

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

Д. А. Рождественский

**Микропроцессорные
устройства в
системах
управления**

Учебное пособие

Томск – 2006

Рецензенты:

Профессор Томс. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники,
гл. специалист ЗАО «Элеси» **А. Г. Гарганеев**;

Рождественский Д.А.

Микропроцессорные устройства в системах управления : учеб.
метод. пособие / Д. А. Рождественский. – Томск : Томск. гос. ун-т систем
упр. и радиоэлектроники, 2006. – 174 с.

© Рождественский Д. А., 2006
© Том. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2006

Содержание

1	Введение в микропроцессорную технику.....	7
1.1	Основные понятия цифровой техники.....	7
1.1.1	Назначение и области применения микропроцессорных устройств	7
1.1.2	Представление информации в микропроцессорных системах.....	8
1.1.3	Использование аналоговых и дискретных сигналов	9
1.1.4	Последовательный и параллельный способ представления информации	9
1.2	Микропроцессор	10
1.2.1	Основные характеристики микропроцессора	12
1.2.2	Архитектуры микропроцессора — RISC и CISC.....	13
1.2.3	Сравнение архитектур	15
1.3	Память в микропроцессорных устройствах	16
1.3.1	Основные характеристики полупроводниковой памяти.....	17
1.3.2	Типы микросхем постоянных запоминающих устройств (ПЗУ) 18	
1.3.3	Типы микросхем ОЗУ	19
1.3.4	Буферная память.....	20
1.3.5	Стековая память	21
1.4	Периферийные устройства в микропроцессорных устройствах.....	22
1.4.1	АЦП и ЦАП.....	23
1.4.2	Интерфейсы	30
2	Микроконтроллеры и микропроцессоры.....	36
2.1	Структура 8-битного микроконтроллера.....	36
2.1.1	Вычислительный блок	37
2.1.2	Память программ.....	39
2.1.3	Память данных.....	39

2.1.4	Тактовый генератор	40
2.1.5	Сторожевой таймер	42
2.1.6	Порты ввода/вывода	43
2.1.7	Контроллер прерываний и внешние прерывания	43
2.1.8	Таймеры/счетчики	44
2.1.9	Аналоговый компаратор	47
2.1.10	Аналого-цифровой преобразователь	47
2.1.11	Интерфейсы в МК	48
2.1.12	Режимы пониженного энергопотребления МК AVR	52
3	Классификация современных микроконтроллеров	55
3.1	Четырехразрядные микроконтроллеры	56
3.2	Восьмиразрядные микроконтроллеры	56
3.3	16- и 32- разрядные микроконтроллеры	58
3.4	Цифровой процессор обработки сигналов (ЦПОС)	61
3.4.1	Состав ЦПОС	61
3.4.2	Рынок ЦПОС микросхем	63
3.5	Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС)	64
3.6	Микропроцессорные модули или «системы на кристалле»	67
3.7	Состав обеспечения для разработки и отладки программ для МК ..	72
3.7.1	Программное обеспечение	72
3.8	Инструментальные средства разработки и отладки для микроконтроллеров	75
3.8.1	Внутрисхемные эмуляторы	76
3.8.2	Симуляторы	78
3.8.3	Отладочные мониторы	79
3.8.4	Платы развития	79
3.9	Выбор микроконтроллера	80
4	Стандартные промышленные интерфейсы	82
4.1	Проводные последовательные интерфейсы	82

4.1.1	MicroLAN	82
4.1.2	Интерфейс RS-232	90
4.1.3	Шина I2C	91
4.1.4	Интерфейс RS-485	94
4.1.5	USB	98
4.1.6	Интерфейс IEEE-1394 (FireWire)	101
4.1.7	ВОЛС	103
4.1.8	Модемы	106
4.1.9	HART	108
4.1.10	DTMF	109
4.1.11	Передача данных по электропроводке — X10	110
4.2	Беспроводные сети	117
4.2.1	Радиомодемы на 434МГц	117
4.2.2	GSM/GPRS (900МГц, 1800МГц)	121
4.2.3	Bluetooth (2,4ГГц)	124
4.2.4	IrDA	130
4.2.5	GPS	134
4.3	Промышленные протоколы	138
4.3.1	Bitbus	138
4.3.2	Открытый промышленный протокол Modbus	143
4.3.3	Протокол Profibus	144
5	Методические указания по выполнению индивидуальных заданий	152
5.1	Индивидуальное задание №1 «Самостоятельное освоение узкоспециализированной темы»	152
5.1.1	Требования по выполнению задания	152
5.1.2	Варианты заданий	153
5.2	Индивидуальное задание №2 «Разработка алгоритма и реализация на МК программы выполнения конкретной задачи»	155
5.2.1	Требования по выполнению задания	155

5.2.2	Варианты заданий	156
6	Методические указания к курсовому проекту	158
6.1	Цели и задачи курсового	158
6.2	Уточнение требований к этапам выполнения курсового.....	159
6.2.1	Требования по выполнению этапа «Выбор и анализ задания» 159	
6.2.2	Требования по выполнению этапа «Разработка схемы внешних соединений»	161
6.2.3	Требования по выполнению этапа «Создание алгоритма работы устройства и оформление технического задания».....	163
6.2.4	Требования по выполнению этапа «Разработка внутренней структурной схемы устройства»	164
6.2.5	Требования по выполнению этапа «Создание принципиальной схемы и спецификации элементов»	165
6.2.6	Требования по выполнению этапа «Разработка алгоритма управляющего микроконтроллера»	166
6.2.7	Требования по выполнению этапа «Разработка пользовательской документации к прибору и созданным программам».....	166
6.2.8	Требования по выполнению этапа «Защита курсового проекта»	167
6.3	Варианты заданий на курсовое проектирование	167
	Список литературы	173

1 Введение в микропроцессорную технику

1.1 Основные понятия цифровой техники

1.1.1 Назначение и области применения микропроцессорных устройств

Замечательным свойством микропроцессорных систем является их высокая гибкость, возможность быстрой перенастройки при необходимости даже значительных изменений алгоритмов управления. Перенастройка осуществляется программным путем без существенных производственных затрат. Создание микропроцессоров позволяет уменьшить стоимость и размеры технических средств обработки информации, увеличить их быстродействие, снизить энергопотребление.

Характерные особенности микропроцессорных информационно-управляющих систем, предназначенных для автоматизации технологических процессов:

- наличие ограниченного набора четко сформулированных задач;
- требования оптимизации структуры системы для конкретного применения;
- работа в реальном масштабе времени, т.е. обеспечение минимального времени реакции на изменение внешних условий;
- наличие развитой системы внешних устройств, их большое разнообразие;
- существенное различие функциональных задач;
- высокие требования по надежности с учетом большой продолжительности непрерывной работы;
- сложные условия эксплуатации;
- обеспечение автоматического режима работы или режима с участием оператора как элемента системы.

1.1.2 Представление информации в микропроцессорных системах

Любой процесс функционирования технического объекта или системы связан с передачей, приемом и переработкой информации.

Информация — совокупность фактов, явлений, событий, представляющих интерес, подлежащих регистрации и обработке. В термине «информация» всегда существуют два партнера: источник и потребитель информации.

Информация, представленная в виде, удобном для обработки, называется данными. Определенная структура информационного объекта, подвергаемого обработке, именуется форматом.

Информация, вложенная и зафиксированная в некоторой материальной форме, называется **сообщением**. Сообщения делятся на:

- непрерывные (аналоговые);
- дискретные (цифровые).

Непрерывные сообщения могут принимать любые значения и изменяться в произвольные моменты времени. Данные сообщения естественным образом передают речь, музыку и изображения

Основным примером непрерывного сообщения является аналоговый сигнал, это сигнал, величина которого непрерывно изменяется во времени. Аналоговый сигнал обеспечивает передачу данных путем непрерывного изменения во времени амплитуды, частоты либо фазы. В соответствии с этим, он имеет бесконечное число значений. К аналоговым относятся и шумоподобные сигналы.

Под **дискретными** сообщениями понимаются сообщения, параметры которых могут принимать лишь некоторое конечное число значений в определенном диапазоне.

Основным примером дискретного сообщения является логический (цифровой) сигнал(1/0) или (+/-). Процесс изменения напряжения от низко-

го уровня (-) к высокому (+), называется фронтом сигнала (положительным перепадом, положительным фронтом), а обратный процесс — спадом (отрицательным перепадом, отрицательным фронтом).

1.1.3 Использование аналоговых и дискретных сигналов

Для обработки аналоговых сигналов необходимо с требуемой степенью точности заменять непрерывные сообщения на цифровые путем квантования непрерывного сообщения по уровню и времени.

Другими словами необходимо определить для них максимальные границы по уровню(по величине) сигнала. Затем в этих границах необходимо провести их дискретизацию, то есть разбить на строки и принять, что значение сигнала в строке постоянно. Иначе возникает вопрос, что принимать за изменение сигнала, когда он имеет бесконечное число значений? Разбив на строки по уровням, мы имеем минимальное изменение сигнала между двух соседних строк(наименьшее изменение аналогового сигнала), которое называется разрешением.

1.1.4 Последовательный и параллельный способ представления информации

Цифровая информация может быть представлена последовательным и параллельными кодами.

При **последовательном** коде каждый временной такт предназначен для отображения одного разряда кода слова.

Такт (clock tick) — промежуток времени, между последовательными сигналами синхронизации.

Величина такта выбирается такой, чтобы во время его прохождения в рассматриваемом объекте заканчивались все переходные процессы, вызванные изменением входных сигналов.

При **параллельном** коде все разряды кода слова представляются в одном временном такте, фиксируются отдельными элементами и проходят

через отдельные линии, каждая из которых служит для представления и передачи только одного разряда.

При параллельной передаче информации код слова развертывается в пространстве, в отличие от последовательной, в которой развертывается во времени.

1.2 Микропроцессор

Микропроцессор (МП) — это программно-управляемое электронное цифровое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации — ее перемещения, осуществления арифметических и логических операций по командам, которые он считывает из памяти.

Последовательность команд называется *программой*.

В 1970 году Маршиан Эдвард Хофф из фирмы Intel сконструировал интегральную схему, аналогичную по своим функциям центральному процессору большой ЭВМ — *первый микропроцессор* Intel-4004, который уже в 1971 году был выпущен в продажу.

Микропроцессор включает в себя:

- арифметическо-логическое устройство (АЛУ), которое служит для осуществления собственно арифметических и логических операций: **арифметической** операцией называют процедуру обработки данных, аргументы и результат которой являются числами (сложение, вычитание, умножение, деление и т.д.). **Логической** операцией именуют процедуру, осуществляющую построение сложного высказывания (операции И, ИЛИ, НЕ и т.д.).

- регистры общего назначения (РОН), которые используются для хранения информации — сверхоперативного запоминающего устройства; Регистры предназначены для хранения операндов в процессе выполнения операций и функциональных схем, необходимых для выполнения преобра-

зования операндов при передаче их с одного регистра на другой. Количество и назначение РОН в МП зависят от его архитектуры.

- аккумулятор — регистр, из которого берется одно из чисел, с которыми производятся арифметические или логические операции. В него помещается результат;

- счетчик адреса команд, в котором хранится адрес ячейки памяти, в которой записан код текущей команды;

- регистр флагов или условий — в него помещаются сведения об особенностях результата выполнения арифметических или логических операций, например, нулевой результат, переполнение (перенос), четность и пр.;

- регистр адреса стека, в котором записан адрес последний занятой под стек ячейки памяти;

- блок управления шинами микропроцессорной системы, схемы формирующей сигналы на внешних шинах микропроцессора и, тем самым, управляющей микропроцессорной системой;

- блок дешифрирования кодов команд.

- Таймер — счетчик — предназначен для подсчета внутренних событий, для получения программно-управляемых временных задержек и для выполнения времязадающих функций МП.

- ОЗУ — служит для приема, хранения и выдачи информации, используемой в процессе выполнения программы.

- ПЗУ — служит для выдачи констант, необходимых при обработке данных в АЛУ.

- КЭШ память — хранит внутри МП копии тех команд операндов и данных, к которым производились последние обращения МП. Если МП необходимо считать данные, имеющиеся в КЭШ, то она их представляет, и

нет необходимости обращаться к внешней памяти. В КЭШ помещаются результаты вычислений.

- ША, ШД, ШУ (адреса, данных, управления) — группы линий, по которым передается однотипная информация.
- Шинный интерфейс — выполняет функции согласования действий между внутренними устройствами МП и внешней системой, т.е. управляет потоками и форматами данных между МП и внешними устройствами.

В тех случаях, когда память и средства ввода/вывода размещаются на той же подложке интегральной схемы, что и **микروпроцессор**, последний превращается в **микроконтроллер**. Более подробный анализ позволяет определить микроконтроллеры как устройства, имеющие память RAM или ROM вместо кэш-памяти, присутствующей обычно в большинстве периферийных устройств. В противоположность микроконтроллерам, микропроцессоры имеют устройство управления памятью и большой объем кэш-памяти. Иногда разница определяется производительностью или разрядностью.

1.2.1 Основные характеристики микропроцессора

Микропроцессор характеризуется:

- 1) **тактовой частотой**, определяющей максимальное время выполнения переключения элементов;
- 2) **разрядностью**, т.е. максимальным числом одновременно обрабатываемых двоичных разрядов.

Разрядность МП обозначается $m/n/k/$ и включает:

- m — разрядность внутренних регистров, определяет принадлежность к тому или иному классу процессоров;
- n — разрядность шины данных, определяет скорость передачи информации;

- k — разрядность шины адреса, определяет размер адресного пространства. Например, МП i8088 характеризуется значениями $m/n/k=16/8/20$;

3) архитектурой

Архитектура МП дает представление о функциональном поведении логической структуры и ее организации (взаимодействие отдельных узлов и блоков МП при выполнении тех или иных вычислительных операций), определяет особенности построения программных средств, описывает внутреннюю организацию потоков данных и управляющей информации.

Понятие архитектуры микропроцессора включает в себя систему команд и способы адресации, возможность совмещения выполнения команд во времени, наличие дополнительных устройств в составе микропроцессора, принципы и режимы его работы.

В зависимости от набора и порядка выполнения команд процессоры исторически сформировались несколько классов.

1.2.2 Архитектуры микропроцессора — RISC и CISC

Основные черты CISC-концепции:

Ранее других появились процессоры CISC. Термин **CISC** означает сложную систему команд и является аббревиатурой английского определения Complex Instruction Set Computer. Благодаря этому процессоры выполняют самые разнообразные задачи обработки данных.

При разработке набора команд CISC заботились об удобстве программиста/компилятора, а не об эффективности исполнения команд процессором. В систему команд вводили много сложных команд (производящих по несколько простых действий). Часто эти команды представляли собой программы, написанные на микрокоде и записанные в ПЗУ процессора. Команды CISC имеют разную длину и время выполнения. Зато машинный код CISC-процессоров — язык довольно высокого уровня. В на-

боре команд CISC часто присутствуют, например, команды организации циклов, команды вызова подпрограммы и возврата из подпрограммы, сложная адресация, позволяющая реализовать одной командой доступ к сложным структурам данных. Основным недостатком CISC — большая сложность реализации процессора при малой производительности.

Примеры CISC-процессоров — семейство Motorola 680x0 и процессоры фирмы Intel от 8086 до Pentium II. Наиболее известные микроконтроллеры с CISC-архитектурой фирм Zilog, Intel, Motorola, Siemens.

Основные черты RISC-концепции:

Со временем стало необходимо повысить скорость работы процессоров. Одним из путей к этому стал процессор RISC, который характеризуется сокращенным набором быстро выполняемых команд и происходит от английского Reduced Instruction Set Computer.

- одинаковая длина команд;
- одинаковый формат команд — код команды регистр-приемник два регистра-источника;
- операндами команд могут быть только регистры;
- команды выполняют только простые действия;
- большое количество регистров общего назначения (могут быть использованы любой командой);
- конвейер(ы);
- выполнение команды не дольше, чем за один такт;
- простая адресация.

К RISC процессорам причисляют MIPS, SPARC, PowerPC, DEC Alpha, HP PA-RISC, Intel 960, AMD 29000. RISC-концепция предоставляет компилятору большие возможности по оптимизации кода. Существуют стандарты на RISC-процессоры, например SPARC — Scalable Processor ARChitecture, MIPS, PowerPC часто их называют открытыми архитектура-

ми. Наиболее известные микроконтроллеры с RISC-архитектурой это семейства AT90S, ATmega, ARM фирмы Atmel, микроконтроллеры фирм PIC, Scenix, Holtek.

1.2.3 Сравнение архитектур

Основная идея RISC-архитектуры — это тщательный подбор таких комбинаций кодов операций, которые можно было бы выполнить за один такт тактового генератора. Основной выигрыш от такого подхода — резкое упрощение аппаратной реализации ЦП и возможность значительно повысить его производительность.

Однако обычно выигрыш от повышения быстродействия в рамках RISC-архитектуры перекрывает потери от менее эффективной системы команд, что приводит к более высокой эффективности RISC-систем в целом по сравнению с CISC. Так, в процессоре CISC для выполнения одной команды необходимо, в большинстве случаев, 10 и более тактов. Что же касается процессоров RISC, то они близки к тому, чтобы выполнять по одной команде в каждом такте.

Также с упрощением ЦП уменьшается число транзисторов, необходимых для его реализации, следовательно, уменьшается площадь кристалла. А с этим связано снижение стоимости и потребляемой мощности.

Следует также иметь в виду, что благодаря своей простоте процессоры RISC не патентуются. Это также способствует их быстрой разработке и широкому производству. Между тем, в сокращенный набор RISC вошли только наиболее часто используемые команды. Ряд редко встречающихся команд процессора CISC выполняется последовательностями команд процессора RISC.

Позже появилась концепция процессоров MISC, использующая минимальный набор длинных команд. Вслед за ними возникли процессоры

VLIW, работающие со сверхдлинными командами. Быстродействие процессоров определяется в миллионах операций в секунду MIPS.

1.3 Память в микропроцессорных устройствах

В микропроцессорных устройствах память служит для хранения исходных данных программ обработки информации промежуточных и окончательных результатов вычисления.

Выделяют два основных типа памяти:

- **ОЗУ** — оперативное запоминающее устройство, используемое для хранения данных, поэтому эту память называют еще памятью данных. Число циклов чтения и записи в ОЗУ не ограничено, но при отключении питающего напряжения вся информация теряется;

В современных микропроцессорах память ОЗУ представляет собой многоуровневую систему, в которой выделяют уровни сверхоперативной памяти (СОЗУ), ОЗУ, буферной памяти (БЗУ) и внешней памяти (ВЗУ). Каждый последующий уровень отличается от предыдущего емкостью и быстродействием.

Емкостью называется максимальное количество информации, которая может быть записана в память.

Быстродействие характеризуется длительностью операций чтения и записи — двух основных операций, выполняемых памятью.

Для указанных уровней памяти емкость растет в направлении от СОЗУ к ВЗУ, а быстродействие в противоположном направлении.

- **ПЗУ** — постоянное запоминающее устройство, предназначенное для хранения программ, поэтому часто эту память называют кодовой или памятью программ. Микросхемы ПЗУ способны сохранять информацию при отключенном электропитании, но могут быть запрограммированы только один или очень ограниченное число раз.

1.3.1 Основные характеристики полупроводниковой памяти

Основные характеристики памяти, которые необходимо учитывать при проектировании систем:

- Емкость памяти определяется числом бит хранимой информации. Емкость кристалла обычно выражается также в битах. Важной характеристикой кристалла является информационная организация кристалла памяти $M \times N$, где M — число слов, N — разрядность слова. При одинаковом времени обращения память с большей шириной выборки обладает большей информационной емкостью.

- Временные характеристики памяти.

1.1 Время доступа — временной интервал, определяемый от момента, когда центральный процессор выставил на шину адреса адрес требуемой ячейки памяти и послал по шине управления приказ на чтение или запись данных, до момента осуществления связи адресуемой ячейки с шиной данных.

- Время восстановления — это время, необходимое для приведения памяти в исходное состояние после того, как ЦП снял с ША адрес, с ШУ сигнал «чтение» или «запись» и с ШД данные.

- Удельная стоимость запоминающего устройства определяется отношением его стоимости к информационной емкости, т.е. определяется стоимостью бита хранимой информации.

- Потребляемая энергия (или рассеиваемая мощность) приводится для двух режимов работы кристалла: режима пассивного хранения информации и активного режима, когда операции записи и считывания выполняются с номинальным быстродействием.

