

Электроника, электротехника, радиотехника
Лабораторная работа
“Цифровые устройства и микропроцессоры”

Выполнил
Ст. Сергеев И.А
2016
План

1. Что такое микропроцессор и их классификация
2. Внутренне устройство микропроцессора
3. Микропрограммирование процессора
4. Системная шина микропроцессора
5. Что такое цифровые устройства или цифровые микросхемы
6. Области применения цифровых микросхем
7. Особенности цифровых устройств
8. Виды цифровых микросхем

Литература

1. Что такое микропроцессор и их классификация

Вся схемотехника разделяется на две большие области: аналоговую и цифровую. Преимущества и недостатки этих технологий известны. Аналоговая схемотехника характеризуется максимальным быстродействием, малым потреблением энергии и малой стабильностью параметров. Цифровая схемотехника обладает прекрасной повторяемостью параметров. Это привело к её развитию в последние годы. В результате в ряде устройств потребление цифровых модулей оказалось сравнимым и даже меньше потребления аналоговых схем, реализующих те же функции. В курсах электронных приборов рассматривались основные технологии производства цифровых микросхем: ТТЛ, ЭСЛ и КМОП, поэтому здесь особенности этих технологий изготовления цифровых микросхем рассматриваться не будут.

микропроцессор цифровой микросхема шина

Рисунок 1. Классификация микропроцессоров

По мере развития цифровых микросхем их быстродействие достигло впечатляющих результатов. Наиболее быстрые из цифровых микросхем обладают скоростью переключения порядка 3..5 нс. (серия микросхем 74ALS), а внутри кристалла микросхемы, где нет больших ёмкостей нагрузки время переключения измеряется пикосекундами. Таким быстродействием обладают программируемые логические схемы и заказные БИС. В этих микросхемах алгоритм решаемой задачи заключён в их

принципиальной схеме.

Часто для решаемой задачи не требуется такого быстродействия, каким обладают современные цифровые микросхемы. Однако за быстродействие приходится платить:

1. Быстродействующие микросхемы потребляют значительный ток.
2. Для решения задачи приходится использовать много микросхем, это выливается в стоимость и габариты устройства.

Первую задачу решает применение технологии КМОП цифровых микросхем (например микросхемы серий 1564, 74НС, 74АНС). Потребляемый ими ток зависит от скорости переключения логических вентилях. Именно поэтому в настоящее время подавляющее большинство микросхем выпускается именно по этой технологии. Вторую задачу решают несколькими способами. Для жёсткой логики это разработка специализированных БИС. Использование специализированных БИС позволяет уменьшить габариты устройства, но стоимость его снижается только при крупносерийном производстве. Для среднего и малого объёмов производства такое решение неприемлемо.

Ещё одним решением уменьшения габаритов и стоимости устройства является применение программируемых логических схем (ПЛИС). Это направление активно развивается в настоящее время, но оно рассматривалось при изучении цифровых устройств.

Третий способ решения поставленной задачи заключается в том, что можно заставить одно очень быстродействующее устройство последовательно решать различные задачи, изменяя свою структуру во времени. Это микропроцессоры. В микропроцессорах возможен обмен предельного быстродействия на сложность реализуемого устройства. Именно по этой причине стараются максимально увеличить быстродействие микропроцессоров - это позволяет реализовывать все более сложные устройства в одном и том же объеме. Более того! В одном процессоре можно реализовать несколько устройств одновременно! Именно это решение задачи и рассматривается в данном учебном курсе.

В современном мире трудно найти область техники, где не применялись бы микропроцессоры. Они применяются при вычислениях, они выполняют функции управления, они используются при обработке звука и изображения. В зависимости от области применения микропроцессора меняются требования к нему. Это накладывает отпечаток на внутреннюю структуру микропроцессора. В настоящее время определилось три направления развития микропроцессоров:

- универсальные микропроцессоры
- микроконтроллеры
- сигнальные микропроцессоры

Универсальные микропроцессоры используются для построения вычислительных машин. В них используются самые передовые решения по повышению быстродействия, не обращая особого внимания на габариты, стоимость и потребляемую энергию. В технике связи компьютеры используются для управления системами связи или устройствами связи, обладающими большими габаритами и

стоимостью. Такие компьютеры называются контроллерами.

