространство 3F8h – 3FFh для первого порта, и 2F8h – 2FFh для второго. Распределение портов в некоторых случаях зависит от старшего разряда управляющего слова. Если старший бит (D7), байта записываемого по адресу 3FBh, равен 0, то по адресу 3F8h располагается регистр приема (передачи) данных. В противном случае (D7=1) по этому адресу записывается младший байт коэффициента деления частоты. Аналогично изменяется назначение регистра по адресу 3F9h. Если D7=0 по адресу 3FBh, то по адресу 3F9h располагается регистр управления прерываниями. В случае, когда D7=1, по адресу 3F9h располагается старший байт коэффициента пересчета.

В таблице 8.1 приведено соответствие коэффициентов пересчета и скорости приема (передачи).

**Таблица 8.1**

Коэффициент	Скорость (Бод)	Коэффициент	Скорость (Бод)
1040	110	24	4800
768	150	12	9600



384	300	6	19200
192	600	3	38400
96	1200	2	57600
48	2400	1	115200

Регистр управления прерываниями (адрес 3F9h) от асинхронного адаптера имеет формат, приведенный на рис.8.19.

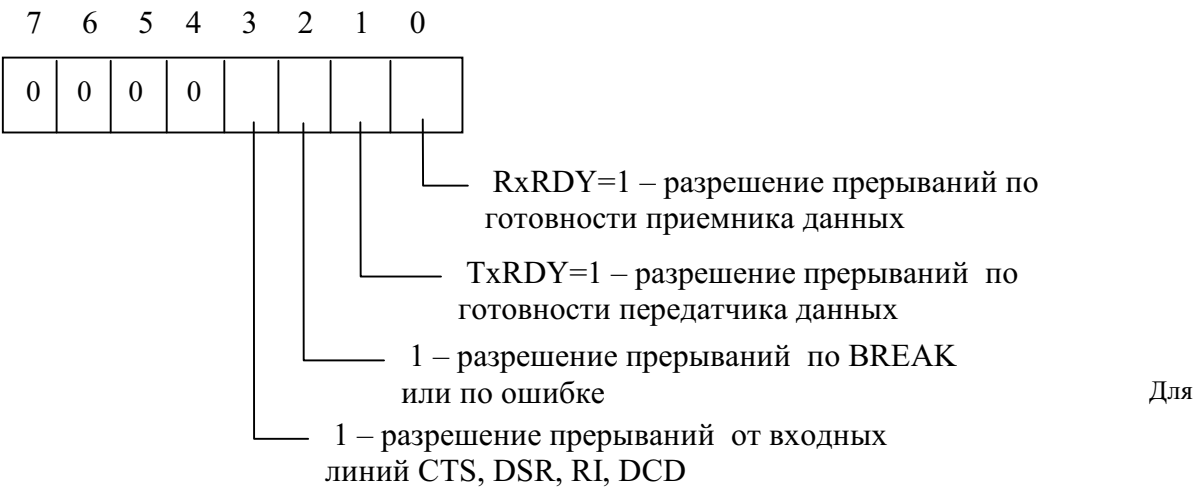


Рис 8.19 Формат регистра управления прерываниями

определения причины прерываний служит регистр идентификации прерываний. Его формат показан на рис.8.20.

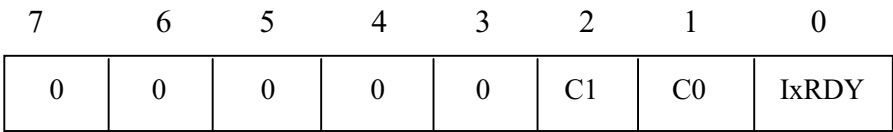


Рис 8.20 Регистр идентификации прерываний

Этот регистр располагается по адресу 3FAh. Если бит IxRDY=1, то нет прерываний ожидающих обслуживания. Биты C1 и C0 определяют код источника прерываний: 00 – есть прерывание по ошибке OE, PE, FE или BREAK; 01 – данные приняты (RxRDY); 10 – буфер передатчика пуст (TxRDY); 11 – изменилось состояние CTS, RI, DCD, DSR.