- Плотность упаковки определяется площадью запоминающего элемента и зависит от числа транзисторов в схеме элемента и использу-

мой технологии. Наибольшая плотность упаковки достигнута в кристаллах динамической памяти.

- Допустимая температура окружающей среды обычно указывается отдельно для активной работы, для пассивного хранения информации и для нерабочего состояния с отключенным питанием. Указывается тип корпуса, если он стандартный, или чертеж корпуса с указанием всех размеров, маркировкой и нумерацией контактов, если корпус новый. Приводятся также условия эксплуатации: рабочее положение, механические воздействия, допустимая влажность и другие

1.3.2 Типы микросхем постоянных запоминающих устройств (ПЗУ)

Существуют следующие основные типы ПЗУ:

- *масочные ПЗУ* — они программируются в процессе их изготовления путем нанесения маски из замкнутых (высокий уровень) и разомкнутых перемычек (низкий уровень), этот тип ПЗУ наиболее дешев, но при изготовлении крупной партией;

- ПЗУ с плавкими перемычками или электрически программируемые (*ЭПЗУ*) — эти микросхемы программируются потребителем путем пропускания импульсов тока до разрушения перемычек, соответствующих битам, которые должны стать нулевыми;

- перепрограммируемые ПЗУ с электрической записью информации и стиранием ультрафиолетовым излучением (*УФППЗУ*) — основа ячейки памяти микросхемы данного типа — МОП-транзистор с полностью изолированным «плавающим» затвором, при программировании окисел пробивается и на затворе накапливается заряд, который сохраняется там пока микросхема не будет подвергнута УФ-облучению, под его действием окисел становится проводящим; сопротивление канала транзистора зависит от заряда на затворе и будет определять бит, записанный в ячейку;

- электрически стираемые ПЗУ(*EEPROM*) устроены аналогично УФППЗУ, но стирание происходит, как и запись, при подаче импульсов напряжения; это самый дорогой, но и самый удобный тип ПЗУ.

- *FLASH-память* — наиболее популярная в настоящее время. Ее главное достоинство в том, что она построена по принципу электрической перепрограммируемости, т. е. допускает многократное стирание и запись информации с помощью программаторов. Минимальное гарантированное число циклов записи/стирания обычно превышает несколько тысяч. Это существенно увеличивает жизненный цикл и повышает гибкость микропроцессорных систем, так как позволяет вносить изменения в программу микропроцессора, как на этапе разработки системы, так и в процессе его работы в реальном устройстве.

1.3.3 Типы микросхем ОЗУ

Существует два типа микросхем ОЗУ:

- статические ОЗУ, в которых основой запоминающей ячейки служит триггер;
- динамические ОЗУ, в них основой запоминающих ячеек является конденсатор; в качестве конденсатора используется затвор полевого транзистора.

Ячейка динамического ОЗУ проще, поэтому ОЗУ этого типа дешевле и имеют большую емкость при том же количестве компонентов, однако они требуют периодической подзарядки всех запоминающих конденсаторов. Этот процесс называется регенерацией.

Типичное значение периода регенерации — миллисекунды; регенерация осуществляется при каждой операции чтения или записи. Также в динамических ОЗУ используется мультиплексированная адресная шина — адрес передается за два цикла, сначала одна половина разрядов (строки), по-

том другая (столбцы), для регенерации достаточно перебрать все номера строк.

Основными направлениями совершенствования ОЗУ является разработка:

- квазистатических ОЗУ — динамических «внутри», но со встроенной автономной схемой регенерации;
- энергонезависимых ОЗУ, хотя бы и в течение ограниченного периода времени. Одним из путей решения этой проблемы является использование микромощных статических ОЗУ со встроенным источником электропитания.

1.3.4 Буферная память

В вычислительных системах используются подсистемы с различным быстродействием и, в частности, с различной скоростью передачи данных (рис. 1.1). Обычно обмен данными между такими подсистемами реализуется с использованием прерываний или канала прямого доступа к памяти. В первую очередь подсистема 1 формирует запрос на обслуживание по мере готовности данных к обмену. Однако обслуживание прерываний связано с непроизводительными потерями времени и при пакетном обмене производительность подсистемы 2 заметно уменьшается. При обмене данными с использованием канала прямого доступа к памяти подсистема 1 передает данные в память подсистемы 2. Данный способ обмена достаточно эффективен с точки зрения быстродействия, но для его реализации необходим довольно сложный контроллер прямого доступа к памяти.



Рисунок 1.1. Применение буферной памяти

Наиболее эффективно обмен данными между подсистемами с различным быстродействием реализуется при наличии между ними специальной буферной памяти. Данные от подсистемы 1 временно запоминаются в буферной памяти до готовности подсистемы 2 принять их. Емкость буферной памяти должна быть достаточной для хранения тех блоков данных, которые подсистема 1 формирует между считываниями их подсистемой 2. Отличительной особенностью буферной памяти является запись данных с быстродействием и под управлением подсистемы 1, а считывание — с быстродействием и под управлением подсистемы 2 («эластичная память»). В общем случае память должна выполнять операции записи и считывания совершенно независимо и даже одновременно, что устраняет необходимость синхронизации подсистем. Буферная память должна сохранять порядок поступления данных от подсистемы 1, т.е. работать по принципу «первое записанное слово считывается первым» (First Input First Output — FIFO). Таким образом, под буферной памятью типа FIFO понимается устройство памяти, которое автоматически следит за порядком поступления данных и выдает их в том же порядке, допуская выполнение независимых и одновременных операций записи и считывания.

Типовой пример применения буферной памяти в микропроцессорах — последовательный приемо-передатчик.

1.3.5 Стековая память

Стековой называют память, доступ к которой организован по принципу: «последним записан — первым считан» (Last Input First Output —

LIFO). Использование принципа доступа к памяти на основе механизма LIFO началось с больших ЭВМ. Применение стековой памяти оказалось очень эффективным при построении компилирующих и интерпретирующих программ, при вычислении арифметических выражений с использованием польской инверсной записи. В микропроцессорах она стала широко использоваться в связи с удобствами реализации процедур вызова подпрограмм и при обработке прерываний.

Аппаратный стек представляет собой совокупность регистров, связи между которыми организованы таким образом, что при записи и считывании данных содержимое стека автоматически сдвигается. Основное достоинство аппаратного стека — высокое быстродействие, а недостаток — ограниченная емкость.

Наиболее распространенным в настоящее время и, возможно, лучшим вариантом организации стека в ЭВМ является использование области памяти. Для адресации стека используется указатель стека, который предварительно загружается в регистр и определяет адрес последней занятой ячейки. В некоторых МП содержимое основных регистров запоминается в стеке автоматически при прерывании программ.

1.4 Периферийные устройства в микропроцессорных устройствах

Периферийные устройства предназначены для преобразования формы представления информации в процессе передачи данных от микропроцессора к внешним устройствам.

Типовые примеры — устройства преобразования сигналов (аналого-цифровые и цифро-аналоговые частотные преобразователи), устройства человеко-машинного интерфейса (клавиатура, дисплей), устройства связи с другими системами.

1.4.1 АЦП и ЦАП

Принцип работы **АЦП** состоит в измерении уровня входного сигнала и выдаче результата в цифровой форме. В результате работы АЦП непрерывный аналоговый сигнал превращается в импульсный, с одновременным измерением амплитуды каждого импульса.

ЦАП получает на входе цифровое значение амплитуды и выдает на выходе импульсы напряжения или тока нужной величины, которые расположенный за ним интегратор (аналоговый фильтр) превращает в непрерывный аналоговый сигнал.

Внимание! Для правильной работы АЦП входной сигнал не должен изменяться в течение времени преобразования, для чего на его входе обычно помещается схема выборки-хранения, фиксирующая мгновенный уровень сигнала и сохраняющая его в течение всего времени преобразования. На выходе ЦАП также может устанавливаться подобная схема, подавляющая влияние переходных процессов внутри ЦАП на параметры выходного сигнала.

Основные типы АЦП:

- *параллельные* — входной сигнал одновременно сравнивается с эталонными уровнями набором схем сравнения (компараторов), которые формируют на выходе двоичное значение. В таком АЦП количество компараторов равно $(2^N - 1)$, где N — разрядность цифрового кода (для восьмиразрядного — 255), что не позволяет наращивать разрядность свыше 10-12.

- *последовательного приближения* — преобразователь при помощи вспомогательного ЦАП генерирует эталонный сигнал, сравниваемый со входным. Эталонный сигнал последовательно изменяется по принципу половинного деления (дихотомии), который используется во многих методах сходящегося поиска прикладной математики. Это позволяет завершить

преобразование за количество тактов, равное разрядности слова, независимо от величины входного сигнала.

- *с измерением временных интервалов* — широкая группа АЦП, использующая для измерения входного сигнала различные принципы преобразования уровней в пропорциональные временные интервалы, длительность которых измеряется при помощи тактового генератора высокой частоты.

1.2 *последовательного счета*, или однократного интегрирования (single-slope) — в каждом такте преобразования запускается генератор линейно возрастающего напряжения, которое сравнивается со входным. Обычно такое напряжение получают на вспомогательном ЦАП, подобно АЦП последовательного приближения.

1.3 *двойного интегрирования (dual-slope)* — в каждом такте преобразования входной сигнал заряжает конденсатор, который затем разряжается на источник опорного напряжения с измерением длительности разряда.

1.4 *следящие* — вариант АЦП последовательного счета, при котором генератор эталонного напряжения не перезапускается в каждом такте, а изменяет его от предыдущего значения до текущего. Наиболее популярным вариантом следящего АЦП является *Sigma-Delta*, работающий на частоте, значительно (в 64 и более раз) превышающей частоту дискретизации выходного цифрового сигнала. Компаратор такого АЦП выдает значения пониженной разрядности (обычно однобитовые — 0/1), сумма которых на интервале дискретизации пропорциональна величине отсчета. Последовательность малоразрядных значений подвергается цифровой фильтрации и понижению частоты следования (*decimation*), в результате чего полу-

чается серия отсчетов с заданной разрядностью и частотой дискретизации.

Основные типы ЦАП:

- *взвешивающие* — с суммированием взвешенных токов или напряжений, когда каждый разряд входного слова вносит соответствующий своему двоичному весу вклад в общую величину получаемого аналогового сигнала; такие ЦАП называют также параллельными или многоразрядными (multibit).

- *Sigma-Delta*, по принципу действия обратные АЦП этого же типа. Входной цифровой сигнал подвергается значительной (64х и более) передискретизации и подается на модулятор, формирующий малоразрядные (обычно однобитовые) значения. Полученные в результате малоразрядные отсчеты управляют схемой выдачи эталонных зарядов, которые со столь же высокой частотой добавляются к выходному сигналу.

Типы ЦАП, выдающих истинно одноразрядный поток, называют bitstream (поток битов) или PDM (Pulse Density Modulation — модуляция плотностью импульсов). Несколько другой тип представляют ЦАП с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ, Pulse Width Modulation, PWM), когда на схему выборки-хранения аналогового сигнала выдаются импульсы постоянной амплитуды и переменной длительности, управляя дозированием выдаваемого на выход заряда.

Параметры АЦП

При последовательном возрастании значений входного аналогового сигнала $U_{\text{вх}}(t)$ от 0 до величины, соответствующей полной шкале АЦП $U_{\text{пш}}$ выходной цифровой сигнал $D(t)$ образует ступенчатую кусочно-постоянную линию. Такую зависимость по аналогии с ЦАП называют обычно характеристикой преобразования АЦП. В отсутствие аппаратных погрешностей средние точки ступенек расположены на *идеальной прямой*

1 (рис. 24), которой соответствует идеальная характеристика преобразования. Для количественной оценки отличий реальной характеристики от идеальной используются следующие параметры:

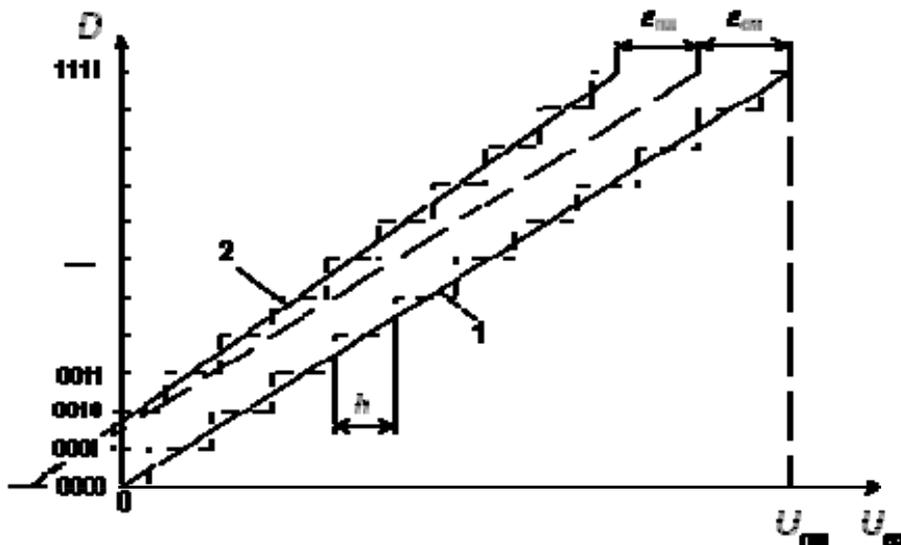


Рис. 24. Статическая характеристика преобразования АЦП

Статические параметры

- *Разрешающая способность* — величина, обратная максимальному числу кодовых комбинаций на выходе АЦП. Разрешающая способность выражается в процентах, разрядах или децибелах. Например, 12-разрядный АЦП имеет разрешающую способность $1/4096$, или $0,0245\%$ от полной шкалы, или $-72,2$ дБ.

- Разрешающей способности соответствует шаг квантования, номинальное значение шага квантования $h=U_{пш}/(2^N-1)$, где $U_{пш}$ — номинальное максимальное входное напряжение АЦП (опорное напряжение), соответствующее максимальному значению выходного кода, N — разрядность АЦП.

- *Погрешность* — относительная разность между реальной и идеальной характеристикой. Погрешность выражается в процентах и определяется по формуле:

$$\delta_{пш} = \frac{\epsilon_{пш}}{U_{пш}} \cdot 100\%$$

идеальным значениями предела шкалы преобразования при отсутствии смещения нуля.

- *Погрешность смещения нуля* — значение выходного кода, когда входной сигнал АЦП равен нулю. Является аддитивной составляющей полной погрешности.

- *Нелинейность* — максимальное отклонение реальной характеристики преобразования $D(U_{вх})$ от *оптимальной* (линия 2 на рис. 24). Оптимальная характеристика находится эмпирически так, чтобы минимизировать значение погрешности нелинейности.

- *Дифференциальной нелинейностью* АЦП в данной точке k характеристики преобразования называется разность между значением кванта преобразования hk и средним значением кванта преобразования h . В спецификациях на конкретные АЦП значения дифференциальной нелинейности выражаются в долях ЕМР или процентах от полной шкалы.

- *Погрешность дифференциальной линейности* определяет два важных свойства АЦП: непропадание кодов и монотонность характеристики преобразования. Непропадание кодов — свойство АЦП выдавать все возможные выходные коды при изменении входного напряжения от начальной до конечной точки диапазона преобразования. Пример пропадания кода $i+1$ приведен на рис. 25. При нормировании непропадания кодов указывается эквивалентная разрядность АЦП — максимальное количество разрядов АЦП, для которых не пропадают соответствующие им кодовые комбинации.

- *Монотонность характеристики преобразования* — это неизменность знака приращения выходного кода D при монотонном изменении входного преобразуемого сигнала.

- *Температурная нестабильность* АЦ-преобразователя характеризуется *температурными коэффициентами погрешности* полной шкалы и погрешности смещения нуля.

Динамические параметры

Возникновение динамических погрешностей связано с дискретизацией сигналов, изменяющихся во времени.

- *Максимальная частота дискретизации (преобразования)* — это наибольшая частота, с которой происходит образование выборочных значений сигнала, при которой выбранный параметр АЦП не выходит за заданные пределы. Измеряется числом выборок в секунду. Выбранным параметром может быть, например, монотонность характеристики преобразования или погрешность линейности.

- *Время преобразования (t_{np})* — это время, отсчитываемое от начала импульса дискретизации или начала преобразования до появления на выходе устойчивого кода, соответствующего данной выборке. Для одних АЦП, например, последовательного счета или многотактного интегрирования, эта величина является переменной, зависящей от значения входного сигнала, для других, таких как параллельные или последовательно-параллельные АЦП, а также АЦП последовательного приближения, примерно постоянной. При работе АЦП без УВХ время преобразования является апертурным временем.

- *Время выборки (стробирования)* — время, в течение которого происходит образование одного выборочного значения. При работе без УВХ равно времени преобразования АЦП.

Параметры ЦАП

При последовательном возрастании значений входного цифрового сигнала $D(t)$ от 0 до $2N-1$ через единицу младшего разряда (ЕМР) выходной сигнал $U_{\text{вых}}(t)$ образует ступенчатую кривую. Такую зависимость называют обычно характеристикой преобразования ЦАП. В отсутствие аппаратных погрешностей средние точки ступенек расположены на идеальной прямой 1 (рис. 22), которой соответствует идеальная характеристика пре-

образования. Реальная характеристика преобразования может существенно отличаться от идеальной размерами и формой ступенек, а также расположением на плоскости координат. Большинство параметров аналогично рассмотренным выше параметрам для АЦП, ниже рассмотрены специфические:

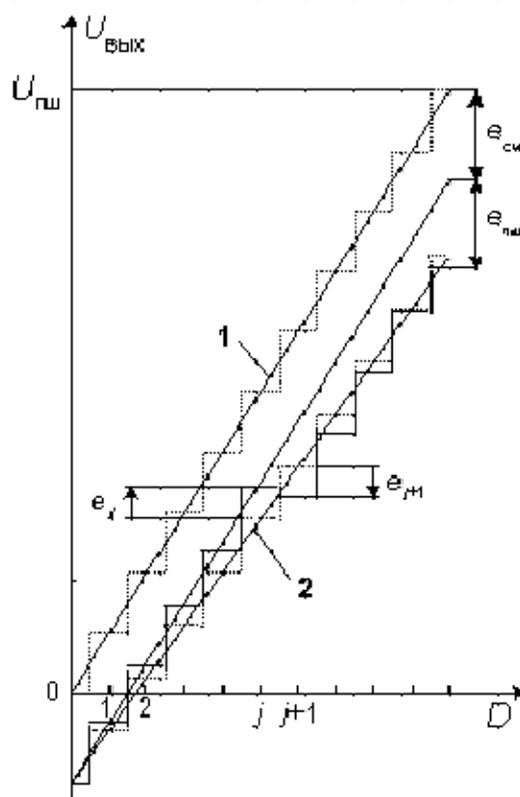


Рис. 22. Статическая характеристика преобразования ЦАП

Динамические параметры ЦАП определяются по изменению выходного сигнала при скачкообразном изменении входного кода, обычно от величины "все нули" до "все единицы" (рис. 23).

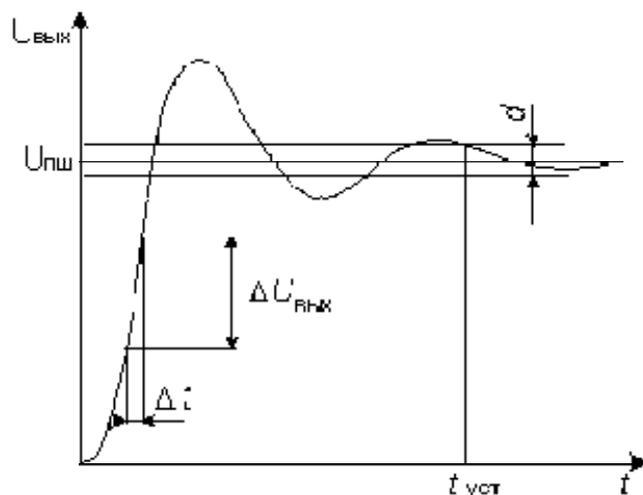


Рис. 23. Переходная характеристика ЦАП

Время установления — интервал времени от момента изменения входного кода (на рис. 23 $t=0$) до момента, когда в последний раз выполняется равенство

$$|U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ПШ}}| = d/2,$$

Скорость нарастания — максимальная скорость изменения $U_{\text{ВЫХ}}(t)$ во время переходного процесса. Определяется как отношение приращения $U_{\text{ВЫХ}}$ ко времени, за которое произошло это приращение. Обычно указывается в технических характеристиках ЦАП с выходным сигналом в виде напряжения. У ЦАП с токовым выходом этот параметр в большой степени зависит от типа выходного ОУ.