Микроконтроллеры используются для управления малогабаритными и дешёвыми устройствами связи они раньше назывались однокристальными микроЭВМ. В микроконтроллерах, в отличие от универсальных микропроцессоров, максимальное внимание уделяется именно габаритам, стоимости и потребляемой энергии.

Сигнальные процессоры используются для решения задач, которые традиционно решала аналоговая схемотехника. К сигнальным процессорам предъявляются специфические требования. От них требуются максимальное быстродействие, малые габариты, легкая стыковка с аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, большая разрядность обрабатываемых данных и небольшой набор математических операций, обязательно включающий операцию умножения-накопления и аппаратную организацию циклов. В этих процессорах тоже важны такие параметры как стоимость габариты и потребляемая мощность, но здесь приходится мириться с большими значениями этих характеристик по сравнению с микроконтроллерами.

2. Внутренне устройство микропроцессора

Основным узлом операционного блока микропроцессора является арифметико-логическое устройство, внутреннее устройство которого мы рассмотрели в предыдущей главе. У этого узла присутствуют два входа и один выход данных. В результате логичным образом получается структурная схема операционного блока, являющегося основой внутреннего устройства микропроцессора. Трехшинная структура операционного блока микропроцессора приведена на рисунке 1.

На этом рисунке источники информации и результат выполнения операции хранятся в специальном сверхоперативном ОЗУ, которое представляет собой небольшое количество регистров с возможностью одновременного считывания из двух регистров и записи в третий. Так как для передачи данных требуется три шины данных, то такая структура операционного блока микропроцессора называется трехшинной.

Обратите внимание, что теперь в составе нашего вычислительного цифрового устройства присутствуют регистры, и, следовательно, для запоминания результатов работы арифметико-логического устройства на вход синхронизации этих регистров необходимо подавать сигнал синхронизации CLK. Сигнал тактовой синхронизации обязательно требуется для правильной работы любого операционного блока микропроцессора.

Тактовые сигналы на операционный блок микропроцессора поступают с выхода тактового генератора, причем, максимально возможная частота этого генератора, а, следовательно, и время выполнения микропроцессором одной операции будет определяться временем прохождения цифровых сигналов через арифметико-логическое устройство и регистры сверхоперативного запоминающего устройства. Очень часто быстродействие микропроцессоров оценивают именно по значению максимально возможной частоты тактового генератора.

Обычно при построении операционного блока микропроцессора один из регистров-

источников и регистр-приемник информации объединяют. Это позволяет сократить количество адресных шин в управляющем коде микропроцессора и тем самым упростить внутреннее устройство микропроцессора. В результате описанного принципа минимальное количество регистров в сверхоперативном ОЗУ может составлять всего два регистра, однако количество регистров в операционном блоке обычно делается равным шестнадцати. Этого количества регистров в составе внутреннего устройства микропроцессора вполне достаточно для реализации достаточно сложных алгоритмов обработки данных и в то же время не приводит к необходимости значительного увеличения адресной части управляющей микрокоманды.

В микропроцессоре, построенном с применением трехшинного операционного блока возможно выполнение арифметических и логических операций в течение одного такта сигнала синхронизации. Это позволяет достигнуть его максимального быстродействия. Именно поэтому подобная структура операционного блока широко используется в сигнальных процессорах (DSP). Внутреннее устройство сигнальных микропроцессоров обычно реализуется на базе трехшинного операционного блока. Для обеспечения возможности работы с числами, число разрядов в которых превышает разрядность АЛУ, в состав операционного блока включен дополнительный триггер, в котором хранится флаг переноса в следующий разряд "С". При этом для того, чтобы операционный блок мог выполнять команды суммирования или вычитания с одиночной разрядностью чисел, к входу переноса АЛУ можно подключать не только выход триггера хранения флага переноса С, но и подавать уровень логического нуля или единицы.

В качестве недостатка устройства микропроцессора, реализованного на базе трехшинной структуры операционного блока следует назвать то, что шины передачи данных занимают огромную площадь на кристалле микросхемы, поэтому в более дешевых микропроцессорах используется другая структура операционного блока. Структурная схема подобного операционного блока микропроцессора приведена на рисунке 2.