Для COM1 в микропроцессорной системе отведен уровень IRQ4 запроса прерываний, для COM2 – IRQ3.

По адресу 3FBh расположен управляющий регистр, доступный для чтения и записи. В нем определяется количество бит данных в кадре, количество стоповых бит, наличие контроля четности или фиксированная четность, установка перерыва

и управление портами по адресам 3F9h (рис8.21).



Управление модемом

Рис 8.21 Формат регистра управления

осуществляется через регистр расположенный по адресу 3FCh. Биты OUT1 и OUT2 (рис.8.22) соответствуют запасным линиям. Бит D4 запускает тест порта при условии, что выход TxD и вход RxD замкнуты.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	TEST	OUT2	OUT1	RTS	DTR

**Рис 8.22 Формат регистра управления модемом**

По адресу 3FCh располагается регистр состояния линии (рис.8.23). Бит T отвечает

за наличие паузы, т.е. внешнее устройство не имеет связи с компьютером. Бит T1xRDY показывает готовность регистра сдвига передатчика, а TxRDY – готовность регистра хранения данных передатчика. Бит BREAK устанавливается в 1 если обнаружена длинная строка нулей. Если бит SE=1, то произошла ошибка синхронизации. Работа с другими битами этого регистра аналогична SW рис.8.18.

7	6	5	4	3	2	1	0
T	T1xRDY	TxRDY	BREAK	SE	PE	OE	RxRDY

По адресу

регистр (рис.8.24). детектор линии

**Рис 8.23 Формат SW линии**

3FEh располагается состояния модема Бит DCD – это принимаемого с сигнала, RI – индикатор вызова. Остальные разряды SW известны.

модема

7	6	5	4	3	2	1	0
DCD	RI	DSR	CTC	DCD	RI	DSR	CTC

Состояние линии

Линия изменила состояние

**Рис 8.23 Формат SW модема**

Сигнал DB9 DB25 Направление

TxD	3	2	Выход
RxD	2	3	Вход
DTR	4	20	Выход
DSR	6	6	Вход
RTS	7	4	Выход
CTS	8	5	Вход
DCD	1	8	Вход
RI	9	22	Вход
GND	5	7	-

**Рис 8.24 Разъем COM порта**

последовательной связи аппаратно может быть реализован в составе различных БИС. Схемотехника порта может иметь отличия, не влияющие на его программирование и интерфейс. Персональный компьютер имеет разъемы для подключения внешних устройств к портам. Принято использовать два типа разъемов - 25 и 9 контактные. На рис.8.24 показано соответствие сигналов контактам разъема и направление передаваемой информации. Все сигналы имеют программный доступ, одни для чтения, другие для записи.

#### 8.4 ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР ПРЕРЫВАНИЙ

*Прерывания в микропроцессорных системах.* Прерывания представляют собой перестановку контекста процессора, вызванную внешней по отношению к выполняемой инструкции причиной. Источники прерываний это периферийные устройства, оператор микропроцессорной системы, программные средства. Физически прерывания представляются сигналом, посылаемым микропроцессору. Этот сигнал вызывает изменение указателя счетчика команд микропроцессора. Программа, к выполнению которой переходит микропроцессор в результате прерывания, называется программой обработки прерывания.

Существует два подхода к организации прерываний: со всеми прерываниями связан один указатель и одна программа обработки; с каждым прерыванием связан свой собственный указатель и своя программа обработки. В первом подходе обязательно должна быть дополнительная информация (код прерывания), чтобы отличить источник прерывания. По коду прерывания вызывается соответствующая подпрограмма обработки. Во втором подходе соответствующая программа вызывается автоматически, т.к. существует несколько уровней прерываний.

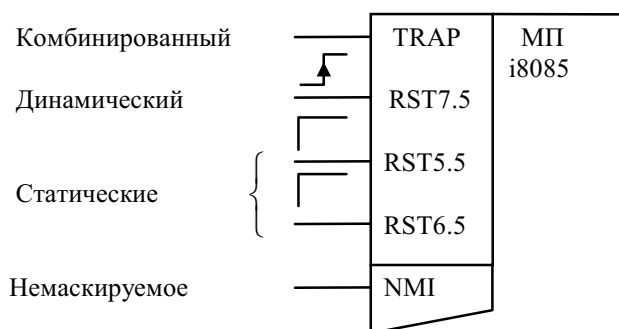
Конфликт при одновременном поступлении запроса на прерывание разрешается установлением приоритетов между уровнями прерываний.