Для перемножающих ЦАП с выходом в виде напряжения часто указываются частота единичного усиления и мощностная полоса пропускания, которые в основном определяются свойствами выходного усилителя.

1.4.2 Интерфейсы

Объединение модулей микропроцессорного устройства в единую систему и взаимодействие микропроцессора с внешними устройствами происходит с помощью интерфейса (от английского interface — сопрягать, согласовывать).

Интерфейс должен обеспечивать:

- простое и быстрое соединение данного устройства с любым другим, имеющим такой же интерфейс;
- совместную работу устройств без ухудшения их технических характеристик;
- высокую надежность.

Под стандартным интерфейсом понимается совокупность аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных функциональных компонентов в системах и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости компонентов.

Основными элементами интерфейса являются:

- совокупность правил обмена информацией (временные диаграммы и диаграммы состояний сигналов интерфейса);
- аппаратная реализация (контроллеры);
- программное обеспечение интерфейса (драйверы).

Для любого интерфейса, соединяющего (физически или логически) два устройства, различают три возможных режима обмена — дуплексный, полудуплексный и симплексный:

- **Дуплексный** режим позволяет по одному каналу связи одновременно передавать информацию в обоих направлениях. Он может быть асимметричным, если пропускная способность в направлениях «туда» и «обратно» имеет существенно различающиеся значения, или симметричным.

- **Полудуплексный** режим позволяет передавать информацию «туда» и «обратно» поочередно, при этом интерфейс имеет средства переключения направления канала.

- **Симплексный** (односторонний) режим предусматривает только одно направление передачи информации (во встречном направлении передаются только вспомогательные сигналы интерфейса).

В зависимости от способа передачи данных различают два вида интерфейса: последовательный и параллельный.

В параллельном интерфейсе все биты передаваемого слова (обычно байта) выставляются и передаются по соответствующим параллельно идущим проводам одновременно (за один квант времени), то есть информация разворачивается в пространстве. Параллельный способ применяют в тех случаях, когда необходимо получить наивысшую пропускную способность канала передачи информации. Так как между отдельными проводниками шины для параллельной передачи данных существует электрическая емкость, то при изменении сигнала, передаваемого по одному из проводников, возникает помеха (короткий выброс напряжения) на других проводниках. С увеличением длины шины (увеличением емкости проводников) помехи возрастают и могут восприниматься приемником как сигналы. Поэтому рабочее расстояние для шины параллельной передачи данных ограничивается длиной 1-2 м, и только за счет существенного удорожания шины или снижения скорости передачи длину шины можно увеличить до 10-20 м

Последовательный интерфейс для передачи данных использует одну сигнальную линию, по которой информационные биты передаются друг за другом последовательно, на каждый из них отводится свой квант времени (битовый интервал). При последовательной передаче информации разворачивается во времени. Последовательная передача позволяет сократить количество сигнальных линий и увеличить дальность связи.

В последовательном канале асинхронный режим работы соответствует передаче всего массива информации без специальных сигналов синхронизации и пауз между словами, синхронный — с синхронизацией после

передачи каждого слова, при этом возможна пауза любой длительности между моментами передачи.

Пример стандартного последовательного интерфейса — RS-232 (СОМ-порты в IBM PC совместимых компьютерах).

Последовательный интерфейс подразделяют на синхронный и асинхронный.

В *синхронном* интерфейсе каждый передаваемый бит данных сопровождается импульсом синхронизации информирующим приемник о наличии на линии информационного бита. Следовательно, между передатчиком и приемником должны быть протянуты минимум три провода: два для передачи импульсов синхронизации и бит данных, а также общий заземленный проводник. Если же передатчик (например, микропроцессор) и приемник (например, персональный компьютер) разнесены на несколько метров, то каждый из сигналов (информационный и синхронизирующий) придется посылать либо по экранированному кабелю, либо с помощью витой пары проводов, один из которых заземлен или передает сигнал, инверсный основному.

В *асинхронном* интерфейсе у передатчика и приемника нет общего генератора синхроимпульсов и синхронизирующий сигнал не посылается вместе с данными. А для синхронизации процесса передачи данных используются внутренние встроенные генераторы, настроенные на одну частоту, и некий оговоренный двумя взаимодействующими сторонами формат передачи данных. Данный формат разработан еще в 70-х годах прошлого столетия поддерживается практически всеми микропроцессорными устройствами.

Стандартный формат асинхронной последовательной передачи данных содержит n пересылаемых бит информации (при пересылке символов n равно 7 или 8 битам) и 3-4 дополнительных бита: стартовый бит, бит

контроля четности (или нечетности) и 1 или 2 стоповых бита (рис. 2.2,a). Бит четности (или нечетности) может отсутствовать.

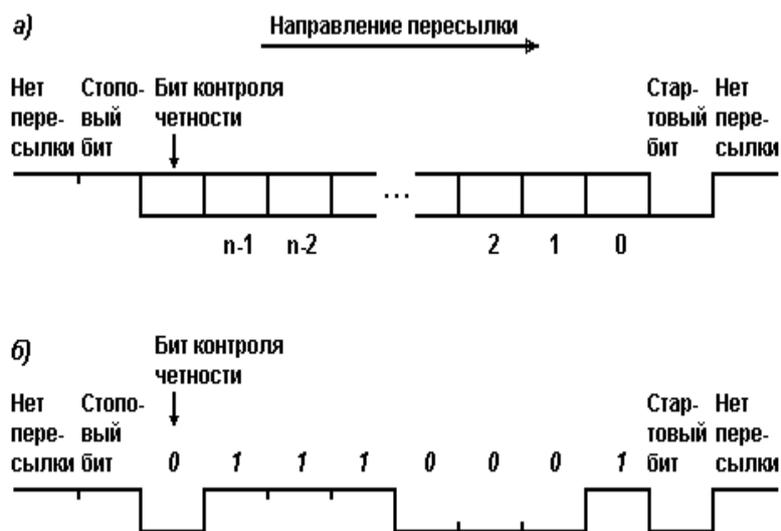


Рисунок 2.2. Формат асинхронной последовательной передачи данных

Передатчик может начать пересылку символа в любой момент времени посредством генерирования стартового бита. Затем происходит передача битов символа, начиная с младшего значащего бита, за которым следует дополнительный бит контроля по четности или нечетности. Далее с помощью стопового бита линия переводится в состояние логической 1 (рис. 2.2,б). Состояние логической 1 должно поддерживаться в течение промежутка времени, равного 1 или 2 временам передачи бита.

Промежуток времени от начала стартового бита до конца стопового бита (стоповых бит) называется кадром. Сразу после стоповых бит передатчик может посылать новый стартовый бит, если имеется другой символ для передачи; в противном случае уровень логической 1 может сохраняться на протяжении всего времени, пока бездействует передатчик. Новый стартовый бит может быть послан в любой момент времени после окончания стопового бита, например, через промежуток времени, равный 0,43 или 1,5 времени передачи бита.

Передний фронт стартового бита сигнализирует о начале поступления передаваемой информации, а момент его появления служит точкой отсчета времени для считывания бит данных(запуск тактового генератора приемника).

Стоповый бит предоставляет время для записи принятого символа в буфер приемника и обеспечивает возможность выявления ошибки кадра.

2 Микроконтроллеры и микропроцессоры

Микроконтроллеры объединяются в семейства. К одному семейству относят изделия, имеющие одинаковое **ядро**, под которым понимают совокупность таких понятий, как система команд, циклограмма работы ЦП, организация памяти программ и памяти данных, система прерываний и базовый набор периферийных устройств. Отличия между различными представителями одного семейства заключаются, в основном, в составе периферийных устройств и объеме памяти программ или данных. Наиболее важная особенность семейства — программная совместимость на уровне двоичного кода всех входящих него МК.

В данной главе рассматриваются характеристики и принципы работы наиболее ярких представителей на рынке микроконтроллеров: 8-битных AVR-микроконтроллеров фирмы Atmel и 32-разрядных ARM-микроконтроллеров.

2.1 Структура 8-битного микроконтроллера

Как и любой 8-битный микроконтроллер микроконтроллер семейства AVR состоит из процессора гарвардской или фон-неймановской архитектуры, памяти программ, памяти данных, портов ввода/вывода, периферийных устройств и интерфейсных схем.

В начале необходимо познакомиться с основными понятиями и сокращениями микропроцессорной техники:

- SPM — функция самопрограммирования Flash ROM памяти микроконтроллера в системе без участия внешнего программатора;
- JTAG — стандартный интерфейс для программирования МК;
- I/O -линии ввода / вывода;
- POR (Power-On Reset) — начальный сброс МК. Задача — удерживать сигнал сброса в активном состоянии пока не стабилизируется питание и кварцевый резонатор;

- BOD (BrownOut Detector) — отслеживает провалы питающего напряжения. В МК обычно с регулируемым порогом(2,7В, 4В);
- WDT (Watch Dog Timer) — сторожевой таймер для предотвращения «зависания» программы микроконтроллера;
- BDC — аппаратный программируемый блок защиты от сбоев при внезапном (в том числе и кратковременном) пропадании напряжения питания микроконтроллера;
 - UART — асинхронный последовательный приемопередатчик;
 - SPI — синхронный трехпроводной последовательный интерфейс;
 - I2C — двухпроводной последовательный интерфейс;
 - RTC — система реального времени;
 - PWM — широтно — импульсный модулятор.

2.1.1 Вычислительный блок

Вычислительный блок является, пожалуй, самым отличительным блоком в МК. Он определяет концепцию построения и принцип работы с памятью.

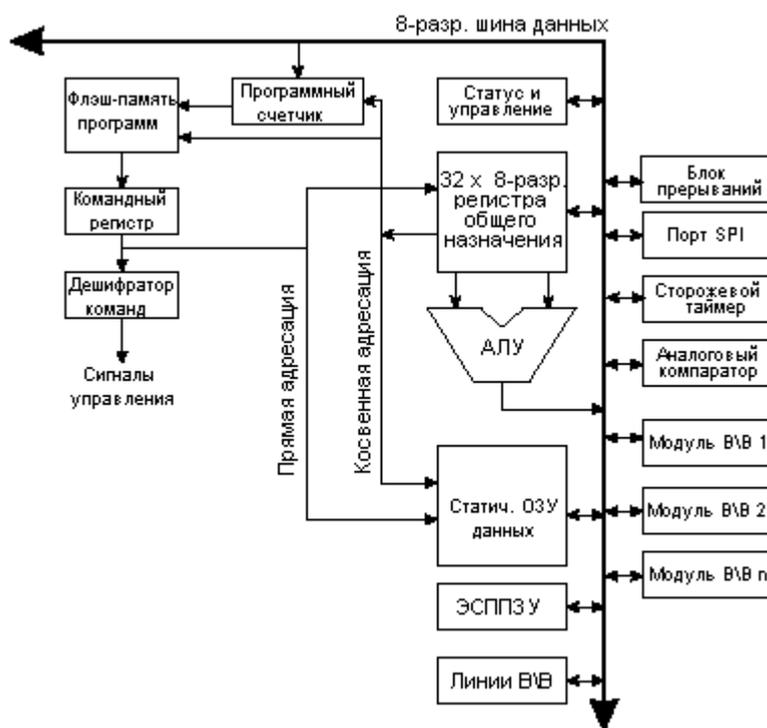


Рисунок 3 — Функциональная схема архитектуры AVR

Гарвардская архитектура AVR реализует полное логическое и физическое разделение не только адресных пространств, но и информационных шин для обращения к памяти программ и к памяти данных, причем способы адресации и доступа к этим массивам памяти также различны. Центральный процессор работает одновременно как с памятью программ, так и с памятью данных; разрядность шины памяти программ расширена до 16 бит.

Регистровый файл с быстрым доступом содержит 32 x 8-разр. рабочих регистров общего назначения с одноктактовым циклом доступа. 6 регистров из них могут использоваться как три 16-разр. регистра косвенного адреса для эффективной адресации в пределах памяти данных (X-регистр, Y-регистр и Z-регистр).

Система команд AVR весьма развита и насчитывает до 133 различных инструкций. Почти все команды имеют фиксированную длину в одно слово (16 бит), что позволяет в большинстве случаев объединять в одной команде и код операции, и операнд(ы). Лишь немногие команды имеют

размер в 2 слова (32 бит) и относится к группе команд вызова процедуры CALL, длинных переходов в пределах всего адресного пространства JMP, возврата из подпрограмм RET и команд работы с памятью программ LPM. Различают пять групп команд AVR: условного ветвления, безусловного ветвления, арифметические и логические операции, команды пересылки данных, команды работы с битами. В последних версиях кристаллов AVR семейства «mega» реализована функция аппаратного умножения, что придает новым микроконтроллерам еще больше привлекательности с точки зрения разработчика.

2.1.2 Память программ

В основном все современные микроконтроллеры имеют встроенную Flash-память программ, которая может быть загружена как с помощью обычного программатора, так и с помощью SPI-интерфейса, в том числе непосредственно на целевой плате. Число циклов перезаписи — не менее 100000.

Флэш-память у рассматриваемых МК разделена на две секции: секция программы начальной загрузки и секция прикладной программы. Обе секции имеют отдельные биты защиты от записи и чтения/записи. Это дает возможность самопрограммирования, то есть микроконтроллер способен самостоятельно, без какого-либо внешнего программатора, изменять содержимое ячеек памяти программ. Наименьшие адреса в памяти программ по умолчанию определены как вектора сброса и прерываний.

2.1.3 Память данных

Оперативная память данных:

Внутренняя оперативная память SRAM имеется у всех семейств микроконтроллеров. Ее размер варьируется от десятков байт до десятков килобайт. Возможна организация подключения внешней памяти посредством параллельной шины микроконтроллера.

При генерации прерывания и вызове подпрограмм адрес возврата из программного счетчика записывается в стек. Стек эффективно распределен в статическом ОЗУ памяти данных и, следовательно, размер стека ограничен общим размером статического ОЗУ и используемым его объемом. В любой программе сразу после сброса должна быть выполнена инициализация указателя стека (SP) (т.е. перед выполнением процедур обработки прерываний или вызовом подпрограмм). Указатель стека — SP — доступен на чтение и запись в пространстве ввода-вывода. Доступ к статическому ОЗУ данных может быть легко осуществлен через 5 различных режимов адресации архитектуры AVR.

Энергонезависимая память данных:

Практически все современные микроконтроллеры имеют также блок энергонезависимой электрически стираемой памяти данных EEPROM. Этот тип памяти, доступный программе микроконтроллера непосредственно в ходе ее выполнения, удобен для хранения промежуточных данных, различных констант, таблиц перекодировок, калибровочных коэффициентов и т.п. EEPROM также может быть загружена извне как через SPI интерфейс, так и с помощью обычного программатора. Число циклов перезаписи — не менее 1000 000. Два программируемых бита секретности позволяют защитить память программ и энергонезависимую память данных EEPROM от несанкционированного считывания.

Необходимо помнить что память EEPROM очень критична к качеству напряжения питания, а именно при плавном нарастании или спаде напряжения питания микросхемы, память зачастую портится (прописываются нули в некоторые биты ячеек).

2.1.4 Тактовый генератор

Поскольку данные микроконтроллеры полностью статические, минимальная допустимая частота ничем не ограничена (вплоть до пошагово-

го режима). Максимальная рабочая частота определяется конкретным типом микроконтроллера. Верхние границы частотного диапазона, указанные в таблицах для выбранного микроконтроллера, гарантируют устойчивую работу микроконтроллеров при работе во всем температурном диапазоне. В некоторых микроконтроллерах имеются специальные аппаратные блоки для увеличения рабочей частоты.

Тактовый генератор вырабатывает импульсы для синхронизации работы всех узлов устройства. Стандартный внутренний тактовый генератор микроконтроллера может запускаться от нескольких источников опорной частоты (ниже приведены источники тактирования в порядке возрастания генерируемых частот и стоимости,):

- 2 Внешний RC-генератор (Тактовая частота грубо определяется выражением $f = 1/(3RC)$. Низкая стабильность выходной частоты и частоты до 1МГц, но низкая стоимость(резистор и конденсатор).
- 3 Встроенный калиброванный RC-генератор (формирует фиксированные тактовые частоты 1.0, 2.0, 4.0 или 8.0 МГц., калибровка через внутренних регистр). Стабильность пропорциональна качеству напряжения питания.
- 4 Внешний низкочастотный кварцевый резонатор (пример часовой кварц — 32.768кГц). Применяется для формирования временных интервалов кратных 1секунде.
- 5 Внешний кварцевый/керамический резонатор (от 1 до 16МГц, схема подключения приведена на рисунке 2.1.,помехопоконденсаторы C1 и C2 обычно имеют номинал от 20 до 60пФ)
- 6 Внешняя синхронизация (необходимо подключить к выводу XTAL1).

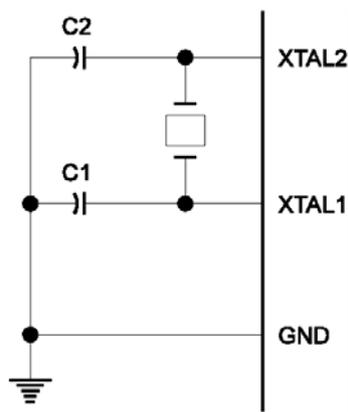


Рисунок 2.1 Пример подключения кварцевого резонатора к МК

2.1.5 Сторожевой таймер

Сторожевой (WATCHDOG) таймер предназначен для защиты микроконтроллера от сбоев в процессе работы (в случае зависания его управляющей программы). Принцип его работы прост, после запуска текущее значение регистра сторожевого таймера инкрементируется с приходом каждого следующего тактового сигнала. И если данное значение не будет периодически сбрасываться в программе, то при переполнении данного регистра произойдет рестарт МК.

WATCHDOG-таймер снабжен своим собственным предварительным делителем входной частоты с программируемым коэффициентом деления, что позволяет подстраивать временной интервал переполнения таймера и сброса микроконтроллера. WATCHDOG-таймер может быть отключен программным образом во время работы микроконтроллера как в активном режиме, так и в любом из режимов пониженного энергопотребления. В последнем случае это приводит к значительному снижению потребляемого тока.

При написании программы в наиболее критичных точках программы (через которые программа при корректной работе обязательно должна пройти) производят сброс сторожевого таймера. Затем предварительным делителем задают время переполнения таймера, которое должно быть

больше времени между двумя контрольными точками и желательно меньше времени между тремя контрольными точками.

WDR не рекомендуется использовать при отладке программ, так как ошибки в работе могут остаться незамеченными.

2.1.6 Порты ввода/вывода

Они имеются в любом МК. В МК AVR каждый разряд порта с помощью внутренних регистров может быть запрограммирован на ввод или на вывод информации:

- Регистр «DDR» — для контроля направления передачи данных и привязки вывода к шине питания (VCC);

- Регистр «PORT»

6.1 При работе бита порта на вывод данных- как регистр выходных данных

6.2 При работе порта на ввод данных — для привязки вывода к VCC через внутренний резистор 10кОм. Это применяется, когда необходимо входную линию порта установить в значение логической единицы «по умолчанию», чтобы подключать переключатель или кнопку напрямую к выводу порта;

- Регистр «PIN» — для отображения логического уровня сигнала на физическом выводе микросхемы при операциях типа «чтение-модификация-запись».

Токовая нагрузочная способность на линию порта не более 20 мА.

Также порты МК используются для выполнения альтернативных функций — в периферийных устройствах.

2.1.7 Контроллер прерываний и внешние прерывания

Гибкий модуль прерываний содержит свои управляющие регистры в пространстве ввода-вывода и имеет дополнительный бит общего разрешения работы системы прерываний в регистре статуса.

У всех прерываний имеется свой вектор прерывания в соответствии с таблицей векторов прерываний. Прерывания имеют приоритет в соответствии с позицией их вектора. Прерывания с меньшим адресом прерывания имеют более высокий приоритет. Для каждого прерывания имеется собственный бит разрешения.

Некоторые выходы микроконтроллера могут использоваться в качестве внешних прерываний.

Внешние прерывания — это задание МК переходит на процедуру обработки при возникновении заданного изменения конкретной линии ввода/вывода (INT).

Выбор изменения линии задается в регистре конфигурации внешних прерываний:

- по нарастающему фронту;
- по спаду;
- по нулевому уровню.

2.1.8 Таймеры/счетчики

Все микроконтроллеры имеют в своем составе таймеры/счетчики количеством до десятка штук и с различной разрядностью (в основном 8 или 16 бит), которые могут работать и как таймеры от внутреннего источника опорной частоты, и как счетчики внешних событий с внешним тактированием.