На данном рисунке, отражающем внутреннее устройство микропроцессора, сигнал синхронизации не показан, однако этот сигнал подводится ко всем регистрам и триггеру хранения признака переноса С. В этой структуре операционного блока микропроцессора используется только две шины передачи данных, поэтому она получила название двухшинной. Для формирования двух источников данных для входов АЛУ в двухшинной схеме операционного блока микропроцессора используются два регистра временного хранения TMP1 и TMP2. Как видите, в этом случае внутреннее устройство микропроцессора получилось значительно проще. В результате того, что входные данные к арифметико-логическому устройству передаются по одной шине данных, получается, что для выполнения одной операции требуется, как минимум, два такта сигнала синхронизации CLK. Это приводит к тому, что быстродействие микропроцессора, устроенного подобным образом, при той же частоте тактовой синхронизации будет ниже быстродействия микропроцессора, построенного на базе трехшинной структуры операционного блока.

Наименьшую площадь на кристалле занимает одношинная структура операционного блока микропроцессора. Устройство микропроцессора при этом получается самым простым. Структурная схема подобного операционного блока микропроцессора приведена на рисунке 3.

Теперь давайте рассмотрим подробнее особенности работы процессора, устроенного на основе подобного операционного блока. Прежде чем рассматривать внутреннее устройство микропроцессора, определим, какие же задачи он должен решать. Как уже упоминалось ранее, операционный блок микропроцессора предназначен для считывания команд из системной памяти процессора и последующего их выполнения. При этом не важно будет ли программа размещена в постоянном (ПЗУ) или оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ). Именно поэтому прежде чем перейти к реализации операционного блока микропроцессора рассмотрим особенности команд, управляющих работой микропроцессора.

Наиболее простой структурой, как это тоже уже упоминалось ранее, обладают команды аккумуляторного микропроцессора. Давайте остановимся подробнее на принципах построения системы команд подобного микропроцессора.

3. Микропрограммирование процессора

Все действия микропроцессора и сигналы на его выводах определяются последовательностью микрокоманд, подаваемых на управляющие входы блока обработки. Эта последовательность микрокоманд называется микропрограммой. При изучении принципов работы ОЗУ и ПЗУ приводились временные диаграммы, которые необходимо сформировать, для того, чтобы записать или прочитать необходимую информацию. Выберем одну из этих диаграмм:

Рисунок 1. Временные диаграммы считывания команды

Любую временную диаграмму формирует микропроцессор. Устройство микросхемы, на примере которой мы будем формировать необходимые для работы сигналы рассматривалось при обсуждении блока обработки сигналов. По принципиальной схеме блока обработки сигнала можно определить формат микрокоманды, управляющей этим блоком.

Работа любого цифрового устройства начинается с заранее заданных начальных условий. Эти начальные условия формируются специальным сигналом RESET (сброс), который формируется после подачи питания на схему. Договоримся, что сигнал сброса микропроцессора будет записывать в регистр программного счетчика РС нулевое значение. (Это условие справедливо не для всех процессоров. Например, IBM совместимые процессоры при сбросе микросхемы записывают в программный счётчик значение F0000h.)

Выполнение любой команды начинается с её считывания из системной памяти (ОЗУ или ПЗУ). Необходимые для этого микрокоманды подаются на входы управления БОС из блока микропрограммного управления БМУ, как только снимается сигнал сброса со счётчика микрокоманд БМУ. При считывании однобайтной команды достаточно считать из системной памяти только код операции и выполнить эту операцию. Временная диаграмма этого процесса приведена на рисунке 2.

Последовательность операций, которые необходимо выполнить микропрограмме, показана стрелочками. Для считывания следующей команды микропрограмма запускается заново.

Рисунок 2. Временные диаграммы сигналов считывания команд из ОЗУ.

Для того, чтобы считать код операции из системной памяти, необходимо выставить на шине адреса адрес этой команды. Этот адрес хранится в счетчике команд РС.

Скопируем его в регистр адреса RA, выходы которого подключены к шине адреса:

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник A

источник B

команда

приёмник

1)

PCH -> RAH

1111 1111

1111

1010

0011 0 0

1100

2)

PCL -> RAL

1111 1111

1111

1011

0011 0 0

1101

Затем сформируем сигнал считывания. Для этого в регистр управления запишем константу 1111 1101.

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник А

источник В

команда

приёмник

3)

const -> CR

1111 1101

1111

1111

0011 0 0

1110

Теперь можно считать число с шины данных, а так как системная память в этот момент выдаёт на нее код операции, то мы считаем именно этот код. Запишем его в регистр команд и снимем сигнал чтения с системной шины. Для этого в регистр управления запишем константу 1111 1111.