Прерывания делятся на маскируемые и немаскируемые. Первые могут быть запрещены или разрешены программным способом на уровне микропроцессора или на уровне контроллера прерываний. Вторые не могут быть запрещены программно.

*Физическая организация прерываний.* С точки зрения физической организации различают радиальную и векторную систему прерываний.

В радиальной системе прерываний каждому запросу IRQ соответствует отдельный вход микропроцессора и адрес. Для программиста каждый IRQ это отдельная точка входа в подпрограмму. Вход происходит автоматически по запросу, либо программно по опросу. В обоих случаях счетчик команд сохраняется в стеке, а в счетчик команд записывается стартовый адрес подпрограммы.

На рис.8.25 показан фрагмент условного графического обозначения микропроцессора i8085 с входами запросов прерываний [10].



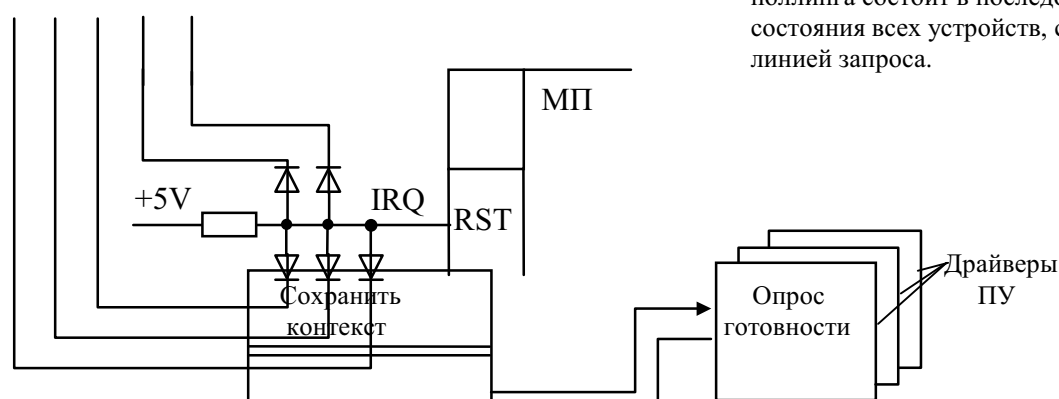
**Рис 8.25 Радиальная система прерываний**

С целью увеличения помехоустойчивости используют несколько видов запускающих сигналов IRQ: статический, не происходит изменение его уровня (RST5.5, RST6.5); динамический, где важна скорость нарастания сигнала (RST7.5); комбинированный (TRAP). Все прерывания, кроме NMI, маскируемые.

Каждая внешняя радиальная линия IRQ может быть превращена в магистраль, объединяющую по схеме «монтажное ИЛИ» запросы от нескольких источников (рис.8.26). Это так называемое расширение радиальной системы методом *поллинга*. Здесь есть одна проблема, связанная с идентификацией источника. Решается она опросом готовности каждого источника.

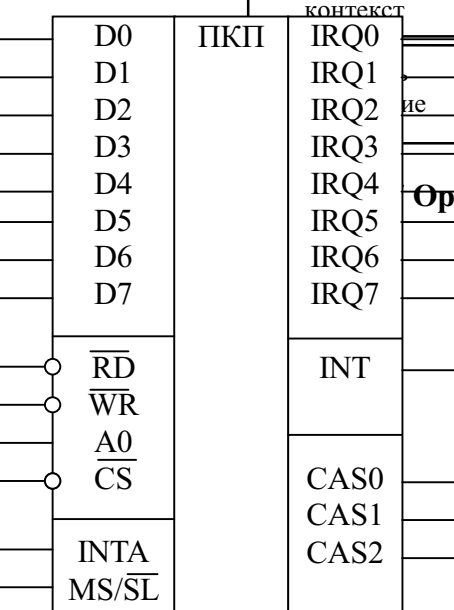
Схема опроса показана на рис.8.27. Функция поллинга состоит в последовательном опросе состояния всех устройств, связанных с данной линией запроса.