Общие черты всех таймеров/счетчиков следующие:

- наличие программируемого предварительного делителя входной частоты с различными градациями деления;
- отличительной чертой является возможность работы таймеров/счетчиков на основной тактовой частоте микроконтроллера без предварительного ее понижения, что существенно повышает точность генерации временных интервалов системы;

- независимое функционирование от режима работы процессорного ядра микроконтроллера (т.е. они могут быть как считаны, так и загружены новым значением в любое время);

- возможность работы или от внутреннего источника опорной частоты, или в качестве счетчика событий. Верхний частотный порог определен в этом случае как половина основной тактовой частоты микроконтроллера. Выбор перепада внешнего источника (фронт или срез) программируется пользователем;

- наличие различных векторов прерываний для нескольких различных событий (переполнение, захват, сравнение).

Таймеры/счетчики можно использовать для:

- 1 точного формирования временных интервалов,
- 2 подсчета импульсов на выводах МК.

При работе таймера/счетчика в режиме подсчета импульсов от внешнего сигнала, внешний сигнал синхронизируется с тактовым генератором процессора. Для правильной обработки внешнего сигнала минимальное время между соседними импульсами должно превышать период тактовой частоты процессора. Подсчет импульсов ведется по одному из трех выбранных режимов:

- по нарастающему фронту;
- по спаду;
- по нулевому уровню.

Также в таймерах встречается аппаратно реализованный цифровой фильтр нижних частот.

- 1 формирования последовательности импульсов — ШИМ-режим (на основе ШИМ можно легко реализовать ЦАП).
- 2 реализации функций захвата/сравнения. Таймеры/счетчики способны вырабатывать запросы прерываний, переключая ЦП на их обслуживание по событиям и освобождая его от необходимости

периодического опроса состояния таймеров. Типовые прерывания при переполнении таймера/счетчика, при достижении заданного уровня в функции захвата/сравнения.

- реализации часов реального времени (RTC). Система RTC реализована во многих микроконтроллерах. Таймер/счетчик RTC имеет свой собственный предварительный делитель, который может быть программным способом подключен или к основному внутреннему источнику тактовой частоты микроконтроллера, или к дополнительному асинхронному источнику опорной частоты (кварцевый резонатор или внешний синхросигнал). Внутренний осциллятор, нагруженный на счетный вход таймера/счетчика RTC, оптимизирован для работы с внешним «часовым» кварцевым резонатором 32,768 кГц.

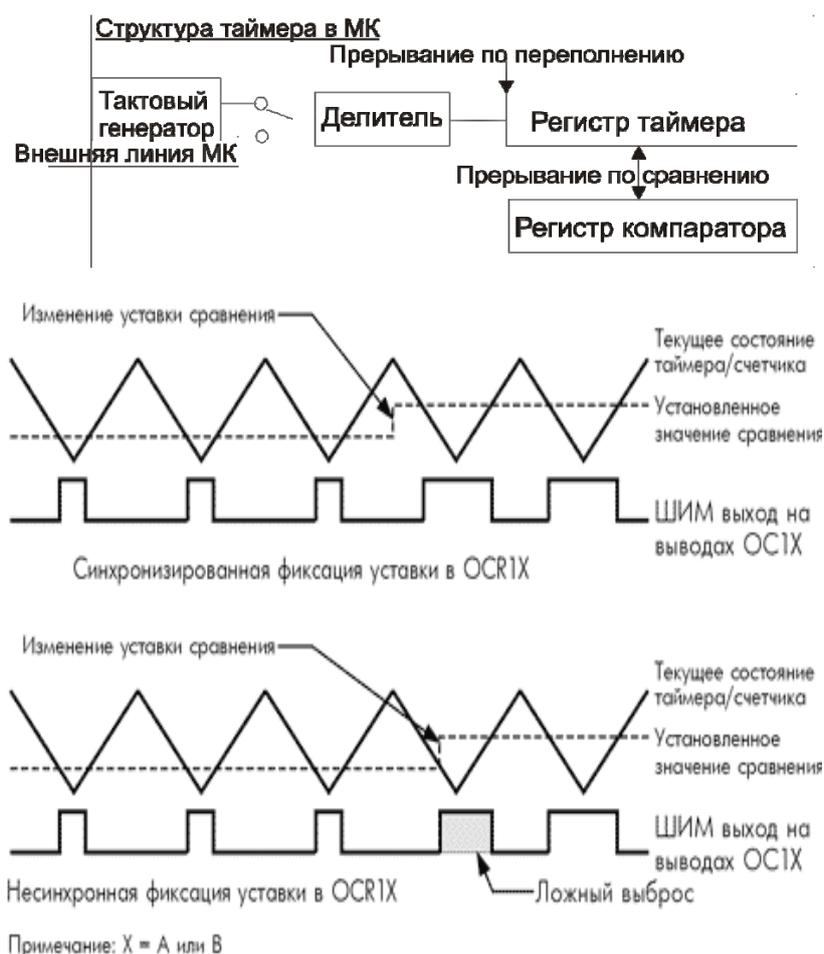


Рисунок 3.5. Пример реализации ШИМ на основе таймера-счетчика в МК

2.1.9 Аналоговый компаратор

Аналоговый компаратор входит в состав большинства микроконтроллеров. Типовое напряжение смещения равно 10 мВ, время задержки распространения составляет 500 нс и зависит от напряжения питания микроконтроллера. Так, например, при напряжении питания 2,7 вольт оно равно 750 нс. Аналоговый компаратор имеет свой собственный вектор прерывания в общей системе прерываний микроконтроллера. При этом тип перепада, вызывающий запрос на прерывание при срабатывании компаратора, может быть запрограммирован пользователем как фронт, срез или переключение. Логический выход компаратора может быть программным образом подключен ко входу одного из таймеров/счетчиков. Это дает возможность измерять длительность аналоговых сигналов, а также максимально просто реализовывать АЦП двухтактного интегрирования.

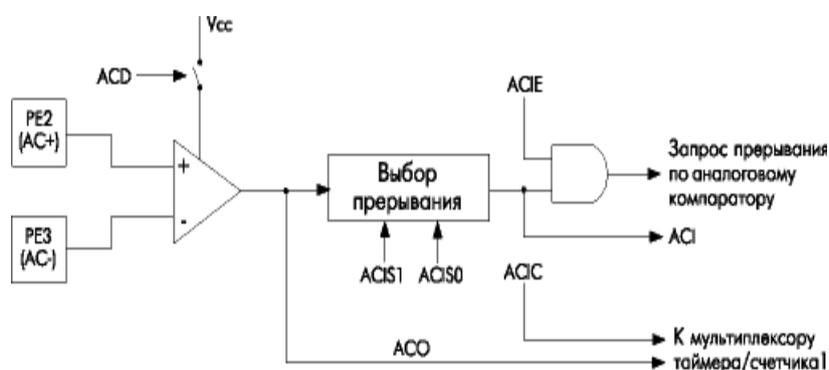


Рисунок 3.6 . Блок-схема аналогового компаратора в МК.

2.1.10 Аналого-цифровой преобразователь

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в микроконтроллерах построен по классической схеме последовательных приближений с устройством выборки/хранения (УВХ). Каждый из аналоговых входов может быть соединен со входом УВХ через аналоговый мультиплексор. Устройство выборки/хранения имеет свой собственный усилитель, гарантирующий, что измеряемый аналоговый сигнал будет стабильным в течение все-

го времени преобразования. Разрядность большинства интегрированных АЦП составляет 10 бит при нормируемой погрешности ± 2 разряда.

АЦП может работать в двух режимах — однократное преобразование по любому выбранному каналу и последовательный циклический опрос всех каналов. Время преобразования выбирается программно с помощью установки коэффициента деления частоты специального предварительного делителя, входящего в состав блока АЦП. Важной особенностью аналого-цифрового преобразователя, интегрированного в микроконтроллер, является функция подавления шума при преобразовании. Пользователь имеет возможность, выполнив короткий ряд программных операций, запустить АЦП в то время, когда центральный процессор находится в одном из режимов пониженного энергопотребления. При этом на точность преобразования не будут оказывать влияние помехи, возникающие при работе процессорного ядра.

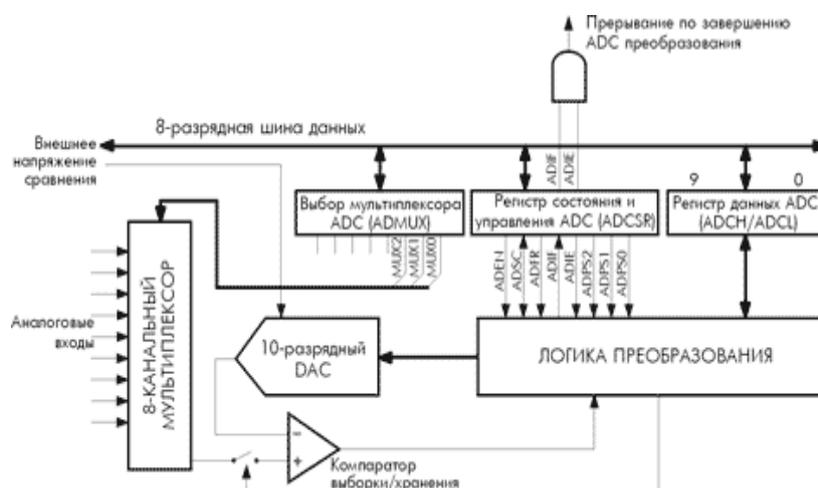


Рисунок 3.7 Блок-схема АЦП в МК.

2.1.11 Интерфейсы в МК

Параллельный порт

Параллельный порт в микроконтроллерах используется в основном для взаимодействия с внешней памятью данных. Обычно параллельный порт представлен 8-разрядной шиной данных и 16-разрядной шиной адре-

са. Для реализации обмена используется стандартная схема с сигналами управления RW и WR — архитектура «общая шина».

Микроконтроллер и внешние устройства соединены при помощи трех шин — шины адреса, шины данных и шины управления. Подобная архитектура микропроцессорной системы называется «общая шина». Общей шиной называется совокупность линий, которая является общей для всех подключенных к ней устройств и служит для передачи информации. По шине данных передается информация в микропроцессор и из него. На шину адреса микроконтроллер выводит информацию о номере (адресе) той ячейки памяти или устройства, с которым он собирается производить обмен информацией.

Процесс передачи информации между процессором и периферийными устройствами происходит следующим образом:

- вначале процессор устанавливает на шине адреса адрес того периферийного устройства или ячейки памяти, с которой происходит информационный обмен;
- если на параллельной шине несколько устройств, то необходимо выбирать требуемое устройство ввода-вывода или микросхему памяти, формируя сигнал «ВЫБОР МИКРОСХЕМЫ» — «CHIP SELECT» (CS);
- на следующем такте процессор выставляет на шину данных информацию;
- далее формирует сигналы, соответствующие требуемому типу информационного обмена на шине управления (WR, RD, IOREQ, MREQ).

Таким образом, операции передачи адреса и данных оказываются разнесенными по времени, что позволяет в некоторых системах использовать для их передачи одну и ту же группу соединительных линий — мультиплексированная шина адреса-данных. Так, для реализации параллельного порта в МК используются два порта ввода/вывода: один - для выдачи старшего байта адреса, второй — для выдачи младшего байта адреса и

байта данных. Младший байт адреса защелкивается во внешнем регистре сигналом с выхода микроконтроллера (ALE).

Последовательный порт — канал информационного обмена МК с внешним миром. Такие каналы связи занимают минимальное число выводов кристалла, обеспечивая связь на значительные расстояния с минимальными аппаратными затратами.

В большинстве МК реализованы два типа последовательных портов синхронные и асинхронные.

Синхронные последовательные порты в МК

На сегодняшний день наиболее распространены два основных типа синхронных портов:

- I2C — двухпроводная двунаправленная шина;
- SPI — последовательный периферийный трехпроводный интерфейс.

Компания Philips разработала двунаправленную шину из двух проводов для эффективного контроля над интегральными схемами (ИС). Эта шина получила название Inter-IC или I2C. В настоящее время ИС компании Philips используются в более чем 150 видах CMOS и совместимых с шиной I2C двухполюсниках при производстве все трех вышеперечисленных видах продукции. Устройства совместимые с I2C имеют интерфейс прямо на микросхеме, который позволяет им соединяться при помощи шины I2C. Такой способ производства позволяет решить множество проблем, возникающих при проектировании интерфейсов между цифровыми схемами.

Основные характеристики шины I2C:

- Требуются только две линии: Serial Data Line (SDA) и Serial Clock Line (SCL).
- Каждое устройство, подключенное к шине, имеет свой уникальный адрес. На протяжении всего времени работы шины имеет место про-

стая связь вида master/slave. Мастер может работать и как приемник, и как передатчик.

- Это действительно мульти-мастер шина, предусматривающая предотвращение ошибок и разрешение конфликтов, когда два или более мастера одновременно пытаются начать передачу данных.

- Двухнаправленная передача данных (8bit) производится на скоростях до 100 Кб/с в стандартном режиме или до 400 Кб/с в ускоренном режиме.

- Имеющийся на микросхеме фильтр, предотвращает скачки напряжения, предохраняя целостность данных

- Максимальное число ИС, одновременно подключенных к шине, ограничивается только максимальной емкостью шины в 400 пФ.

Основные характеристики SPI интерфейса:

- полнодуплексный трехпроводной синхронный обмен данными;
- два режима работы: ведущий (управляет процессом обмена данными — выдает импульсы синхронизации обмена) или ведомый (синхронизируется от ведущего);

- два режима передачи: старшим или младшим битом вперед;
- программируемые скорости обмена;
- прерывание по завершении передачи байта;
- буфер приемника — 1-байт;
- обнаружение ошибки искажения данных при передаче;
- линия выборки для реализации шинного обмена.

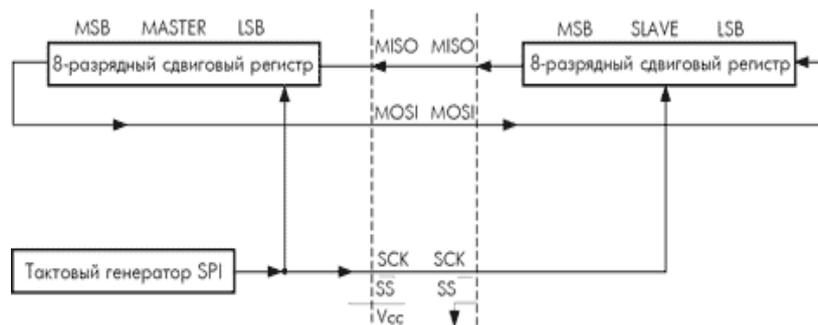


Рисунок 3.8. Реализация обмена между двумя устройствами (Master и Slave) по SPI интерфейсу.

Асинхронный последовательный порт в МК

UART — универсальный асинхронный последовательный приемопередатчик совместим с UART в персональном компьютере и имеет стандартный формат передачи данных (рассмотренный нами в первой главе). На UART реализуются все популярные протоколы в мире встраиваемых систем: Vitbus (последовательная магистраль управления), CAN и Modbus (межконтроллерные сетевые интерфейсы) и многие другие.

Основные характеристики UART:

- скорость передачи до 155 200 бод;
- формат данных;
- обнаружение ошибок формирования кадра и переполнения;
- фильтрация шума;
- буфер приемника и передатчика;
- три отдельных прерывания: по завершении передачи, по завершении приема и по пустому буферу передатчика.

2.1.12 Режимы пониженного энергопотребления МК AVR

Современные микроконтроллеры имеют несколько режимов пониженного энергопотребления, в которые могут быть переведены программным путем. Для разных семейств и разных микроконтроллеров в пределах каждого семейства изменяются количество и сочетание доступных режи-

мов пониженного энергопотребления. Приведем шесть наиболее распространенных режимов пониженного энергопотребления.

- 1 Режим холостого хода (IDLE), в котором прекращает работу только процессор и фиксируется содержимое памяти данных, а внутренний генератор синхросигналов, таймеры, система прерываний и WATCHDOG-таймер продолжают функционировать.
- 2 Режим микропотребления (Power Down), в котором сохраняется содержимое регистрового файла, но останавливается внутренний генератор синхросигналов. Выход из Power Down возможен либо по общему сбросу микроконтроллера, либо по сигналу (уровень) от внешнего источника прерывания. При включенном WATCHDOG-таймере ток потребления в этом режиме составляет около 60...80 мкА, а при выключенном — менее 1 мкА. Вышеприведенные значения справедливы для величины питающего напряжения 5 В.
- 3 Режим сохранения энергии (Power Save), который реализован только у тех микроконтроллеров, которые имеют в своем составе систему реального времени. В основном, режим Power Save идентичен Power Down, но здесь допускается независимая работа дополнительного таймера/счетчика RTC. Выход из режима Power Save возможен по прерыванию, вызванному или переполнением таймера/счетчика RTC, или срабатыванием блока сравнения этого счетчика. Ток потребления в этом режиме составляет 6...10 мкА при напряжении питания 5 В на частоте 32,768 кГц.
- 4 Режим подавления шума при работе аналого-цифрового преобразователя (ADC Noise Reduction). Как уже отмечалось, в этом режиме останавливается процессорное ядро, но разрешена работа АЦП, двухпроводного интерфейса I2C и сторожевого таймера.

- 5 Основной режим ожидания (Standby). Идентичен режиму Power Down, но здесь работа тактового генератора не прекращается. Это гарантирует быстрый выход микроконтроллера из режима ожидания всего за 6 тактов генератора.
- 6 Дополнительный режим ожидания (Extended Standby). Идентичен режиму Power Save, но здесь работа тактового генератора тоже не прекращается. Это гарантирует быстрый выход микроконтроллера из режима ожидания всего за 6 тактов генератора.

Некоторые микроконтроллеры имеют еще одну примечательную архитектурную особенность, позволяющую значительно снизить энергопотребление всего кристалла в целом, когда в процессе работы возникают вынужденные паузы ожидания. В этом случае целесообразно уменьшить ток потребления центрального процессора и периферийных устройств как в активном режиме, так и в режиме холостого хода, понизив основную тактовую частоту микроконтроллера. Для этой цели на кристалле размещен специальный предварительный делитель, позволяющий делить основную тактовую частоту на целое число в диапазоне от 2 до 129. Включение/выключение данной функции осуществляется одной короткой командой в программе.

Большинство микроконтроллеров функционируют в широком диапазоне питающих напряжений от 1,8 до 6,0 вольт. Энергопотребление в активном режиме зависит от величины напряжения питания, от частоты, на которой работает микроконтроллер.

Температурные диапазоны работы микроконтроллеров:

- коммерческий ($0^{\circ}\text{C} \dots 70^{\circ}\text{C}$);
- промышленный ($-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$);
- автомобильный ($-40^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$);
- военный ($-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$).

3 Классификация современных микроконтроллеров

Сегодня в мире выпускаются тысячи типов МК.

Микроконтроллеры обычно классифицируют по разрядности данных, обрабатываемых арифметико-логическим устройством (АЛУ):

- четырехразрядные — самые простые и дешевые;
- восьмиразрядные — наиболее многочисленная группа (оптимальное сочетание цены и возможностей), к этой группе относятся микроконтроллеры серии MCS-51 (Intel) и совместимые с ними, PIC (MicroChip), HC68 (Motorola), Z8 (Zilog) и др.
 - шестнадцатиразрядные — более высокопроизводительные, но более дорогостоящие;
 - тридцатидвухразрядные — обычно являющиеся модификациями универсальных микропроцессоров.
- Отдельно рассматриваются:
 - программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) — как замена микросхем железной логики;
 - ЦПОС — цифровой процессор обработки сигналов (ЦПОС) (DSP — Digital Signal Processor), ориентированные на использование в системах обработки сигналов.
 - Микропроцессорные модули или «системы на кристалле» -это модули со встроенными микропроцессорами и требуемой периферией, другими словами микроконтроллер с ПЛИС и/или ЦПОС.

Сегодня наибольшая доля мирового рынка МК принадлежит восьмиразрядным устройствам (около 50 % в стоимостном выражении). За ними следуют 16-разрядные и ЦПОС (каждая из групп занимает примерно по 20 % рынка).

Внутри каждой группы МК делятся на CISC- и RISC-устройства. Наиболее многочисленной группой являются CISC-МК, но в последние годы среди новых МК преобладает RISC-архитектура.