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник А

источник В

команда

приёмник

4)

data -> RI

1111 1111

1100

1111

1100 0 0

1001

5)

const -> CR

1111 1111

1111

1111

0011 0 0

1110

Прежде, чем перейти к дальнейшему выполнению микропрограммы, увеличим содержимое счетчика команд на 1.

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник А

источник В

команда

приёмник

6)

PCL+1 -> PCL

1111 1111

1011

1111

1100 1 0

1011

7)

$PCH+C \rightarrow PCH$

1111 1111

1010

1111

1100 1 0

1010

После считывания команды её необходимо декодировать. Это можно выполнить микропрограммным способом проверяя каждый бит регистра команд и осуществляя ветвление по результату проверки или включить в состав блока микропрограммного управления аппаратный дешифратор команд, который сможет осуществить ветвление микропрограммы на 256 ветвей за один такт синхронизации микропроцессора. Выберем именно этот путь. Восьмым тактом микропрограмма направляется на одну из 256 ветвей, отвечающую за выполнение считанной инструкции. Например, если была считана команда MOV A, R0, то следующая микрокоманда будет выглядеть следующим образом:

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник А

источник В

команда

приёмник

9)

R0 -> ACC

1111 1111

0000

1111

1100 0 0

1000

И так как в этом случае команда полностью выполнена, то счётчик микрокоманд сбрасывается для выполнения следующей команды.

Рассмотрим ещё один пример. Пусть из системной памяти считывается команда безусловного перехода JMP 1234. Первые восемь микрокоманд совпадают для всех команд микропроцессора. Различие наступает начиная с девятой команды, которая зависит от конкретной инструкции. При выполнении команды безусловного перехода необходимо считать адрес новой команды, который записан в байтах, следующих за кодом операции. Этот процесс аналогичен считыванию кода операции:

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник A

источник B

команда

приёмник

9)

PCH -> RAH

1111 1111

1111

1010

0011 0 0

1100

10)

PCL -> RAL

1111 1111

1111

1011

0011 0 0

1101

11)

const -> CR

1111 1110

1111

1111

0011 0 0

1110

12)

data -> RI

1111 1111

1100

1111

1100 0 0

1001

13)

const -> CR

1111 1111

1111

1111

0011 0 0

1110

14)

PCL+1 -> PCL

1111 1111

1011

1111

1100 1 0

1011

15)

PCH+C -> PCH

1111 1111

1010

1111

1100 1 0

1010

Теперь считаем второй байт адреса перехода.

Поля микрокоманды БОС

N

Описание

константа

источник A

источник B

команда

приёмник

16)

PCH -> RAH

1111 1111

1111

1010

0011 0 0

1100

17)

PCL -> RAL

1111 1111

1111

1011

0011 0 0

1101

18)

const -> CR

1111 1110

1111

1111

0011 0 0

1110

19)

data -> PCH

1111 1111

1100

1111

1100 0 0

1110

20)

const -> CR

1111 1111

1111

1111

0011 0 0

1110

21)

RI -> PCL

1111 1111

1001

1111

1100 1 0

В результате выполнения этой микропрограммы в программный счётчик будет загружен адрес, записанный во втором и третьем байтах команды безусловного перехода JMP 1234. Временная диаграмма, формируемая рассмотренной микропрограммой, приведена на рисунке 3.

Рисунок 3. Временная диаграмма выполнения команды JMP 1234.

4. Системная шина микропроцессора

Системная шина процессора предназначена для обмена информацией микропроцессора с любыми внутренними устройствами микропроцессорной системы (контроллера или компьютера). В качестве обязательных устройств, которые входят в состав любой микропроцессорной системы, можно назвать ОЗУ, ПЗУ, таймер и порты ввода-вывода. Структурная схема простейшего микропроцессорного устройства приведена на рисунке 1.

В состав системной шины в зависимости от типа процессора входит одна или несколько шин адреса, одна или несколько шин данных и шина управления. Несколько шин данных и адреса применяется для увеличения производительности процессора и используется только в сигнальных процессорах. В универсальных процессорах и контроллерах обычно применяется одна шина адреса и одна шина данных.