Шина запросов



**Рис 8.26 Схема поллинга**

система



**Организация обслуживания по опросу**

Интерфейс векторного запроса расширен шиной VECT, которая может быть как автономной, так и совмещенной с шиной данных.

Для синхронизации работы процессора и источника вектора прерывания используется сигнал INTA. Расширение векторной системы состоит в проектировании внешних, программно управляемых средств, которые собирают вторичные (периферийные) запросы IRQ1, IRQ2, ... IRQN.

Существует два подхода решения этой задачи. Первый состоит в передаче функций формирования вектора прерываний внешнему

*Векторная прерываний.*

Увеличение эффективности системы прерываний связано с параметризацией команды CALL и передачей функций генерации этого параметра (вектора прерываний) внешними средствами.

**Рис 8.28 Условное графическое обозначение БИС ПКП**

устройству. Второй – в передаче функций формирования вектора прерываний специальному устройству - контроллеру прерываний.

Рассмотрим программируемый контроллер прерываний KP580BH59 (i8259). Условное графическое обозначение БИС приведено на рис.8.28.

Входы D0–D7 – входы или выходы для подключения к шине данных микропроцессорной системы. Управление чтением и записью выполняется стандартными сигналами RD#, WR#, A0, CS#. Вход INTA служит для подтверждения получения сигнала прерывания микропроцессором с выхода INT БИС ПКП. MS/SL# - вход определяет: ведущий («1») или ведомый («0») ПКП. На входы IRQ0-IRQ7 поступают запросы прерываний от внешних устройств или ведомых контроллеров. Всего имеется 8 уровней прерываний, но их можно расширить до 64, методом каскадного включения ПКП. По линиям CAS0-CAS2 (входы/выходы) ведущему ПКП передается код ведомого ПКП, при каскадном подключении.

Программирование контроллера состоит в записи нескольких управляющих слов. Первым записывается слово ICW1. Адрес должен быть четным, т.е. вход A0=0. Биты D4 и D3 имеют фиксированные значения 1 и 0, означающие, что в ПКП поступает первое управляющее слово (рис.8.29). Бит F устанавливает шаг вектора прерываний. Если F=1, то шаг равен 4. Если F=0, то шаг – восемь. Бит S устанавливает количество контроллеров (S=1 – один ПКП, S=0 - несколько ПКП). Разряды D7-D5, управляющего слова отвечают за младший байт адреса вектора прерываний. Программируемые значения адреса A7 и A6 для шага 8 и A7, A6, A5 для шага 4. Младшие разряды адреса, A4 – A0, вычисляются в ПКП.

7	6	5	4	3	2	1	0
A7	A6	A5	1	0	F	S	0

Рис 8.29 Формат ICW1

7	6	5	4	3	2	1	0
A15	A14	A13	A12	A11	A10	A9	A8

Рис 8.30 Формат ICW2

7	6	5	4	3	2	1	0
U7	U6	U5	U4	U3	U2	U1	U0

Рис 8.31 Формат ICW3.1

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	U2	U1	U0

Рис 8.32 Формат ICW3.2

Нулевое значение – разрешает прохождение прерывания.

7	6	5	4	3	2	1	0
R	SL	EOI	0	0	L2	L1	L0

Рис 8.34 Формат OCW2

прерываний, имеет наибольшее распространение.

Специальное завершение прерываний, комбинация «01100L2L1L0», используется для завершения обслуживания

конкретного уровня прерывания. Последние три бита (L2, L1, L0) соответствуют двоичному коду номера завершаемого прерывания.