3.1 Четырехразрядные микроконтроллеры

Четырехразрядные микроконтроллеры являются очень простыми и дешевыми устройствами, предназначенными для замены несложных схем на «жесткой» логике в системах с невысоким быстродействием. Типичные случаи применения — часы, калькуляторы, игрушки, простые устройства управления в промышленных устройствах и бытовой технике.

Типичные характеристики четырехразрядных микроконтроллеров:

- ОЗУ — объем — 16...64 четырехразрядные ячейки;
- ПЗУ — объем — 0.5 ...1 К восьмиразрядных ячеек, тип — масочное ПЗУ (наиболее дешевое);
- система команд — количество — 30...50;
- тактовая частота — 100 КГц...1МГц;
- периферийные устройства — 2...4 четырехразрядных параллельных порта, иногда контроллер жидкокристаллического индикатора;
- стоимость — порядка 0,1\$.

Примеры четырехразрядных микроконтроллеров — отечественные серии КР145ВМ1405, КР145ВМ1406, КР1834 и т.д.

Одним из крупнейших производителей четырехразрядных микроконтроллеров является фирма «Ангстрем», г. Зеленоград.

3.2 Восьмиразрядные микроконтроллеры

Современная тенденция в области разработки микропроцессорных управляющих систем состоит в наращивании мощности вычислителей, в переходе к 16- и 32-разрядным контроллерам и промышленным персональным компьютерам (ПК), в использовании операционных систем (ОС), построении многоуровневой иерархии интерфейсов. Подобный подход,

при всех его положительных сторонах: модульности, снижении трудоемкости разработки, стандартизации протоколов и т. д., не всегда применим в российских условиях. Причина — значительная степень избыточности, приводящая к недопустимо высокой цене.

Между тем существует и продолжает активно развиваться класс восьмиразрядных микроконтроллеров и микросхем поддержки. Они могут использоваться не только для создания простейших устройств управления: регуляторов, контроллеров бытовой техники интеллектуальных периферийных модулей, но и для создания достаточно сложных локальных и распределенных комплексов промышленной автоматики, таких как системы учета энергоресурсов, контроля доступа, управления микроклиматом и др.

Совершенно закономерно, что и в России наиболее популярными стали именно восьмиразрядные МК.

Типичные характеристики восьмиразрядных микроконтроллеров:

- ОЗУ — объем — 256 байт — 4Кбайт;
- ПЗУ — объем — 1..64Кбайт, в новых МК тип — FLASH ПЗУ;
- энергонезависимая память данных тип EEPROM — 256 байт-2Кбайт;
- тактовая частота — 1..50МГц, основная доля 4..10МГц;
- широкий спектр периферийных устройств:
- 2..4 восьмиразрядных порта,
- таймеры, счетчики, ШИМ, часы реального времени, АЦП, ЦАП, аналоговый компаратор;
- последовательные порты — от 1 до 4;
- многоуровневая система энергосбережения;
- контроллеры ЖКИ, системы управления электродвигателями и т.д.;
- стоимость — единицы \$.

Наиболее яркими представителями восьмиразрядных CISC-МК являются изделия компаний Intel (семейства MCS-48, MCS-51), Motorola (68HC05, 68HC08, 68HC11) и Zilog (Z8).

Наиболее яркими представителями восьмиразрядных RISC-МК являются изделия компаний Atmel (семейства AT90S, ATmega, ATTiny), Microchip (PIC), Scenix (SX), АНГСТРЕМ (семейство ТЕСЕЙ — KP1878BE1). HOLTEK (HT48).

3.3 16- и 32- разрядные микроконтроллеры

В последнее время наметилось существенное увеличение спроса на производственные тридцатидвухразрядные микроконтроллеры. В первую очередь это связано со значительным усложнением современной бытовой техники (производители которой потребляют до 70–80 % всех производимых микроконтроллеров), а также с резким снижением цен, что делает возможным создание более гибких и мощных систем, обладающих большим по сравнению с предыдущими устройствами набором возможностей.

Эти контроллеры ставятся в DVD-проигрыватели, CD-проигрыватели, автоответчики — словом туда, где надо работать с большими объемами памяти.

Типичные характеристики 16- и 32-разрядных микроконтроллеров:

- тактовая частота — 4...60 МГц, основная доля 10-20 МГц;
- ПЗУ — внутреннее и внешнее, адресное пространство до 64 Мбайт, обычно тип FLASH ПЗУ;
- мощная система команд и аппаратная реализация математического аппарата;
- из периферийных устройств:
 - линии ввода-вывода — 32-256;
 - интегрированный контроллер внешней памяти (SRAM или DRAM);

- контроллеры DMA;
- контроллер прямого доступа к памяти;
- контроллер 16-разрядной шины ввода — вывода;
- таймеры, счетчики, ШИМ, часы реального времени;
- АЦП, ЦАП;
- последовательные порты — от 2 до 6;
- развитые коммуникационные возможности, аппаратная поддержка IrDA, PCMCIA HDLC ,USB, CAN, LCD;
- стоимость — 10-30 \$.

Наиболее яркими представителями шестнадцатиразрядных микроконтроллеров являются семейства компании Fujitsu (F2MC-16L/16LX/16F), Siemens (C16), Intel (MCS-96) , Texas Instruments (MSP), Motorola (68HC), Mitsubishi (7700).

Особое внимание необходимо уделить фирме Advanced Micro Devices, которая является, единственным, кроме Intel, производителем процессоров семейства x86, предназначенных для применения во встраиваемых системах.

Идея применения процессоров семейства x86 во встраиваемых системах была заложена еще Intel, которая выпустила встраиваемые варианты своих кристаллов i186, i386, а позднее и i486. Применение подобных процессоров во встраиваемых системах удобно в первую очередь с точки зрения разработки, поскольку практически единственным средством, необходимым разработчику, является персональный компьютер. Кроме того, для семейства x86 накоплено огромное количество программного обеспечения, которое с минимальными переделками может быть адаптировано для работы во встраиваемых системах, а также отсутствует необходимость приобретения специальных средств симуляции и отладки, поскольку всю разработку ПО, включая отладку, можно производить с использованием РС в качестве эмулятора. Однако применение интеловских встраиваемых про-

цессоров несколько сдерживали два фактора – их относительно большое энергопотребление и слабо развитая периферия, не отвечающая современным требованиям.

Для восполнения этого пробела параллельно развитию x86 фирма AMD разработала новое семейство – E86TM, состоящее из 16- и 32-разрядных встраиваемых.

Все семейство можно разделить на три группы:

- процессоры семейства x86 с пониженным энергопотреблением и расширенными средствами управления рабочей частотой (Am386, Am486, AMD-K6E, AMD-K6-2E);
- 16-разрядные микроконтроллеры Am186, базирующиеся на ядре процессора i186 и обладающие развитой встроенной периферией;
- 32-разрядные микроконтроллеры, базирующиеся на ядрах процессоров 386 (ElanSC300, ElanSC310), 486 (ElanSC400, ElanSC410) и Am5x86 (ElanSC520) и содержащие все необходимое для построения PC-совместимой системы.

16- и 32-разрядные микроконтроллеры предназначены для использования при построении достаточно сложных систем, разработка которых практически невозможна без использования специальных программных и аппаратных средств. Поэтому на рынке представлен широкий спектр компиляторов и отладчиков для различных операционных систем применяемых в данных микроконтроллерах.

Разработка программного обеспечения (ПО) систем реального времени является сложным и многогранным процессом. Традиционно основные задачи по управлению ресурсами систем реального времени возлагаются на операционные системы реального времени (ОСРВ). ОСРВ координирует распределение ресурсов компьютерной системы (микропроцессор, память, порты ввода/вывода и т.п.) между конкурирующими по времени вычислительными процессами. И в этом случае применение

ОСРВ оправдано и неоспоримо, ведь пользователь разрабатывает лишь прикладное программное обеспечение, а ОСРВ берет на себя основные заботы по распределению ресурсов, координации вычислительных процессов между собой, своевременной реакции на прерывания. И к настоящему времени существует сложившийся ряд операционных систем реального времени (OS-9, VxWorks, pSOS, RTLinux и т.п.), признанных лидеров в своей области.

3.4 Цифровой процессор обработки сигналов (ЦПОС)

ЦПОС — специализированные процессоры, предназначенные для выполнения алгоритмов цифровой обработки сигналов в реальном масштабе времени. Часто в литературе такие микропроцессоры называются сигнальными микропроцессорами (СМП или DSP).

Основные характеристики ЦПОС:

- возможность программирования выполняемых процессов;
- наличие гибких высокоскоростных арифметических средств;
- возможность выполнения за один такт операции умножения, сдвига и других арифметических и логических операций;
- выполнение операций суммирования произведений с высокой скоростью;
- наличие буферов для циклического запоминания сигналов;
- отсутствие непроизводительных затрат на организацию программных циклов и ответвлений.

3.4.1 Состав ЦПОС

Кристалл ЦПОС может содержать большое разнообразие функциональных блоков, реализованных аппаратно. Некоторые наиболее важные из них, размещаемые внутри кристалла, перечислены ниже:

- Центральный арифметический блок — этот блок является той частью ЦПОС, которая выполняет наиболее важные арифметические функ-

ции, такие как умножение и сложение. Это именно та часть, которая делает ЦПОС столь быстрым по сравнению с традиционными процессорами и делает возможным эффективное выполнение алгоритмов нерекурсивной и рекурсивной фильтрации, быстрого преобразования Фурье (БПФ) и других;

- Вспомогательный арифметический блок — он предназначен для выполнения других математических вычислений и логических операций в то время, пока основной арифметический блок занят.

- Быстродействующие высокоточные АЦП и ЦАП блоки — необходимы для работы процессора с аналоговыми сигналами. Это делает ЦПОС весьма удобными для реализации фильтров, преобразований, кодирования и многих других задач обработки аналоговых сигналов (речи, изображения, музыки)

- Порты связи — необходимы любой системе ЦОС. На вход процессора поступает первичная информация, а обработанная информация выдается во внешний мир через эти порты.

Существуют различные типы процессоров сигналов. Одни из них предназначены для вычислений с фиксированной, другие — с плавающей запятой. Большое значение имеют векторные процессоры сигналов, которые используют методику векторных исчислений (производят операции над векторами). Применение векторных процессоров резко увеличивает пропускную способность, поскольку позволяет разработчику системы использовать лишь небольшое число команд вместо того, чтобы писать много строк программного кода. Стремление повысить быстродействие привело к созданию дискретных процессоров сигналов с параллельной обработкой.

Как отмечено выше, ЦПОС эффективно применяются для цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Выделим общие преимущества ЦОС по сравнению с другими способами:

- хорошая стабильность и воспроизводимость;
- отсутствие таких дестабилизирующих факторов, присущих аналоговым устройствам, как температурный и временной дрейф, разброс параметров, воздействие наводок и помех;
- гибкость — возможность программной реализации алгоритмов обработки измерительной информации и изменение параметров аппаратуры;
- возможность создания адаптивных систем с перестраиваемой структурой;
- простота настройки и повышение метрологических характеристик без использования трудоемких и прецизионных операций (подгонка образцовых резисторов).

Недостатки ЦОС связаны с некоторыми потерями информации при дискретизации сигнала и его квантовании, а также с ограничениями на сложность алгоритмов обработки, если необходимо выполнять обработку сигналов в реальном масштабе времени.

3.4.2 Рынок ЦПОС микросхем

Общепризнанным лидером по объему продаж является компания Texas Instruments (появления первого ЦСП принято считать 1982 год TMS32010).

Производителем номер два на мировом рынке ЦСП является компания Lucent Technologies, бывшее подразделение компании AT&T. Имея около 28 % мирового объема продаж, компания мало известна в России, во многом благодаря тому, что выпускаемые ею ЦСП имеют достаточно узкую специализацию под конкретные телекоммуникационные приложения и не поставляются на массовый рынок.

На третьем месте по объему продаж в 1999 году находилась компания Analog Devices (ADI) с 13 % рынка..

Компания Motorola в 1999 году имела около 12 % рынка ЦСП, идя вплотную за ADI. В России компания представлена официальными западными дистрибьюторами и российской компанией «Гамма».

Пример использования DSP: MP3-плеер на базе ЦСП и флэш-памяти, позволяющий воспроизводить до 4 часов музыки, полученной через Интернет.

3.5 Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС)

В отличие от рассмотренных выше контроллеров, которые в которых программа выполняется последовательно по шагам(командам), микросхемы ПЛИС являются машинами параллельного действия. Это означает, что программа, которая представлена внутри ПЛИС в виде схемы из интегральных микросхем выполняется параллельно, то есть все входа задействуются одновременно и далее информация по внутренней схеме переходит на выхода ПЛИС.

ПЛИС- это интегральные микросхемы, содержащие программируемую матрицу элементов логического И (конъюнкторов), программируемую или фиксируемую матрицу элементов логического ИЛИ (дизъюнкторов) и так называемые макроячейки (в зарубежной литературе-macrocells). Макроячейки, как правило, включают в себя триггер, тристабильный буфер и вентиль исключающее ИЛИ, управляющий уровнем активности сигнала. Размерность матриц и конфигурация макроячеек определяют степень интеграции и логическую мощность ПЛИС.

Например основными элементами структуры ПЛИС семейства MAX3000 фирмы Altera являются: логические блоки (ЛБ, LAB, Logic Array Blocks); макроячейки (МЯ, macrocells); логические расширители (ex-

panders), параллельный (parallel) и разделяемый (shareable); программируемая матрица соединений (ПМС, Programmable Interconnect Array, PIA);элементы ввода/вывода (ЭВВ, I/O control block).

В сочетании с разнообразными обратными связями перечисленные элементы формируют завершённую автоматную структуру, ориентированную на реализацию как комбинационных (дешифраторов, мультиплексоров, сумматоров), так и последовательностных схем (управляющих автоматов, контроллеров, счетчиков).

В ПЛИС заложены возможности, которые позволяют превратить ее в ИС с любой функцией цифровой логики. Проектирование сводится к выявлению программируемых элементов (перемычек или запоминающих ячеек), после удаления которых в структуре схемы остаются только те связи, которые необходимы для выполнения требуемых функций. Для проектирования обязательно применяют системы автоматизированного проектирования (САПР ПЛИС).

Основными достоинствами ПЛИС являются:

- высокое быстродействие- в настоящее время быстродействие ПЛИС достигло величин порядка 250–300 МГц, что позволяет реализовать многие алгоритмы в радиодиапазоне.
- возможность реализации сложных параллельных алгоритмов- реально на ПЛИС реализовать синхронную машину конвейерного типа, производящую все действия довольно сложного алгоритма за один такт одновременно. ПЛИС принимают от ЦПОС эстафетную палочку примерно у черты 25 Msps и идут дальше в область более высоких скоростей поступления данных. По сути, ПЛИС возвращает к жизни скоростные преимущества россыпной логики, которая была побеждена в свое время микропроцессорами из-за своей негибкости и ненадежности.

- сокращение сроков и затрат на проектирование, возможность модификации и отладки аппаратуры. Наличие средств САПР, позволяющих провести полное моделирование системы; возможность программирования или изменения конфигурации непосредственно в системе; совместимость при переводе алгоритмов на уровне языков описания аппаратуры (VHDL, AHDL, Verilog и др.); совместимость по уровням и возможность реализации стандартного интерфейса; наличие библиотек мегафункций, описывающих сложные алгоритмы; архитектурные особенности ПЛИС как нельзя лучше приспособлены для реализации таких операций, как умножение, свертка и т. п.

- Наиболее эффективно использование ПЛИС в изделиях, требующих нестандартных схемотехнических решений. В этих случаях ПЛИС даже средней степени интеграции (24 вывода) заменяет, как правило, до 10-15 обычных интегральных микросхем. На их основе разрабатываются контроллеры, адресные дешифраторы, логика обрaмления микропроцессоров, формирователи управляющих сигналов и др. На ПЛИС часто изготавливают микропрограммные автоматы и другие специализированные устройства, например, цифровые фильтры, схемы обработки сигналов и изображения, процессоры быстрого преобразования функций Фурье и т.д. В технике связи ПЛИС применяются в аппаратуре уплотнения телефонных сигналов. Применение ПЛИС становится актуальным еще и потому, что у разработчиков зачастую нет необходимых стандартных микросхем.

Современные представители ПЛИС: семейства MAX5000 и MAX7000 фирмы Altera, схемы XC7000 и XC9500 фирмы Xilinx, а также большое число микросхем других производителей (Atmel, Vantis, Lucent и др.).

3.6 Микропроцессорные модули или «системы на кристалле»

Сегодня на рынке популярность приобретают модули со встроенными микропроцессорами и требуемой периферией (два вида памяти, интерфейсы). Иногда весь модуль интегрируется на один кристалл, тогда он получает название «система на кристалле».

В последнем случае мы получаем целый ряд технических и экономических достоинств: экономится место на печатной плате, улучшается динамика работы схемы, отпадает необходимость согласовывать работу различных модулей, сокращается число и удешевляется общая стоимость применяемых компонентов. Рассмотрим данный рынок:

- **Компания Hyperstone** предлагает широкую номенклатуру 32-бит микропроцессоров и микроконтроллеров класса "система на кристалле", выполненных на базе RISC/DSP-архитектуры E1-32X. Благодаря объединению возможностей RISC- и DSP-процессоров компании удалось добиться увеличения производительности не за счет повышения тактовой частоты, а благодаря применению АЛУ для выполнения обычных RISC-команд и команд цифровой обработки сигнала. Программы для микропроцессоров с архитектурой E1-32X, в сравнении с программами большинства RISC-процессоров, занимают более чем вдвое меньший объем памяти. Микросхемы семейства предназначены для промышленных установок автоматизации, строительной техники, средств безопасности, систем "интеллектуального" дома, причем применение этих микросхем позволяет обойтись без дополнительных DSP-устройств. Представитель — HyNet32XS на базе E1-32XR-ядра сочетают эксплуатационную гибкость с большим числом встроенных функций и интерфейсов, необходимых для сетевых решений. Производительность микросхем серии — 220 MIPS и до 880 MOPS, тактовая частота — 220 МГц. Максимальная мощность, потребляемая микросхемой при работе в неблагоприятных условиях, не превышает 1,7 Вт.

- **Компания Ubicom** выпускает микропроцессоры IP3023, которые по производительности в три раза превосходят сравнимые по составу системы на кристалле на базе ARM- и MIPS-ядер, а сопоставимые с ними по быстродействию процессоры намного дороже. Данные микропроцессоры имеют многопоточную архитектуру ввода/вывода программного обеспечения (Multithreaded Architecture for Software I/O — MASI), специализированную для применения в сетевом беспроводном оборудовании. В микросхеме заложены такие возможности, как восьмипотоковый режим работы без издержек переключения контекста, характерных для обычных микропроцессоров. Предусмотрен также режим пересылки команд между блоками памяти, что обеспечивает непосредственную полноскоростную обработку пакетов данных, хранимых в схемной памяти. Это, в свою очередь, позволяет обойтись без кэш-памяти и тем самым не только снизить стоимость процессора, но и избежать потери быстродействия из-за промаха кэша. В результате микропроцессор IP3023 обеспечивает скорость передачи, характерную для проводных систем. При этом он занимает лишь четверть площади кристалла обычных процессоров и позволяет на 90% сократить объем внешней памяти, требуемой для поддержки устройств с традиционной архитектурой и универсальной операционной системой. Процессор IP3023 может работать как восемь отдельных устройств на частоте до 250 МГц с шагом 3,9 МГц. Архитектура микропроцессоров семейства позволяет интегрировать множество функций на кристалле как аппаратными, так и только программными средствами, в том числе поддержку интерфейсов 10/100 Мп, 10Base-T Ethernet MAC/PHY, USB, GPSI, Utopia, PCMCIA, IDE, PCM Highway и CardBus/Mini PCI-интерфейса, присущего средствам мобильной связи стандартов 802.11a/g., а также устройство умножения с накоплением с фиксированной точкой, поддерживающее реализацию речевых/аудиокодеков и других задач обработки сигнала.