В понятие шины вкладывают разное значение при рассмотрении различных вопросов. В простейшем случае под понятием шина подразумевают параллельно проложенные провода, по которым передаётся двоичная информация. При этом по каждому проводу передаётся отдельный двоичный разряд. Информация может передаваться в одном направлении, как, например, для шины адреса или шины управления, или в различных направлениях (для шины данных). По шине данных информация передаётся либо к процессору, либо от процессора в зависимости от операции записи или чтения, которую в данный момент осуществляет процессор. В любом случае все сигналы, необходимые для работы системной шины формируются микросхемой процессора как это рассматривалось при изучении операционного блока. Иногда для увеличения скорости обработки информации функции управления системной шиной берёт на себя отдельная микросхема (например контроллер прямого доступа к памяти или сопроцессор). Арбитраж доступа к системной шине при этом осуществляет контроллер системной шины (в простейшем случае достаточно сигнала занятости шины).

В некоторых случаях в понятие шина дополнительно включают требования по

уровням напряжения, которыми представляются нули и единицы, передаваемые по её проводам. В состав требований могут быть включены длительности фронтов передаваемых сигналов, типы используемых разъёмов и их распайка, последовательность передаваемых сигналов и скорость их передачи.

Рисунок 1. Структурная схема подключения микропроцессорных устройств к системной шине

При подключении различных устройств к системной шине возникает вопрос -- как различать эти устройства между собой? Единственный способ сделать это использовать индивидуальный адрес для каждого устройства, подключенного к системной шине микропроцессора. Так как адресация производится к каждой ячейке устройства индивидуально, то возникает понятие адресного пространства, занимаемого каждым устройством и адресного пространства микропроцессорного устройства в целом

5. Что такое цифровые устройства или цифровые микросхемы

Вся современная схемотехника разделяется на две большие области: аналоговую и цифровую. Аналоговая схемотехника характеризуется максимальным быстродействием, малым потреблением энергии и малой стабильностью параметров. Цифровая схемотехника обладает прекрасной повторяемостью параметров. Это привело к её развитию в последние годы. В результате в ряде устройств потребление цифровых микросхем оказалось сравнимым и даже меньше потребления аналоговых схем, реализующих те же функции. Основные направления развития цифровых микросхем в настоящее время приведены на рисунке 1.

Рисунок 1. Классификация видов цифровых микросхем

Для того, чтобы лучше понимать особенности работы цифровых микросхем в данном курсе мы кратко повторим особенности основных технологий производства цифровых микросхем, применяемых в настоящее время: ТТЛ, и КМОП, По мере развития цифровых микросхем их быстродействие достигло впечатляющих результатов. Наиболее быстрые из цифровых микросхем обладают скоростью переключения порядка 3..5 нс. (серия микросхем 74ALS), а внутри кристалла микросхемы, где нет больших ёмкостей нагрузки время переключения измеряется пикосекундами. Таким быстродействием обладают программируемые логические схемы и заказные БИС. В этих микросхемах алгоритм решаемой задачи заключён в их принципиальной схеме.

Часто для решаемой задачи не требуется такого быстродействия, каким обладают современные цифровые микросхемы. Однако за быстродействие приходится платить:

1. Быстродействующие микросхемы потребляют значительный ток.
2. Для решения задачи приходится использовать много микросхем, это выливается в стоимость и габариты устройства.

Первую задачу решает применение технологии КМОП цифровых микросхем (например микросхемы серий 1564, 74НС, 74АНС). Потребляемый ими ток зависит от скорости переключения логических вентилях. Именно поэтому в настоящее время

подавляющее большинство микросхем выпускается именно по этой технологии. Вторую задачу решают несколькими способами. Для жёсткой логики это разработка специализированных БИС (ASIC). Использование специализированных БИС позволяет уменьшить габариты устройства, но стоимость его снижается только при крупносерийном производстве. В качестве примера можно назвать микросхемы, выпускаемые для сотовых телефонов, стиральных машин, телевизоров и т.п. Для среднего и малого объёмов производства такое решение неприемлемо.

Ещё одним решением уменьшения габаритов и стоимости устройства является применение программируемых логических схем (ПЛИС). Это направление активно развивается в настоящее время. На рисунке 1 приведены основные направления развития ПЛИС. Это следующие виды цифровых микросхем:

1. программируемые логические матрицы (ПЛМ);
2. программируемые логические устройства, ПЛУ (PLD);
3. сложные программируемые логические устройства (CPLD);
4. постоянные запоминающие устройства (ПЗУ);
5. программируемые пользователем вентильные матрицы (FPGA);

В цикле лабораторных работ по курсу цифровые устройства мы изучаем цифровые микросхемы на стенде, реализованном на FPGA микросхеме.