Циклический сдвиг уровней с обычным завершением прерываний имеет комбинацию «10100xxx». Три последних бита в работе не участвуют и могут принимать любые логические значения. Дно приоритетов устанавливается по обслуживаемому прерыванию. Например, пусть был

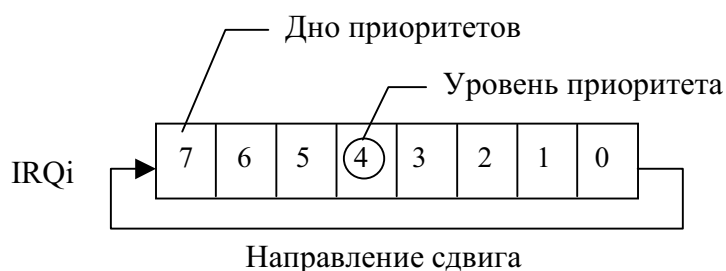


Рис 8.35 Кольцо приоритетов

Вторым по нечетному адресу записывается ICW2, определяющее старшую часть адреса вектора прерываний (рис.8.30).

Третье управляющее слово ICW3 имеет две модификации и записывается только когда есть ведущий и ведомые ПКП. В ведущий ПКП, по нечетному адресу, записывается ICW3.1. В ведомый ПКП, также по нечетному адресу, записывается ICW3.2.

Разряды Ui слова ICW3.1 (рис.8.31) принимают значение 1 если соответствующий вход IRQi БИС ПКП подключен к выходу INT ведомого ПКП. Значение 0 записывается в тех случаях, когда к соответствующему входу IRQi подключена линия запроса прерывания внешнего устройства.

Разряды Ui слова ICW3.2 (рис.8.32) - это код ведомого ПКП, обычно равен номеру входа IRQ ведущего ПКП.

Обслуживание прерываний выполняется словами OCW1 и OCW2. Эти управляющие слова могут быть записаны в ПКП не обязательно в след

за ICW – словами.

Например, OCW2 применяется в подпрограммах обработки прерываний. Но его надо писать в ПКП и при инициализации. Слово OCW1 представляет собой маску прерываний, и

записывается по нечетному адресу (рис.8.33). Единичное значение бита Mi блокирует прохождение запроса с соответствующего IRQ входа.

Слово OCW2 имеет более сложную структуру (рис.8.34), т.к. управляет завершением прерываний (EOI), сдвигом кольца приоритетов (R) и установкой специального уровня прерывания (SL, L2, L1, L0). Записывается по четному адресу (A0=0). Биты D4 и D3 обязательно должны иметь нулевое значение, это критерий распознавания БИС ПКП OCW2 или ICW1. Кольцо приоритетов показано на рис.8.35.

Рассмотрим основные комбинации бит OCW2 и их действие в ПКП. Значения будем записывать начиная со старшего, седьмого, бита.

Комбинация «00100000» применяется в случаях обычного завершения

запрос по линии IRQ5. Тогда после записи OCW2=A0h (AFh), пятый уровень имеет самый низкий приоритет, а кольцо приоритетов имеет вид: «54321076». Запрос IRQ6 будет иметь высокий приоритет.

Комбинация «11100L2L1L0» применяется для циклического сдвига уровней приоритетов со специальным завершением прерываний. Биты L2, L1, L0 определяют код дна приоритета. Например, пусть кольцо имеет вид «76543210» и был получен запрос по линии IRQ3, но код OCW2=11100101 (L=101b или 5D). Тогда ПКП переходит в исходное состояние и будет реагировать на поступающие прерывания, а кольцо приоритетов имеет значение «54321076».

Разрешение вращения уровней приоритетов разрешается комбинацией «10000L2L1L0». Команда устанавливает статус уровней без выполнения операции завершения прерываний, ПКП не в исходном состоянии.

Сброс разрешения вращения уровней приоритетов выполняется записью OCW2=«00000xxx».

Циклический сдвиг приоритетов без завершения прерывания соответствует OCW2= «11000L2L1L0». Последние три бита определяют код дна кольца.

ПКП допускает обработку прерываний по опросу, но применяется она крайне редко. В контроллер, по четному адресу, записывают слово OCW3 (рис.8.36). Критерий определения слова: бит 7 =0, бит 4 = 0, бит 3 = 1. Применяют следующие комбинации: установка режима опроса («000011xx»); разрешение чтения регистра обслуживания прерываний OCW1 («00001011»); разрешение чтения регистра запросов прерываний IRR («00001010»); разрешение триггера специального маскирования («01101000»); сброс триггера специального маскирования прерываний («01001000»). По нечетному адресу считывают байт со значениями прерываний IRR или OCW1. Регистр IRR : бит 7 показывает есть прерывание (1) или его нет (0), а младшие три бита (2,1,0) содержат код прерывания требующего обслуживания. Код соответствует номеру входа IRQ.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	SM	RM	0	1	POL	RD	RDEN

**Рис 8.36 Формат OCW3**

Схема программирования контроллера следующая:

- в главной программе

ICW1→ адр. (PIC)

ICW2→ адр. (PIC+1)

OCW1→ адр. (PIC+1)

OCW2→ адр. (PIC) - сбросить контроллер в исходное состояние.