- **Компания NetSilicon** известна семейством NET+ARM-микросхем, обеспечивающих для встроенных сетевых приложений решения на базе системы на кристалле. Благодаря формированию полнофункциональной системы на кристалле, включающей средства поддержки Ethernet-трансивера физического уровня и систем отображения информации, наличию устойчивой к ошибкам периферии и свободных средств обработки для приложений с самыми высокими требованиями к производительности стоимость микросхем семейства достаточно низка. Микропроцессор NS9750 — самый мощный в семействе систем на кристалле NET+ARM. Он выполнен на базе ARM 9 ядра — ARM926EJ-S — с такими расширениями, как блок управления памятью (MMU), сигнальный процессор, Java-ускоритель, кэши программ и данных объемом 8К и 4 Кбайт, соответственно. Тактовая частота его составляет 200 МГц, частота системных шин и шин памяти — 100 МГц, периферийных шин — 50 МГц. В микросхему входит также гибкий встроенный ЖКИ-контроллер, поддерживающий цветной ЖК-индикатор с ТПТ-схемой адресации, воспроизводящий 16 106 цветов, или цветной ЖК-дисплей на базе матрицы пассивных суперскрученных нематических элементов, воспроизводящий до 3375 цветов. Для приложений, требующих подключения к беспроводным локальным сетям, внешним системам памяти или датчикам, устройствам формирования изображения, сканерам предусмотрены PCI/CardBus- и USB-порты. Четыре многофункциональных последовательных порта, I2C-порт и параллельный порт стандарта IEEE 1284 обеспечивают бесшовное подключение разнообразных внешних периферийных устройств.

- **Микроконтроллер AT91RM9200 компании Atmel** представляет собой систему на кристалле, построенную на основе Thumb-процессора ARM920T. Он содержит богатый набор системных, прикладных периферийных устройств и стандартных интерфейсов. Быстродействующее микроконтроллерное СОЗУ и внешний шинный интерфейс (External Bus

Interface — EBI) обеспечивают беспроводное подключение к внешним схемам памяти и периферийным устройствам, требуемым для конкретного приложения. А встроенный интерфейс CompactFlash T позволяет добавлять к микросхеме модули системы беспроводной связи. Сложный блок управления питанием обеспечивает набор тактовых частот вплоть до низких (32 кГц) и позволяет уменьшать напряжение питания "простаивающих" периферийных устройств, благодаря чему потребляемая мощность при любых режимах работы минимальна.

Семейство микропроцессоров MCF5235 компании Freescale Semiconductor объединяет RISC-ядро ColdFire версии 2 с 16/32-канальным блоком улучшенного времени обработки (enhanced Time Processing Unit — eTPU), блоком управления доступом к 10/100 Ethernet и другими периферийными устройствами связи. Производительность микропроцессора, составляющая 144 MIPS (в соответствии с тестом Dhrystone) на частоте 150 МГц, делает его пригодным для применения в сетевых системах и сложных комплексах реального времени, таких как промышленное оборудование управления, технологические установки и роботы. Кроме того, микросхемы MCF5235 предоставляют пользователям микропроцессоров MC68332 простой способ достижения более высокой производительности и поддержки сетевых решений благодаря применению нового поколения микросхем с улучшенными характеристиками и сопоставимой с предыдущим поколением ценой.

Микроконтроллер TC1130 (TriCore) компании Infineon, способный работать с полнофункциональной ОС Linux. Помимо TriCore-архитектуры, объединяющей RISC-, CISC- и DSP функциональные элементы на одном кристалле, в микросхему входят мощный MMU-блок, блок арифметики с плавающей запятой и специализированные для конкретного применения периферийные устройства, а также внутрисхемные 10/100 Ethernet контроллер, четыре CAN-интерфейса и USB-модуль. Мик-

роконтроллер работает на тактовой частоте 150 МГц, его производительность составляет 200 MIPS.

Микропроцессор ADM5120 компании Infineon-ADMtek, в котором ядро MIPS32 4Кс процессора объединено с шестипортовым коммутатором, 10/100 Ethernet физическим уровнем, USB 1.1-хостом, PCI-шиной, UART, SDRAM и Flash-интерфейсами. Кроме того, в схему входят блоки flash-памяти NAND и NOR-типов. Микропроцессор позволяет реализовывать функции SOHO/SME шлюзового контроллера, функции преобразования сетевых адресов, сервера принтера, контроллера одно/многодиапазонной WLAN-точки доступа, шлюзового контроллера виртуальной частной сети. Микросхема обеспечивает совместное пользование домашними/офисными широкополосными средствами — проводными/беспроводными компьютерами, аппаратурой развлечений, принтерами и другими "умными" устройствами.

Классификация операционных систем используемых в «системах на кристалле» по техническим характеристикам:

- Первая — ОС, структура которых восходит к UNIX. К этой группе относятся такие системы, как ucLinux, Embedded Linux, VxWorks, eCos, Nucleus, Net+Works. Эти системы занимают большой объем памяти, что является серьезным недостатком для ОС, ориентированных на применение в системе на кристалле. К тому же, UNIX-системы были разработаны в первую очередь для персональных компьютеров, поэтому ОС первой группы в системах на кристалле не столь эффективны, как ОС второй группы

- Вторая группа — специальные ОС, созданные с учетом специфики таких устройств. К этой группе относятся: MQX, ipOS, HyNetOS. Специальные ОС компактны (занимают небольшой объем памяти), эффективны и оптимизированы для систем на кристалле.

Классификация ОС по потребительским характеристикам

- Первая — открытые ОС (Open source OS): ucLinux, Embedded Linux, eCos. Они либо вовсе не обеспечены технической поддержкой, либо техническая поддержка оказывается за отдельную высокую плату. В то же время стабильность открытых ОС достаточно высокая.

- Вторая группа — "дополнительные" ОС (предлагаемые производителями микропроцессоров): ipOS (Uvicom), Net+Works (NetSilicon). Тут следует отметить, что для производителей микропроцессоров программное обеспечение в целом не является стратегическим продуктом. Компании прежде всего концентрируют усилия на производстве процессоров, а программное обеспечение — это своего рода "добавка" к нему. Уровень технической поддержки и стабильность таких ОС, как правило, ниже, чем у ОС третьей группы.

- Третья группа — коммерческие ОС (предлагаемые независимыми компаниями-производителями программного обеспечения): Nucleus, MQX, VxWorks, HyNetOS; ОС, не требующие лицензий: ucLinux, Embedded Linux, eCos, ipOS, Net+Works; ОС с лицензированием исходного кода: Nucleus; MQX, VxWorks; HyNetOS.

3.7 Состав обеспечения для разработки и отладки программ для МК

3.7.1 Программное обеспечение

Процесс написания программ для микроконтроллеров состоит из нескольких этапов:

- 1 подготовка исходного текста программы на каком-либо из языков программирования;
- 2 компиляция программы;
- 3 отладка и тестирование программы;

- 4 окончательное программирование и подготовка к серийному производству.

На каждом из этапов необходимо применение специальных программных и аппаратных средств.

- 1 Подготовка исходного текста программы может производиться в любом текстовом редакторе, но в основном в среде используемого компилятора. Основные языки программирования микроконтроллеров приведены ниже:

- ассемблер — ранее единственный, а на сегодняшний день эффективен только для написания программных кодов критичных к времени исполнения или занимаемому размеру в памяти;
- СИ — стандарт для промышленных систем;
- BASIC, PASCAL — используются в основном в учебных целях.

- 2 Компиляторы.

Компиляторы – это программы, которые преобразуют исходные тексты программ, написанные на языке программирования высокого уровня, в программу на машинном языке, «понятную» соответствующему микроконтроллеру. Полученный код, называемый исполняемой программой, устанавливается в микроконтроллер и запускается в нем без дополнительных преобразований.

- 3 Отладка и тестирование программы осуществляется аппаратно-программными средствами разработки и отладки программ для микроконтроллеров (рассмотрены ниже).
- 4 Окончательное программирование и подготовка к серийному производству.

Программаторы разделяются на два типа:

- пассивные — согласование сигналов между микроконтроллером и компьютером, который в данном случае выступает программатором;

- интеллектуальные — программатор выполняет все или часть операций программирования.

Ниже представлены наиболее популярные пакеты для разработки ПО для МК AVR фирмы Atmel.

AVR Studio 3.1

Достаточно удачным выбором при разработке программного обеспечения для микроконтроллеров семейства AVR может послужить интегрированная среда разработки AVR Studio фирмы Atmel, которая включает в себя текстовый редактор с подсветкой синтаксиса, компилятор ассемблера, симулятор, отладчик и интерфейс с аппаратными эмуляторами. Данная система распространяется фирмой Atmel бесплатно и ее можно скачать с сайта фирмы Atmel (<http://www.atmel.com/>). Программа рассчитана на работу под управлением операционных систем Windows 9x, NT, 2000. К недостаткам AVRStudio можно отнести некоторую нестабильность работы отладчика, а также неполную симуляцию периферийных устройств (в частности, отсутствует симуляция АЦП). К плюсам же относится, в первую очередь, поддержка ее практически всех микроконтроллеров семейства AVR.

GNU/Linux AVR Assembler

Этот ассемблер, являясь полностью совместимым по входному коду с компилятором фирмы Atmel, имеет по сравнению с ним несколько преимуществ. Во-первых, он поставляется в исходных текстах, так что пользователь, в случае необходимости, может легко добавить новые возможности. Во-вторых, это один из немногих ассемблеров для микроконтроллеров фирмы AVR, работающих под управлением операционной системы Linux (кроме того, наличие исходных текстов позволяет легко перенести его на любую другую Unix-систему). И наконец, в GNU AVR Assembler значительно расширены, по сравнению с ассемблером фирмы Atmel, возможно-

сти по работе с макрокомандами (в частности, допускаются макросы внутри макросов). Программа распространяется по условиям GNU Public License (GPL). Домашняя страничка программы расположена по адресу <http://home.worldonline.dk/~tomo/>, а саму программу можно скачать по адресу <http://www.image.dk/~tomo/tavrasm.tar.gz> (Linux-версия), <http://www.image.dk/~tomo/tavrasm.zip> (DOS-версия) или <http://www.image.dk/~tomo/tavrasmw.zip> (консольная Windows-версия).

IAR C Compiler

Компилятор фирмы IAR общепризнанно является одним из лучших компиляторов C для микроконтроллеров семейства AVR. Связано это, в первую очередь, с наличием в нем богатых возможностей по оптимизации кода. Пожалуй, единственным существенным его недостатком является то, что в демонстрационной версии накладываются значительные ограничения на максимальный объем кода. Компилятор поставляется в составе интегрированной среды разработки IAR Embedded Workbench (EWB), включающей в себя также компилятор ассемблера, линкер, менеджер проектов и библиотек, а также отладчик. Скачать демонстрационную версию пакета можно с сайта фирмы IAR Systems, расположенного по адресу <http://www.iar.se/>.

3.8 Инструментальные средства разработки и отладки для микроконтроллеров

С развитием техники разработка любого микропроцессорного устройства становится все более затруднительной без использования средств разработки и отладки программного обеспечения микропроцессора.

Диагностика — процесс анализа состояния объекта. Объектом диагностики может быть сеть, система, компьютер, устройство, программа. В процессе диагностики изучаются характеристики, параметры и функции, выполняемые объектом. При этом осуществляется тестирование и анализ

проведенного исследования. В этом процессе определяется характер, место, причина имеющихся неисправностей и ошибок, а также предпринимаются меры по их устранению. Благодаря диагностике становится возможным также прогнозирование поведения объекта в будущем.

При эксплуатации сети либо системы диагностика осуществляется всякий раз, как только обнаружится ошибка. Диагностическая программа исследует причину возникновения ошибки и предоставляет данные для последующего анализа. Ошибки же могут возникать при запоминании данных, их обработке и передаче. Для обнаружения ошибок в данные вводится определенная избыточность, позволяющая осуществлять необходимую диагностику. В особо важных случаях процесс обработки данных дублируется. При возникновении неисправности устройств осуществляется фиксация факта неисправности, определяется ее место и вид. Далее передаются сообщения о неисправности, устройство отключается и, если это возможно, заменяется резервным.

К числу основных инструментальных средств отладки микроконтроллеров относятся:

- внутрисхемные эмуляторы;
- программные симуляторы;
- мониторы отладки;
- платы развития (оценочные платы);

3.8.1 Внутрисхемные эмуляторы

Внутрисхемный эмулятор — программно аппаратное средство, способное замещать собой эмулируемый процессор в реальной схеме. Внутрисхемный эмулятор — это наиболее мощное и универсальное отладочное средство.

Функционально внутрисхемные эмуляторы делятся на стыкуемые с внешней вычислительной машиной (обычно это бывает IBM PC) и функ-

ционирующие автономно. Автономные внутрисхемные эмуляторы имеют индивидуальные вычислительные ресурсы, средства ввода-вывода, не требуют для своей нормальной работы стыковки с какими-либо внешними вычислительными средствами, но за это пользователю приходится расплачиваться либо существенно более высокой ценой, либо пониженными функциональными и сервисными возможностями по сравнению с аналогичными моделями, стыкуемыми с IBM PC.

Обычно стыковка внутрисхемного эмулятора с отлаживаемой системой производится при помощи эмуляционного кабеля со специальной эмуляционной головкой. Эмуляционная головка вставляется вместо микроконтроллера в отлаживаемую систему. Если микроконтроллер невозможно удалить из отлаживаемой системы, то использование эмулятора возможно, только если этот микроконтроллер имеет отладочный режим, при котором все его выходы находятся в третьем состоянии. В этом случае для подключения эмулятора используют специальный адаптер-клипсу, который подключается непосредственно к выводам эмулируемого микроконтроллера.

Как минимум, эмулятор содержит следующие функциональные блоки:

- отладчик;
- узел эмуляции микроконтроллера;
- эмуляционная память;
- подсистема точек останова.
- Более продвинутые модели могут содержать дополнительно:
- процессор точек останова;
- трассировщик;
- профилировщик (анализатор эффективности программного кода);
- таймер реального времени;

- программно-аппаратные средства, обеспечивающие возможность чтения и модификации ресурсов эмулируемого процессора «на лету», т.е. в процессе выполнения программы пользователя в реальном времени;
- программно-аппаратные средства, обеспечивающие синхронное управление, необходимое для эмуляции в мультипроцессорных системах;
- интегрированную среду разработки.

3.8.2 Симуляторы

Симулятор — программное средство, способное имитировать работу микроконтроллера и его памяти. Как правило, симулятор содержит в своем составе:

- отладчик;
- модель ЦПУ и памяти.

Более продвинутые симуляторы содержат в своем составе модели встроенных периферийных устройств, таких как таймеры, порты, АЦП, системы прерываний.

Симулятор должен уметь загружать файлы программ во всех популярных форматах, максимально полно отображать информацию о состоянии ресурсов симулируемого микроконтроллера, а также предоставлять возможности по симуляции выполнения загруженной программы в различных режимах. В процессе отладки модель «выполняет» программу и на экране компьютера отображается текущее состояние модели.

Загрузив программу в симулятор, пользователь имеет возможность запускать ее в пошаговом или непрерывном режиме, задавать условные и безусловные точки останова, контролировать и свободно модифицировать содержимое ячеек памяти и регистров симулируемого микропроцессора. С помощью симулятора можно быстро проверить логику выполнения программы, правильность выполнения арифметических операций.

Недостатком программных симуляторов является то обстоятельство, что исполнение программ, загруженных в симулятор, происходит в масштабе времени, отличном от реального.

Достоинством — низкая цена и возможность ведения отладки даже в условиях отсутствия макета отлаживаемого устройства.

3.8.3 Отладочные мониторы

Отладочный монитор — специальная программа, загружаемая в память отлаживаемой системы. Она вынуждает процессор пользователя производить, кроме прикладной задачи, еще и отладочные функции:

- загрузку прикладных кодов пользователя в свободную от монитора память;
- установку точек останова;
- запуск и останов загруженной программы в реальном времени;
- проход программы пользователя по шагам;
- просмотр, редактирование содержимого памяти и управляющих регистров.

Программа монитора обязательно должна работать в связке с внешним компьютером или пассивным терминалом, на которых и происходит визуализация и управление процессом отладки. Достоинством этого подхода являются очень малые затраты при сохранении возможности вести отладку в реальном времени. Главным недостатком является отвлечение ресурсов микроконтроллера на отладочные и связные процедуры, например: монитор занимает некоторый объем памяти, прерывания, последовательный канал.

3.8.4 Платы развития

Платы развития, или оценочные платы (Evaluation Boards), являются своеобразными конструкторами для макетирования прикладных систем. При выпуске новой модели кристалла микроконтроллера, фирма-

производитель обязательно выпускает и соответствующую плату развития. Обычно это печатная плата с установленным на ней микроконтроллером плюс вся необходимая ему стандартная обвязка, там же имеется свободное поле для монтажа прикладных схем пользователя. Кроме учебных или макетных целей, такие доработанные пользователем платы стало выгодно (экономия времени) использовать в качестве одноплатных контроллеров, встраиваемых в малосерийную продукцию (5..20 шт.).

3.9 Выбор микроконтроллера

Критерии оценки при выборе микропроцессора можно разбить на три группы:

- технические характеристики;
- эксплуатационные характеристики;
- потребительские свойства.

1 Технические характеристики:

- 1.1 Производительность (время выполнения одной команды);
- 1.2 Разрядность (АЛУ, внутренней шины данных и адреса);
- 1.3 Наличие и типы прерываний;
- 1.4 Размер и типы памяти программ и данных;
- 1.5 Количество и электрические характеристики линий ввода-вывода;
- 1.6 Наличие встроенной периферии: таймеры, счетчики событий, АЦП, ЦАП, ШИМ, RTC, параллельные и последовательные (синхронные, асинхронные) порты, компаратор, ЖКИ-драйверы;
- 1.7 Энергопотребление (режимы энергопотребления).

2 Эксплуатационные характеристики:

- 2.1 Диапазон рабочих температур;
- 2.2 Устойчивость к ЭМИ;

2.3 Размеры и тип корпуса.

3 Потребительские свойства:

3.1 Функциональность;

3.2 Поддержка технологических языков программирования;

3.3 Надежность — проходят ли данные МК выходной контроль на фирме производителе, отзывы о работе других разработчиков;

3.4 Затраты — Стоимость приобретения, доставки. Стоимость программно-аппаратного комплекса для разработки и отладки программ на данном МК.

4 Стандартные промышленные интерфейсы

4.1 Проводные последовательные интерфейсы

4.1.1 MicroLAN

Концепция

Сеть MicroLAN использует архитектуру с одним ведущим шины и многочисленными ведомыми. Однако используя специальные методы исключения конфликтов на шине возможна работа с несколькими ведущими.

Архитектура

Сеть MicroLAN не ограничена заранее предопределенной структурой. В небольших конфигурациях она представляет из себя шинную структуру, с подключением всех приборов на одну общую магистраль. При более сложной конфигурации структура сети может видоизмениться в древовидную. Отдельные ветви могут отходить от общей магистрали, в свою очередь они могут ветвиться далее и далее. Все ветви могут подключаться к сети или отключаться от нее с помощью адресуемых ключей. Ветвление любого уровня может динамически изменяться в работающей сети.

Интерфейс

Сеть MicroLAN основывается на использовании дешевого, легко доступного телефонного кабеля с витыми парами. Для прокладки сети не требуется никакого специального оборудования. Для удобства выпускается специальный ассортимент кабелей, соединителей, интерфейсных карт, предназначенных для быстрой установки и работы в составе сети MicroLAN.

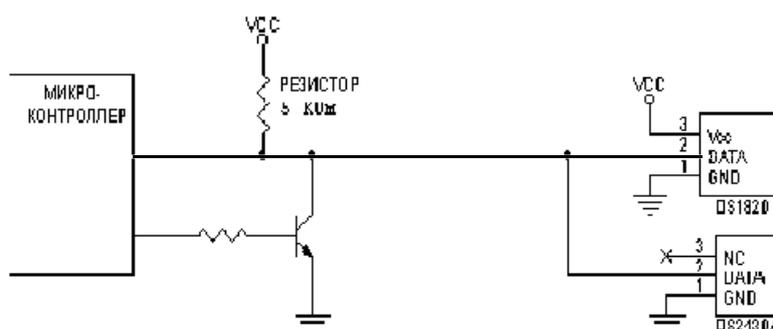
MicroLAN использует стандартные КМОП/ТТЛ логические уровни. Напряжение ниже 0.8 В соответствует логическому НИЗКОМУ уровню, а напряжение выше 2.2 В является ВЫСОКИМ логическим уровнем. Сеть

использует рабочее напряжение питания 2.8 ... 6.0 В. Приборы MicroLAN могут использовать режим питания от линии связи.

Скорость передачи данных по сети была оптимизирована для условий работы на больших расстояниях, простоты интерфейса и использования дешевых и широко распространенных компонентов. Скорость передачи данных 16300 bps достаточна для того, чтобы обеспечить адресацию узла и начать передачу данных за время менее 7 мс. Скорость передачи данных по сети может быть уменьшена до любой необходимой величины путем введения задержки между передачей отдельных битов данных.