6. Области применения цифровых микросхем

Цифровые микросхемы первоначально разрабатывались для построения электронно-вычислительных машин, получивших в дальнейшем название компьютеры. То есть первое их предназначение было заменить человека при выполнении рутинной работы. Сейчас, наверное, никто и не вспомнит, что слово калькулятор ещё каких-нибудь шестьдесят лет назад обозначало не маленький карманный прибор, а профессию большого числа людей, которые занимались расчётами по конкретным математическим формулам.

Однако вскоре после начала массового производства цифровых микросхем выяснилось, что они оказались очень удобны для управления какими либо объектами. При этом управляемая схема может обычно находиться в двух состояниях. Например: схема может быть либо включена, либо выключена, светодиод может либо гореть, либо не гореть, соединение в телефонной станции может быть или не быть, радиостанция может находиться в режиме передачи или в режиме приёма. В результате цифровые микросхемы практически полностью вытеснили применявшиеся ещё с девятнадцатого века для управления приборами электромагнитные реле и перфокарты.

При выполнении задачи управления для описания состояния объекта достаточно двух значений: напряжение высокое или низкое (положительное или отрицательное) ток протекает или не протекает. Это позволило избавиться от многих неприятных моментов аналоговых схем. Например, ошибка при прохождении через схему не увеличивается (в отличие от шумов), а в ряде случаев даже может быть скомпенсирована. Сами цифровые схемы при правильном использовании не вносят ошибок. Эти свойства цифровых микросхем привели к бурному развитию цифровой техники.

Приведённые преимущества привели к тому, что в дальнейшем цифровая техника стала использоваться и для решения других задач. Например для формирования высокостабильных колебаний для радиотехнических изделий или для использования в качестве эталонных интервалов времени в часах. Здесь тоже нет необходимости формировать различные уровни напряжения генерируемого сигнала. Достаточно только, чтобы частота генерируемого колебания была стабильной. Затем стали разрабатываться методы и теория применения цифровых микросхем для формирования аналоговых сигналов. И здесь тоже основным фактором была возможность заранее прогнозировать уровень шумов. При этом уровень шума зависит только от сложности схемы, и не зависит (ну, или почти не зависит) от количества схем, через которые проходит сигнал. Это приводит к возможности передавать сигнал на любое расстояние (или производить любое количество копий сигнала).

7. Особенности цифровых устройств

Изучение цифровой техники начнем с самых элементарных вопросов: из каких элементов строятся цифровые схемы и как они устроены? Затем научимся реализовывать на основе этих простейших элементов цифровые устройства любой сложности. Для этого нам потребуется изучить основы алгебры логики и методы запоминания цифровых сигналов. Мы научимся отображать цифровую информацию и вводить ее в цифровые микросхемы.

Прежде всего отметим, что уровни логических сигналов не уменьшаются при распространении по цифровой схеме. Это означает, что цифровые микросхемы принципиально должны обладать усилением.

В то же самое время логические уровни на выходе цифрового устройства точно такие же как и на входе, то есть они не возрастают при прохождении через логический элемент. Это обеспечивается тем, что на выходе цифровой микросхемы происходит ограничение сигнала.

То есть цифровые микросхемы работают в ключевом режиме: транзистор может быть только открыт или закрыт. В результате на идеальном транзисторе рассеивания энергии не происходит и это означает, что в цифровых микросхемах можно достичь к.п.д. близкого к 100%.

8. Виды цифровых микросхем

В настоящее время используется несколько видов логических элементов:

- диодно-транзисторная логика (ДТЛ)
- транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ, TTL)
- логика на основе комплементарных МОП транзисторов (КМОП, CMOS)
- логика на основе сочетания комплементарных МОП и биполярных транзисторов (BiCMOS)

Первоначально получили распространение цифровые микросхемы, построенные на основе ТТЛ технологии. Поэтому до сих пор существует огромное количество микросхем, построенных по этой технологии или совместимые с этими

микросхемами по напряжению питания, логическим уровням и цоколёвке.

Литература:

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/RISC>

2. С.А. Майоров В.В. Кириллов А.А. Приблуда "Введение в микро ЭВМ" Мир 1988...