- в подпрограмме обработки прерывания

DI

PUSH ... - сохранить все регистры

...  
( тело подпрограммы)

...  
POP ... - достать все регистры, кроме A, PSW.

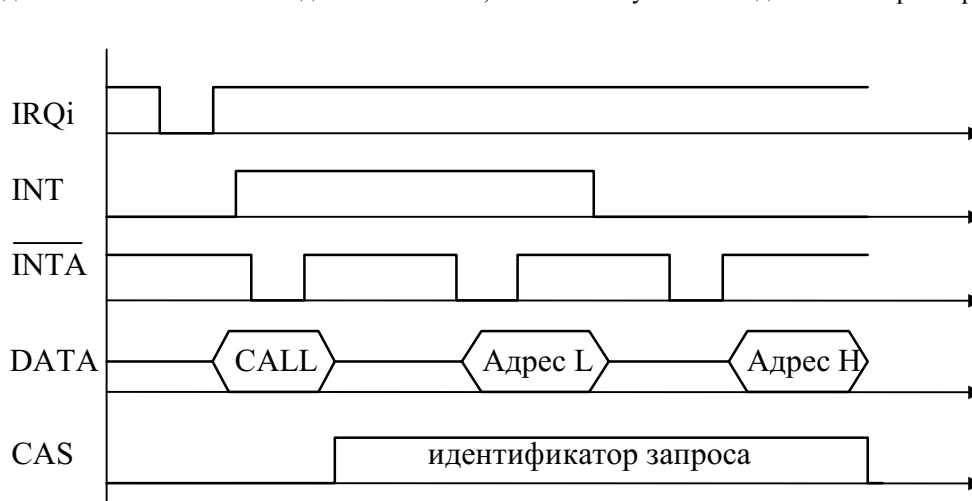
OCW2→ (PIC) - сбросить контроллер

POP PSW

EI

RET

Временная диаграмма работы ПКП в режиме запроса показана на рис.8.37. На вход контроллера IRQi поступает запрос от внешнего устройства или ведомого ПКП. Контроллер формирует запрос INT и передает микропроцессору. В ответ на сигнал подтверждения INTA, полученного от микропроцессора, ПКП по шине данных передает ему код команды CALL. Если есть каскадное включение, то ПКП получает от ведомого контроллера код, формирует адрес



входа в вектор прерывания и в ответ на два подтверждения INTA посылает сначала младший байт адреса, а затем старший. Таким образом, микропроцессор переходит к выполнению подпрограммы обработки прерывания.

Персональный компьютер типа АТ имеет два контроллера прерываний.

**Рис 8.37 Временная диаграммы работы ПКП**

Количество линий запросов – 16. В моделях XT используется один ПКП. Чтобы связать, обработчик прерываний с номерами прерываний, используется таблица векторов. Занимает первый килобайт ОЗУ от 0000:0000 до 0000:03FF, включает 256 элементов FAR – адресов обработчиков прерываний. В первом столбце элемента таблицы записано смещение, а во втором адрес сегмента обработки прерывания. Например, для прерывания 0 адрес 0000:0000, для прерывания 1 адрес 0000:0004 и т.д. Это все программные прерывания и среди них 16 аппаратных. В табл.8.2

приведена стандартная инициализация ПКП BIOS. Порядок расположения запросов приведен в соответствии с их приоритетами.