Протокол работы MicroLAN специально предназначен для упрощения электрического интерфейса и наиболее широкой поддержки существующим коммуникационным оборудованием. Любой промышленный контроллер, такой как 8051, работающий на тактовой частоте более 1.8 МГц, а также любой последовательный порт RS232, может легко поддерживать протокол обмена MicroLAN.

Схема подключения ведущего микроконтроллера к ведомым



Адресация

С адресным пространством $2e56$ сеть MicroLAN перекрывает все существующие сетевые стандарты. Благодаря встроенному сетевому контроллеру, все приборы MicroLAN пригодны для использования в сети с момента своего выпуска. При производстве гарантируется уникальность сетевого адреса для каждого выпускаемого прибора. В сети MicroLAN не

существует опасности конфликта сетевых адресов и недостаточности адресного пространства.

Все приборы 1-проводной шины — самотактируемые кремниевые устройства. Логика обработки временных интервалов основывается на измерении и генерировании цифровых импульсов различной длительности. Передача данных асинхронная и полудуплексная. Данные могут интерпретироваться как команды (в соответствии с заранее определенным форматом) которые сравниваются с информацией, уже сохраненной в приборе, для принятия решения, или могут быть просто сохранены для последующего использования. Все устройства в сети считаются ведомыми, в то время как управляющий сетью компьютер считается ведущим. Это позволяет избежать конфликтов, связанных с работой на общей шине нескольких ведущих. Кроме того построение выходного устройства всех микросхем на основе полевого транзистора с открытым стоком, совместно с используемым алгоритмом работы приборов позволяют разрешить все конфликты, связанные с одновременной работой на шине нескольких ведомых устройств.

Временные параметры

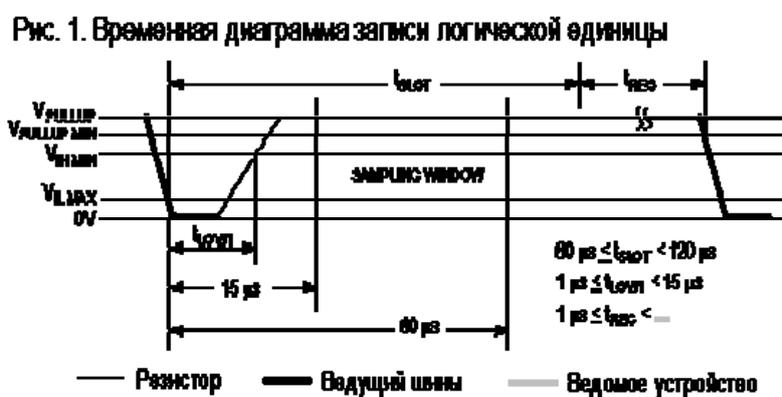
Временные соотношения в сети MicroLAN определены относительно временных интервалов. Поскольку форма падающего фронта в системах с открытым стоком менее подвержена влиянию емкости нагрузки, то для синхронизации работы всех приборов MicroLAN используется именно падающий фронт. Для обеспечения максимальной надежности чтения данных и команд, чтение осуществляется в середине временного интервала передачи данных. По определению активная часть временного интервала 1-проводной шины (t SLOT) составляет 60 мкс. После окончания активной части временного интервала требуется освобождение линии, чтобы напряжение на ней по крайней мере на 1 мкс превысило пороговый уровень 2.8

В, что необходимо для зарядки внутренних конденсаторов питания приборов на шине.

При номинальных условиях, приборы MicroLAN определяют состояние линии через 30 мкс после падающего фронта. Внутренний временной масштаб приборов может отклоняться от номинальной величины. Допустимый диапазон отклонения составляет от 15 мкс до 60 мкс. Это означает, что фактически выборка может осуществляться ведомым устройством где-нибудь между 15 мкс и 60 мкс после синхронизирующего фронта. В течение этого временного интервала напряжение на шине данных должно оставаться ниже $V_{IL\ MAX}$ или выше $V_{IH\ MIN}$.

Временные интервалы записи

В 1-проводной системе значения логической 0 и логической 1 представлены импульсами различной длительности. Это объясняет форму временных диаграмм записи 1 и записи 0, необходимых для записи команд или данных в приборы.



Продолжительность НИЗКОГО уровня импульса записи 1 (t_{LOW1}) должна быть короче 15 мкс; для записи 0 продолжительность НИЗКОГО уровня импульса (t_{LOW0}) должна быть по крайней мере 60 мкс, чтобы гарантировать правильность записи в самом плохом случае.

Продолжительность активной части временного интервала может быть продлена свыше 60 мкс. Максимальная длительность ограничена тем, что импульс НИЗКОГО уровня продолжительностью по крайней мере во-

семь активных временных интервалов (480 мкс) определен как Импульс сброса. Допуская тоже самое максимальное отношение допустимого сброса временных интервалов, импульс НИЗКОГО уровня длительностью 120 мкс может оказаться достаточным для сброса.

Рис. 2. Временная диаграмма записи логического нуля



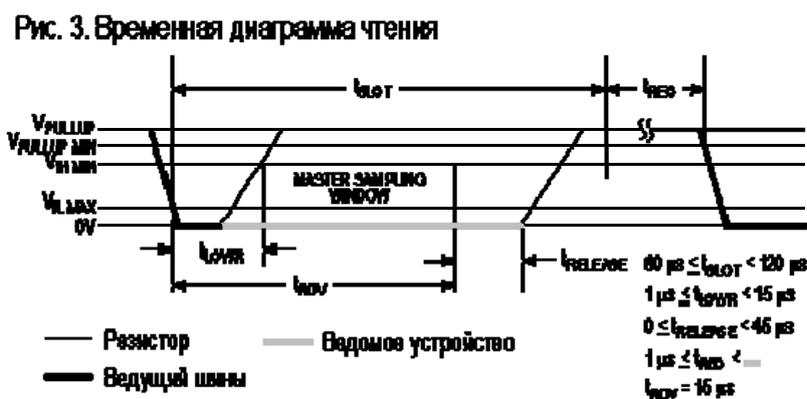
Это ограничивает максимальную продолжительность активной части временного интервала записи 0 величиной 120 мкс, чтобы предотвратить неверное истолкование импульса в качестве Импульса сброса.

В конце активной части каждого временного интервала для приборов MicroLAN требуется время восстановления t_{REC} длительностью минимум 1 мкс, чтобы подготовиться к следующему биту. Это время восстановления может быть расценено как неактивная часть временного интервала и должно быть прибавлено к продолжительности активной части, чтобы получить время, требуемое для передачи одного бита. Широкий диапазон временных интервалов и не критичность к времени восстановления позволяют даже медленным микропроцессорам легко выполнить временные параметры для связи по 1-проводному интерфейсу.

Временные интервалы чтения

Команды и данные передаются в приборы MicroLAN, путем комбинации последовательности циклов записи 0 и записи 1. Для чтения данных ведущий шины должен генерировать последовательность циклов чтения, чтобы определить начало передачи каждого бита. С точки зрения ведущего

шины, цикл чтения выглядит также, как и цикл записи 1. Используя в качестве стартового условия переход от ВЫСОКОГО уровня к НИЗКОМУ, ведомый прибор посылает один бит адресуемой информации. Если бит данных равен 1, прибор не предпринимает никаких действий на шине, оставляя импульс неизменным. Если бит данных равен 0, прибор MicroLAN сохраняет НИЗКИЙ уровень на шине данных в течение интервала времени t_{RDV} , составляющего 15 мкс.

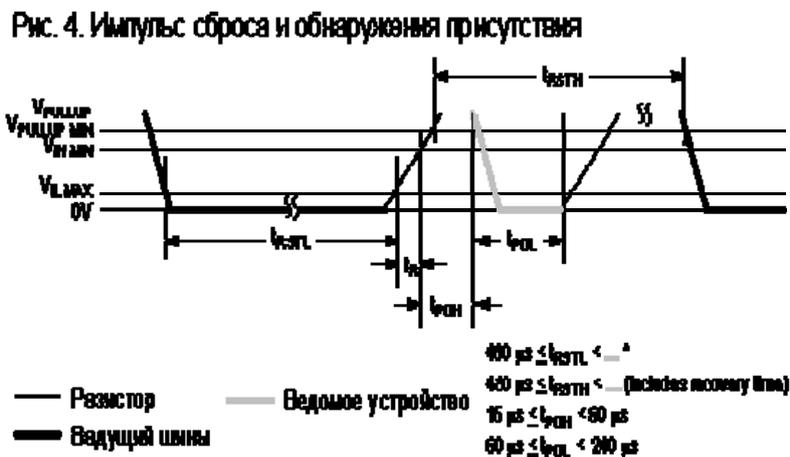


В этом временном интервале данные верны для чтения ведущим. Продолжительность t_{LOW} НИЗКОГО уровня импульса, посланного ведущим должна составлять минимум 1 мкс и быть как можно короче, чтобы максимум времени остался для измерения ведущим уровня ответного сигнала. Чтобы компенсировать емкость кабеля 1-проводной шины, ведущий должен детектировать состояние шины как можно ближе к 15 мкс после фронта синхронизации. После t_{RDV} следует дополнительный временной интервал $t_{RELEASE}$, после которого прибор MicroLAN освобождает 1-проводную шину, чтобы напряжение могло вернуться к уровню V_{PULLUP} . Продолжительность $t_{RELEASE}$ может изменяться от 0 до 45 мкс, номинальная величина составляет 15 мкс.

Сброс и обнаружение присутствия на линии

Как упомянуто выше, протокол обмена по 1-проводной шине поддерживает также Импульс сброса. Этот импульс определен как одиночный импульс НИЗКОГО уровня минимальной продолжительностью в восемь

временных интервалов (480 мкс) после которого следует ВЫСОКИЙ уровень импульса сброса $tRSTH$ длительностью также 480 мкс. Это состояние ВЫСОКОГО уровня необходимо для того, чтобы приборы на шине MicroLAN могли генерировать Импульс присутствия.



В течение $tRSTH$ никакая другая связь на 1-проводной шине не допускается. Импульс сброса предназначен, чтобы обеспечить стартовое условие, которое отменяет любой обмен на шине и возвращает все приборы на шине в исходное состояние. В системе с нестабильными электрическими контактами необходимо иметь средства перезапуска после нарушения контакта. В качестве такого средства и служит Импульс сброса. Если ведущий шины посылает Импульс сброса, то прибор MicroLAN ожидает в течение времени $tPDH$, и затем генерирует Импульс присутствия продолжительностью $tPDL$. Это позволяет ведущему легко определить, находится ли на шине хоть один прибор. Кроме того, если несколько приборов включены параллельно, ведущий может измерить оба интервала времени и таким образом получить информацию о разбросе временных параметров всех приборов на шине.

Импульс присутствия может служить также в качестве источника аппаратного прерывания. Отключение прибора от шины равносильно сбросу неопределенной продолжительности. Как только прибор снова подключается к шине и обнаруживает высокий уровень на шине данных, он

генерирует Импульс присутствия. Эта особенность может использоваться для генерации прерывания при подключении на шину каждого нового устройства.

Обмен на шине начинается либо с генерации ведущим шины импульса сброса, либо с подключения прибора на шину MicroLAN. Как было показано выше, оба этих случая приводят к генерации прибором Импульса присутствия. Импульс присутствия указывает ведущему, что на шине MicroLAN присутствует прибор, идентификационный номер которого может быть прочитан ведущим. После этого ведущий шины передает ведомому команду. Далее, в зависимости от команды, ведущий либо читает данные, либо записывает.

Логика работы сети MicroLAN

Все приборы, предназначенные для работы на шине MicroLAN, содержат встроенный сетевой контроллер, позволяющий многочисленным приборам работать в составе общей сети. Это позволяет построить распределенную систему сбора и хранения информации, использующую только одну общую линию данных к ведущему шины.

Любая сеть всегда требует наличия идентификационных номеров всех узлов в пределах сети. Все микросхемы MicroLAN содержат область ПЗУ в которой записан уникальный для каждой микросхемы регистрационный номер, который удобно использовать в качестве идентификатора узла. Пользователю не нужно волноваться относительно возможности конфликта идентификаторов узлов, так как производителем гарантируется невозможность выпуска двух микросхем с одинаковым серийным номером. Кроме того построение выходного устройства микросхем на основе транзистора с открытым стоком позволяет избежать потенциальных проблем, если происходит какой-либо конфликт на шине. Фактически, 1-проводной интерфейс действительно является 1-проводной сетью

MicroLAN со всем необходимым для работы в сети с одним ведущим и многочисленными ведомыми.

4.1.2 Интерфейс RS-232

Этот широкоиспользуемый стандартный интерфейс обеспечивает работу стандартного оборудования передачи данных между модемами, терминалами и компьютерами. Электрически система основана на импульсах 12В, кодирующих последовательности "0" и "1". Механически этот стандарт определяет 9- и 25-контактные разъемы.

Основные сигналы передаются по линиям "передача/прием" данных.

Остальные сигнальные линии передают статусную информацию коммутируемых устройств.

Скорость передачи выбирается из диапазона от 50 до 38400 бод.

Обозначение контакта	Назначение контакта	№ контакта на 25-контактном разъеме	№ контакта на 9-контактном разъеме	Вход — I, выход — O
FG	Защитное заземление (экран)	1	-	-
-TxD	Передаваемые данные (Transmitted Data)	2	3	O
-RxD	Принимаемые данные (Received Data)	3	2	I
RTS	Запрос для передачи (Request To Send)	4	7	O

CTS	Сброс для передачи (Clear To Send)	5	8	I
DSR	Готовность данных (Data Set Ready)	6	6	I
SG	Сигнальное заземле- ние (Signal Ground)	7	5	-
DCD	Детектор принимае- мого с линии сигнала (Data Carrier Detect)	8	1	I
DTR	Готовность выход- ных данных (Data Terminal Ready)	20	4	O
RI	Индикатор вызова (Ring Indicator)	22	9	I

4.1.3 Шина I²C

Разработанная фирмой Philips шина I²C ("Inter-Integrated Circuit"), — это двунаправленная асинхронная шина с последовательной передачей данных и возможностью адресации до 128 устройств. Физически шина I²C содержит две сигнальные линии, одна из которых (SCL) предназначена для передачи тактового сигнала, вторая (SDA) для обмена данными. Для управления линиями применяются выходные каскады с открытым коллектором, поэтому линии шины должны быть подтянуты к источнику питания +5 В через резисторы сопротивлением 1...10 кОм, в зависимости от физической длины линий и скорости передачи данных. Длина соединительных линий в стандартном режиме может достигать 2-х метров, скорость передачи — до 100 кбит/с. Суммарная емкость линий должна быть не больше 400 пФ, входная емкость на каждую ИС должна быть в пределах 5...10 пФ.

Отличительные особенности

- Двухнаправленный обмен по двум линиям
- Высокая скорость обмена — до 100 кбит и выше
- Возможность адресации до 128 устройств
- Простота программной реализации "Master"-абонента
- Временная независимость процесса передачи

Данное введение является формальным описанием шины I²C и предназначено только для достаточно подробного ознакомления с целью самостоятельной реализации частных алгоритмов связи. Для получения более полной информации обращайтесь к соответствующей литературе фирмы Philips.

Все абоненты шины делятся на два класса — "Master" и "Slave". Устройство "Master" генерирует тактовый сигнал (SCL) и, как следствие, является ведущим. Оно может самостоятельно выходить на шину и адресовать любое "Slave" — устройство с целью передачи или приема информации. Все "Slave"-устройства "слушают" шину на предмет обнаружения собственного адреса и, распознав его, выполняют предписываемую операцию. Кроме того, возможен так называемый "Multi Master" — режим когда на шине установлено несколько "Master"-абонентов, которые либо совместно разделяют общие "Slave"-устройства, либо попеременно являются то "Master"-устройствами, когда сами иницируют обмен информацией, то "Slave", когда находятся в режиме ожидания обращения от другого "Master"-устройства. Режим "Multi Master" требует арбитража и распознавания конфликтов. Естественно, он сложнее в реализации (имеется ввиду программная реализация) и, как следствие, реже используется в реальных изделиях.

В начальный момент времени — в режиме ожидания — обе линии SCL и SDA находятся в состоянии логической единицы (транзистор вы-

ходного каскада с ОК закрыт). В режиме передачи бит данных SDA стробируется положительным импульсом SCL. Смена информации на линии SDA производится при нулевом состоянии линии SCL. "Slave"-устройство может "придерживать" линию SCL в нулевом состоянии, например, на время обработки очередного принятого байта, при этом "Master"-устройство обязано дождаться освобождения линии SCL, прежде чем продолжить передачу информации.

Для синхронизации пакетов шины I²C различают два условия — "Start" и "Stop", ограничивающие начало и конец информационного пакета. Для кодирования этих условий используется изменение состояния линии SCL, что недопустимо при передаче данных. "Start"-условие образуется при отрицательном перепаде линии SDA, когда линия SCL находится в единичном состоянии, и наоборот, "Stop"-условие образуется при положительном перепаде линии SDA при единичном состоянии линии SCL.

Передача данных начинается по первому положительному импульсу на линии SCL, которым стробируется старший бит первого информационного байта. Каждый информационный байт (8 битов) содержит 9 тактовых периодов линии SCL. В девятом такте устройство-получатель выдает подтверждение (ACK) — отрицательный импульс, свидетельствующий о "взаимопонимании" передатчика и получателя. Сразу отметим, что любой абонент шины, как "Master", так и "Slave" может в разные моменты времени быть как передатчиком, так и получателем и в соответствии с режимом обязан либо принимать, либо выдавать сигнал ACK, отсутствие которого интерпретируется как ошибка.

Чтобы начать операцию обмена устройство "Master" выдает на шину "Start"-условие, за которым следует байт с адресом "Slave"-устройства, состоящий из семибитового адреса устройства (занимает биты 1...7) и однобитового флага операции — "R/W" (бит 0) определяющего направление обмена, причем 0 означает передачу от "Master" к "Slave", а 1 — чтение из

"Slave". Все биты передаются по шине I²C в порядке старший-младший, то есть первым передается 7-ой бит, последним 0-ой. За адресом могут следовать один или более информационных байтов (в направлении, определенном флагом R/W), биты которых стробируются сигналом SCL из "Master"-устройства.

При совершении операции чтения "Master"-абонент должен сопровождать прочитанный байт сигналом АСК, если необходимо прочитать следующий байт, и не выдавать сигнала АСК, если собирается закончить чтение пакета.

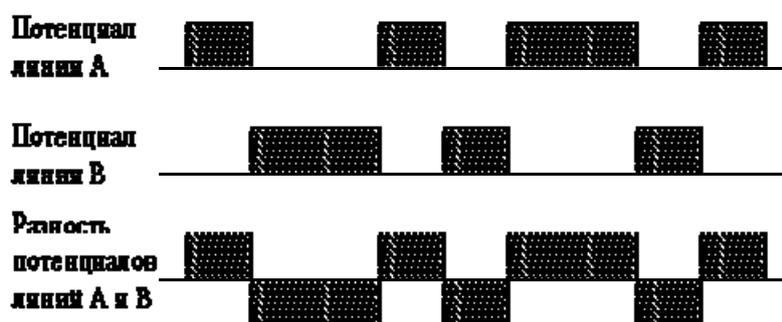
Допускается многократное возобновление "Slave"-адреса в одном цикле передачи, то есть передача повторного "Start"-условия без предварительного "Stop"-условия. Такой принцип широко применяется в управлении I²C абонентами, когда выдача нового "Start"-условия служит для синхронизации начала нового пакета данных, сопровождаемого, например, новым управляющим словом, уточняющим адресацию пакета.

4.1.4 Интерфейс RS-485

Интерфейс RS-485 (другое название — EIA/TIA-485) — один из наиболее распространенных стандартов физического уровня связи. Физический уровень — это канал связи и способ передачи сигнала (1 уровень модели взаимосвязи открытых систем OSI).

Сеть, построенная на интерфейсе RS-485, представляет собой приемопередатчики, соединенные при помощи витой пары — двух скрученных проводов. В основе интерфейса RS-485 лежит принцип дифференциальной (балансной) передачи данных. Суть его заключается в передаче одного сигнала по двум проводам. Причем по одному проводу (условно А) идет оригинальный сигнал, а по другому (условно В) — его инверсная копия. Другими словами, если на одном проводе "1", то на другом "0" и наоборот.

Таким образом, между двумя проводами витой пары всегда есть разность потенциалов: при "1" она положительна, при "0" — отрицательна.