Табл 8.2

Имя	Вектор	Источник прерываний
NMI	02h	Контроль шины, четность данных (в XT сопроцессор)
IRQ0	08h	От таймера, частота 18.2 Гц
IRQ1	09h	От клавиатуры при нажатии и отжатию клавиш
IRQ2	0Ah	Для каскадирования ПКП IRQ8 – IRQ15 (в XT резерв)
IRQ8	70h	От часов реального времени, при совпадении часов и будильника
IRQ9	71h	Резерв или от контроллера EGA в XT
IRQ10	72h	Резерв
IRQ11	73h	Резерв
IRQ12	74h	Резерв или PS/2 - mouse
IRQ13	75h	От математического сопроцессора (ранние модели AT)
IRQ14	76h	От HDC - контроллера HDD в AT
IRQ15	77h	Резерв
IRQ3	0Bh	От порта последовательной связи COM2 или COM4
IRQ4	0Ch	От порта последовательной связи COM1 или COM3
IRQ5	0Dh	От HDC – контроллера в XT, LPT2 – AT, звуковая карта или резерв
IRQ6	0Eh	От FDC - контроллера FDD
IRQ7	0Fh	От принтера LPT1

Резервные запросы прерываний могут использоваться дополнительно подключаемыми к компьютеру устройствами, например сетевым адаптером (IRQ11), дополнительным IDE (IRQ15) и пр. Стандартная раскладка запросов может быть изменена пользователем.

Программирование контроллера производится по адресам: ведущий ПКП – 20h, 21h; ведомый ПКП – A0h, A1h. Управляющие слова записываются ICW1 в 20h (A0h), ICW2 – ICW4 в 21h (A1h).

Команды инициализации ICW1 и ICW2 в персональном компьютере имеют некоторые отличия от аналогичных управляющих слов ПКП KP580BH59 [11]. Эти отличия связаны с фиксированным шагом прерываний, уменьшением вычисляемых адресных разрядов (рис.8.38), появлением четвертого управляющего слова ICW4 и программным управлением чувствительностью входов IRQ. Бит S управляет количеством контроллеров. Но в AT – моделях применяется только каскадное включение. Старшие три бита не используются.



Рис.8.38 Формат ICW1 в персональном компьютере.

Командное слово ICW4 задает режим работы в AT – моделях, а XT – моделях это третий байт инициализации (рис.8.39)

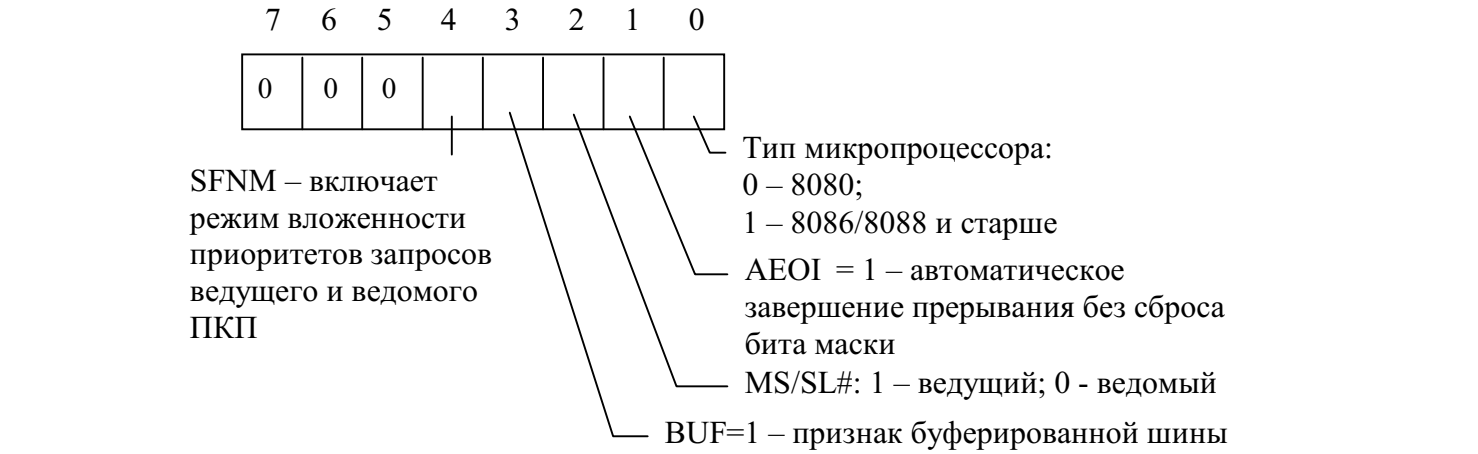


Рис 8.39 Формат ICW4 в персональном компьютере

В операционном режиме ПКП персонального компьютера воспринимает команды OCW1 – OCW3. Запись производится по адресам: OCW1 в 21h (A1h), OCW2 и OCW3 в 20h (A0h). Отличий от рис.8.33, рис.8.34 и рис.8.36 нет.

Стандартное программирование ПКП приведено в табл.8.3. Используется режим вложенных прерываний с фиксированным приоритетом и автоматическим неспециальным завершением прерываний. Каждая подпрограмма обработки завершается записью OCW2 = 20h.

**Табл 8.3**

Команда	ХТ	АТ (ведущий ПКП)	АТ (ведомый ПКП)
ICW1	12h	11h	11h
ICW2	08h	08h	70h
ICW3	---	04h	02h
ICW4	0Fh	1Fh	1Bh
OCW1	xxh	xxh	xxh
OCW2	20h	20h	20h
OCW3	0Ah	0Ah	0Ah

Диаграмма подтверждения INTA на запрос INT включает два цикла, но первый цикл не несет кода команды. Действителен только второй цикл. Передается 8 – битный вектор прерывания, т.е. номер по которому ссылка на процедуру обработки прерывания хранится в таблице прерываний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Klaus-Peter Scholz. Microelectronik und deren Bauelemente - Berlin: Verl. Technik, 1986. – 240 S.
- 2 Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Измерительная техника. М.: Высш. шк., 1991. 384 с.
- 3 Евтихий Н.Н., Купершмидт Я.А., Папуловский В.Ф. и др. Измерение электрических и неэлектрических величин. М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.
- 4 Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Высш. шк., 384 с.
- 5 Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4352. Паспорт. Житомир. 1984. 20 с.
- 6 Осциллограф двухлучевой универсальный С1-74. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ГВ2.044.077 ТО. 1984
- 7 Щелкунов Н.Н. Микропроцессорные средства и системы. М.: Радио и связь. 1989. 288 с.
- 8 Шагурин И.И., Бородин В.Б., Мозговой Г.П. и др. 80386: Описание и система команд. М.: «МАЛИП». 1991. 159 с.
- 9 «Pentium processor family». <http://www.intel.com>
- 10 Шахнов В.А. Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем. М.: Радио и связь. 1988. т.1. 368 с.
- 11 Фролов А.В., Фролов Г.В. Аппаратное обеспечение IBM PC. ч.1. М.: «ДИАЛОГ-МИФИ», 1992г. – 208с

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>2</b>
<b>1 ИМПУЛЬСЫ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ.....</b>	<b>3</b>
<b>ПАРАМЕТРЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ.....</b>	<b>4</b>

<b>ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ .....</b>	<b>4</b>
<b>3 МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.....</b>	<b>8</b>
<b>4 МУЛЬТИМЕТРЫ .....</b>	<b>10</b>
<b>5 ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ .....</b>	<b>18</b>
<b>6 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ .....</b>	<b>27</b>
<b>7 МИКРОПРОЦЕССОРЫ .....</b>	<b>33</b>
7.1 МИКРОПРОЦЕССОР i8080.....	33
7.2 МИКРОПРОЦЕССОР I80386 .....	38
7.3 МИКРОПРОЦЕССОР PENTIUM MMX.....	42
<b>8 КОМПОНЕНТЫ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>48</b>
8.1 БИС ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВВОДА-ВЫВОДА.....	48
8.2 БИС ТАЙМЕРА .....	51
8.3 БИС УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКА .....	54
8.4 ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР ПРЕРЫВАНИЙ .....	58

**ДЬЯКОВ Игорь Алексеевич**

# **СХЕМОТЕХНИКА**

Учебное пособие

Редактор Т. М. Гликина  
Инженер по компьютерному макетированию  
Г. Ю. Корабельникова

ЛР № 020851 от 13.01.99 Плр № 020079 от 28.04.97

Подписано к печати 14.06.2001  
Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Объем: 4,88 усл. печ. л.; 4,7 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 348.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14