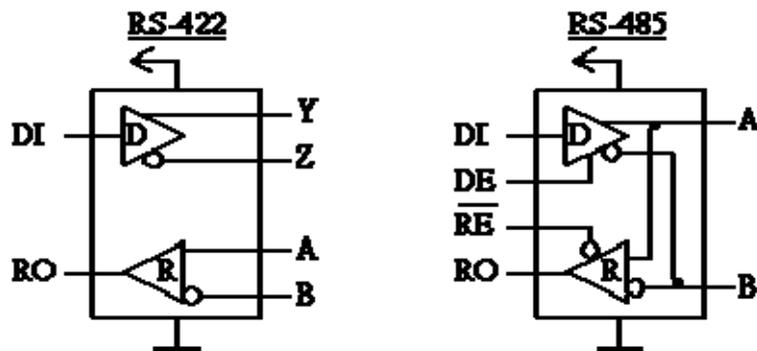


Именно этой разностью потенциалов и передается сигнал. Такой способ передачи обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе. Синфазной называют помеху, действующую на оба провода линии одинаково. К примеру, электромагнитная волна, проходя через участок линии связи, наводит в обоих проводах потенциал. Если сигнал передается потенциалом в одном проводе относительно общего, как в RS-232, то наводка на этот провод может исказить сигнал относительно хорошо поглощающего наводки общего ("земли"). Кроме того, на сопротивлении длинного общего провода будет падать разность потенциалов земель — дополнительный источник искажений. А при дифференциальной передаче искажения не происходит. В самом деле, если два провода пролегают близко друг к другу, да еще перевиты, то наводка на оба провода одинакова. Потенциал в обоих одинаково нагруженных проводах изменяется одинаково, при этом информативная разность потенциалов остается без изменений.

Аппаратная реализация интерфейса — микросхемы приемопередатчиков с дифференциальными входами/выходами (к линии) и цифровыми портами (к портам UART контроллера). Существуют два варианта такого интерфейса: RS-422 и RS-485.

RS-422 — полнодуплексный интерфейс. Прием и передача идут по двум отдельным парам проводов. На каждой паре проводов может быть только по одному передатчику.

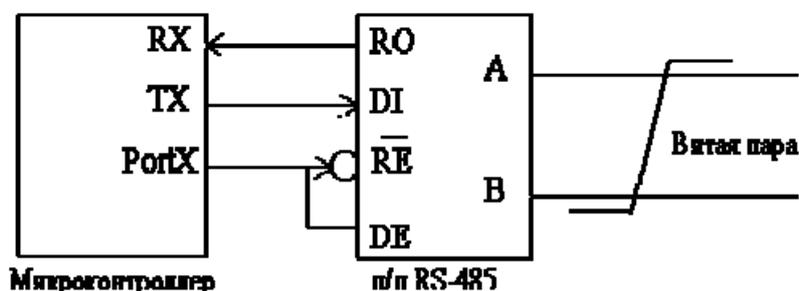
RS-485 — полудуплексный интерфейс. Прием и передача идут по одной паре проводов с разделением по времени. В сети может быть много передатчиков, так как они могут отключаются в режиме приема.



- D (driver) — передатчик;
- R (receiver) — приемник;
- DI (driver input) — цифровой вход передатчика;
- RO (receiver output) — цифровой выход приемника;
- DE (driver enable) — разрешение работы передатчика;
- RE (receiver enable) — разрешение работы приемника;
- A — прямой дифференциальный вход/выход;
- B — инверсный дифференциальный вход/выход;
- Y — прямой дифференциальный выход (RS-422);
- Z — инверсный дифференциальный выход (RS-422).

Остановлюсь поподробнее на приемопередатчике RS-485. Цифровой выход приемника (RO) подключается к порту приемника UART (RX). Цифровой вход передатчика (DI) к порту передатчика UART (TX). Поскольку на дифференциальной стороне приемник и передатчик соединены, то во время приема нужно отключать передатчик, а во время передачи — приемник. Для этого служат управляющие входы — разрешение приемника (RE) и разрешения передатчика (DE). Так как вход RE инверсный, то его можно соединить с DE и переключать приемник и передатчик одним сиг-

налом с любого порта контроллера. При уровне "0" — работа на прием, при "1" — на передачу.



Приемник, получая на дифференциальных входах (АВ) разность потенциалов (U_{AB}) переводит их в цифровой сигнал на выходе RO. Чувствительность приемника может быть разной, но гарантированный пороговый диапазон распознавания сигнала производители микросхем приемопередатчиков пишут в документации. Обычно эти пороги составляют ± 200 мВ. То есть, когда $U_{AB} > +200$ мВ — приемник определяет "1", когда $U_{AB} < -200$ мВ — приемник определяет "0". Если разность потенциалов в линии настолько мала, что не выходит за пороговые значения — правильное распознавание сигнала не гарантируется. Кроме того, в линии могут быть и не синфазные помехи, которые исказят столь слабый сигнал.

Все устройства подключаются к одной витой паре одинаково: прямые выходы (А) к одному проводу, инверсные (В) — к другому.

Входное сопротивление приемника со стороны линии (R_{AB}) обычно составляет 12 КОм. Так как мощность передатчика не беспредельна, это создает ограничение на количество приемников, подключенных к линии. Согласно спецификации RS-485 с учетом согласующих резисторов передатчик может вести до 32 приемников. Однако есть ряд микросхем с повышенным входным сопротивлением, что позволяет подключить к линии значительно больше 32 устройств.

Максимальная скорость связи по спецификации RS-485 может достигать 10 Мбод/сек. Максимальное расстояние — 1200 м. Если необходи-

мо организовать связь на расстоянии большем 1200 м или подключить больше устройств, чем допускает нагрузочная способность передатчика — применяют специальные повторители (репитеры).

4.1.5 USB

Последовательный протокол и физическое соединение, которое переносит все данные по витой паре проводов. Другая пара обеспечивает питание для устройств

Возможности USB следуют из ее технических характеристик:

- Высокая скорость обмена (full-speed signaling bit rate) — 12 Mb/s
 - Максимальная длина кабеля для высокой скорости обмена — 5 м
 - Низкая скорость обмена (low-speed signaling bit rate) — 1.5 Mb/s
 - Максимальная длина кабеля для низкой скорости обмена — 3 м
 - Максимальное количество подключенных устройств (включая размножители) — 127
- Возможно подключение устройств с различными скоростями обмена
 - Отсутствие необходимости в установке пользователем дополнительных элементов, таких как терминаторы для SCSI
 - Напряжение питания для периферийных устройств — 5 V
 - Максимальный ток потребления на одно устройство — 500 mA

Топология USB — "звездное" соединение (рис. 1). Концентраторы являются вершинами, соединяющими устройства. Одно и только одно ведущее устройство (обычно ПК) включает "Корневой концентратор", который является связующим звеном для всех. Host — основной в USB и, следовательно, управляет всеми устройствами.

Устройства, контролируемые USB, являются "ведомыми", отвечая на команды (host a) "ведущего". Когда устройство подключается в USB сеть, host связывается с ним для определения: какой драйвер необходим

(процес enumeration). Для избежания перемычек и проблем с прерываниями, host присваивает адрес устройства в процессе энумерации.

Спецификация определяет два вида устройств: stand-alone (одиночное, как мышь) и составное (имеющие более одного порта). Примером составного устройства является видео камера с отдельным аудио процессором.

Концентраторы и мосты; они увеличивают физическую нагрузочную способность сети. Концентратор имеет одно исходящее соединение (которое образовано с корневым концентратором или другим концентратором, ближним к корневому), и от одного до нескольких нисходящих соединений.

Концентраторы сами по себе являются USB устройствами, и являются интеллектуальными. Критическая часть философии USB то, что пользователи могут отключать устройства не выходя из системы. Концентраторы определяют эти изменения. Они так же могут служить источниками питания для USB сети; питание может поступать от hub (концентратора) (если он является самоснабжаемым), или от вышестоящего.

Как только концентратор находит новую периферию (или отключение таковой), он подает информацию ХОСТу и позволяет соединение с подключенным устройством, на самом деле, он является невидимым "умным" проводом, распределяющим данные между устройствами и ведущим. Таким образом, физическое соединение устанавливается "звездой", но для приложений прямое соединение существует между компьютером (ведущим) и каждым отдельным устройством.

Обзор соединения USB

USB соединение устанавливается между ХОСТом и endpoint (конечная точка), расположенной в периферии. Конечная точка — уникальная доступная часть периферии, являющаяся источником или приемником

данных. Четыре бита определяют адрес конечной точки; коды также определяют направление передачи и является ли передача управляющей. Точка 0 зарезервирована для управляющих передач, предоставляющая до 15 двунаправленных источников и приемников данных для каждого устройства.

Идея конечных точек является важной составляющей концепции USB транзакций. Вся передача осуществляется через виртуальные каналы (pipe), которые соединяют периферийные конечные точки с ХОСТом. Когда устанавливается соединение с устройством, каждая конечная точка возвращает дескриптор, структура данных, которая описывает конфигурацию и предназначение. Дескрипторы включают вид передачи, максимальный размер пакетов данных, и в некоторых случаях, необходимую пропускную способность канала, который определяется размером, делая его аналогом водопроводной системы.

USB поддерживает четыре вида передачи данных: управляющий, изохронный, массовый (bulk) и через прерывание.

Управляющие запросы меняют конфигурацию, установки и управляют передачами данных. Осуществляется проверка CRC и инициация ре-трансмиссии, при необходимости коррекции пакетов.

Bulk (массовая) передача, осуществляет обмен большим количеством данных, когда время не критично. Основной вид обмена данными для устройств, включая принтеры и сканеры. Заполняет шину, когда ничего более важного не происходит. Осуществляется аппаратный контроль CRC.

Interrupt (прерывание) передача, не вызывает прерывания CPU компьютера, опрашивая устройства: или не нужно их обслужить. Периферия обменивается небольшими фрагментами данных, которые требуют немедленного внимания (мышки, клавиатуры) используя interrupt передачу. Осуществляется аппаратный контроль CRC.

И, наконец, изохронная передача оперирует потоками данных, как, например, от аудио и видео устройств. Это передача в реальном времени с гарантированным доступом к шине. Проверка целостности отсутствует.

Существует два типа кабелей: для низкоскоростных устройств (со скоростью передачи данных 1.5МБит) и для полноскоростных устройств (со скоростью передачи данных 12МБит). Кабель для низкоскоростных устройств не требует наличия витой пары для сигнальных проводников или общего экрана. Кабель для полноскоростных устройств имеет витую пару из сигнальных проводников и защитный экран. Он может использоваться как для низкоскоростных так и для полноскоростных устройств.

4.1.6 Интерфейс IEEE-1394 (FireWire)

Самые массовые из устройств, в которых используется интерфейс IEEE-1394, цифровые видеокамеры, требуют скорости передачи данных всего 25 Mbits/s, но ряд периферийных устройств, таких как жесткие диски, сканеры требуют скоростей обмена выше 400 Mbits/s и в конце мая 2001 года был согласован следующий вариант стандарта, IEEE-1394b, предусматривающий повышение скорости передачи данных вдвое, т.е. до 800 Mbits/s.

Название FireWire (огненный провод) принадлежит фирме Apple Computers (IEEE-1394). Некоторые компании придумали собственное зарегистрированное название, например у Sony — iLink. Пока основная сфера применения IEEE-1394 — поддержка обмена данными между компьютером и видеокамерами и видеомагнитофонами DV стандарта.

Технические характеристики

Основные характеристики шины можно свести к следующим показателям:

- скорость передачи данных до 400 Mbits/s по стандарту IEEE-1394a и 800 Mbits/s по стандарту IEEE-1394b, согласованному в 1394 Trade Association в конце мая 2001 года.

- 16-ти разрядный адрес позволяет адресовать до 64К узлов на шине

- предельная теоретическая длина шины 224 метра

- "горячее" подключение/отключение без потери данных

- автоматическое конфигурирование, аналогичное Plug&Play

- произвольная топология шины — по аналогии с локальными сетями может использоваться как "звезда" так и общая шина (только в виде цепочки, в отличие от сети на коаксиальном кабеле)

- никакие терминаторы не требуются

- возможность обмена с гарантированной пропускной способностью, что крайне необходимо для передачи видеоизображений

- максимальное расстояние между двумя устройствами в цепочке по IEEE-1394a — 4.5 м, по IEEE-1394b — 100 м.

Топология шины

Топология IEEE-1394 позволяет как древовидную, так и цепочечную архитектуру, а также комбинацию из того и другого. Поэтому легко строить любые варианты подключения различных устройств к шине. Стандарт предусматривает архитектурное разделение шины на 2 основных блока — кабельная часть и контроллер (контроллеры). Так как контроллеров может быть несколько, эту часть также называют объединительной (backplane — дословно задний план, кросс-плата и т.п.).

Адрес узла на "дереве" 16-ти разрядный, что позволяет адресовать до 64К узлов. К каждому узлу может быть подключено до 16-ти конечных устройств. На объединительной панели (backplane) может быть подключено до 63 узлов к одному мосту (bridge) шины. Так как под идентификатор

номера шины (моста) отведено 10 разрядов, то общее количество узлов и составляет 64К.

Каждый узел обычно предусматривает подключение 3-х устройств, хотя собственно стандарт разрешает подключение до 27 устройств. Устройства могут быть подключены через стандартные кабели длиной до 4.5 метра.

4.1.7 ВОЛС

Оптическое волокно представляет собой диэлектрический волновод, изготовленный из кварцевого стекла. Он имеет световедущую сердцевину с показателем преломления света n_1 , окруженную оболочкой с показателем преломления n_2 , причем $n_1 > n_2$.

Попадая в световедущую сердцевину, свет распространяется в ней за счет эффекта полного внутреннего отражения. Этот эффект имеет место при падении луча света на границу раздела двух сред из среды с большим показателем преломления n_1 в среду с меньшим показателем n_2 , и наблюдается только до определенных значений угла падения $\theta_{кр}$, величина которого определяется различиями n_1 и n_2 (см. рис. 1).

Согласно законам оптики значение $\theta_{кр}$ определяет соотношение

$$\cos \theta_{кр} = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_1}$$

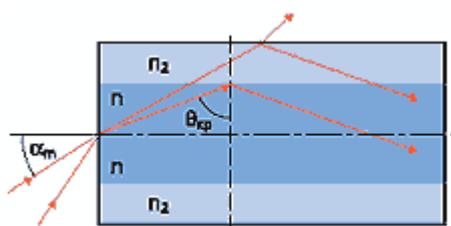


Рис. 1. Угол полного внутреннего отражения и числовая апертура волокна

Обычно свет вводится в волокно через торец. Предельная величина угла падения луча света на торец волокна связана с критическим углом со-

отношением $\sin a_m = n_1 \cos \alpha_{кр} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = (2n \cdot Dn)^{1/2}$, где $n = (n_1 + n_2)/2$, а $Dn = n_1 - n_2$.

Величина $NA = \sin a_m = (2n \cdot Dn)^{1/2}$ называется числовой апертурой волокна и определяет способность волокна собирать и передавать свет. Луч света, введенный в волокно под углом меньшим m , будет распространяться по всей длине волокна. Такой луч называется ведомой модой или просто модой.

Как новая физическая среда для передачи информации оптическое волокно имеет ряд существенных преимуществ, по сравнению с другими, среди которых:

- Широкая полоса частот (до 10¹⁴ Гц) и низкое затухание света в волокне (~ 0,1-0,2 дБ/км) обеспечивают передачу массивов информации с высокими скоростями и на большие расстояния (до сотен километров без регенерации сигнала).
- Кварцевое стекло как среда передачи нечувствительно к электромагнитным полям. Поэтому волокно может прокладываться вместе с силовыми кабелями, без опасности возникновения наведенных помех и ошибок при передаче информации.
- Оптическое волокно пожаровзрывобезопасно, в волоконно-оптических сетях обеспечивается гальваническая развязка между передающим и приемным оборудованием.
- Оптическое волокно, как канал связи, имеет высокую степень защиты от прослушивания и несанкционированного съема информации.
- Волоконно-оптические линии имеют значительно меньшие объем и массу в расчете на единицу передаваемой информации, чем любые другие; исходным сырьем для изготовления волокна является кремний, запасы которого на земле практически неограниченны.

Существует два типа оптических волокон: многомодовые (ММ) и одномодовые (SM), отличающиеся диаметрами световедущей сердцевины.

Многомодовое волокно, в свою очередь, бывает двух типов: со ступенчатым и градиентным профилями показателя преломления по его сечению.

Стандартное одномодовое оптическое волокно имеет диаметр сердцевины 9 мкм и диаметр оболочки 125 мкм (рис. 4).

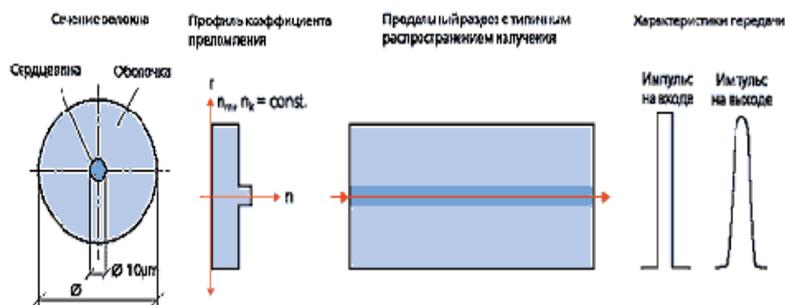


Рис. 4. Одномодовое оптическое волокно

В этом волокне существует и распространяется только одна мода (точнее две вырожденные моды с ортогональными поляризациями), поэтому в нем отсутствует межмодовая дисперсия, что позволяет передавать сигналы на расстояние до 50 км со скоростью до 2,5 Гбит/с и выше без регенерации. Рабочие длины волн $\lambda_1 = 1,31$ мкм и $\lambda_2 = 1,55$ мкм.

Распространение света в волоконном световоде характеризуется множеством параметров, самыми важными из которых являются потери на распространение и дисперсия в заданном спектральном диапазоне. Потери характеризуются величиной затухания световой волны на единицу длины волокна и измеряются в дБ/км.

Методы увеличения пропускной способности волокна

Существует два способа увеличения пропускной способности проложенных оптических кабелей, предусматривающие использование:

- мультиплексора с разделением по длине волны — оптического смесителя, позволяющего пропускать по одному волокну одновременно несколько длин волн. Это мультиплексирование не решает проблему расстояния на гигабитных скоростях, поскольку не влияет на соотношение

пропускная способность/ расстояние. Стоимость оборудования для мультиплексирования сравнима с прокладкой нового кабеля;

- оборудования, увеличивающего полосу пропускания, — специальный тип соединительных кабелей (патч-кордов), позволяющих отбросить некоторые из оптических мод высшего порядка. Это увеличивает затухание и полосу пропускания. Для определения оптимального соотношения затухания и полосы пропускания сначала проводятся примерные расчеты, после чего каждое волокно тестируется.

Многомодовое волокно до сих пор является наилучшей комбинацией цены и производительности в тех случаях, когда рассматривается общая стоимость системы. Преимущество волокон 50/125 — значительный выигрыш в полосе пропускания.

4.1.8 Модемы

Модуляция

В модемах реально используются только три вида модуляции: частотная, фазоразностная и многопозиционная амплитудно-фазовая.

При *частотной* модуляции (FSK — Frequency Shift Keying) значениям "0" и "1" информационного бита соответствуют свои частоты физического сигнала при неизменной амплитуде. Частотная модуляция весьма помехоустойчива, поскольку при помехах искажается в основном амплитуда сигнала, а не частота. При этом достоверность демодуляции, а значит, и помехоустойчивость тем выше, чем больше периодов сигнала попадает в бодовый интервал. Однако увеличение бодового интервала снижает скорость передачи информации. С другой стороны, необходимая для этого вида модуляции ширина спектра сигнала может быть значительно уже всей полосы канала. Этим объясняется область применения FSK — низкоскоростные, но высоконадежные стандарты, позволяющие осуществлять

связь на каналах с большими искажениями АЧХ или даже с усеченной полосой пропускания.

При *фазоразностной* модуляции (DPSK — Differential Phase Shift Keying) в зависимости от значения информационного элемента изменяется фаза сигнала при неизменных амплитуде и частоте. При этом каждому информационному элементу ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения. Если информационный элемент — дибит (двойной бит), то в зависимости от его значения (00, 01, 10 или 11) фаза сигнала может измениться на 90°, 180°, 270° или не измениться вовсе. Из теории информации известно, что фазовая модуляция наиболее информативна, однако если число кодируемых бит выше трех (8 позиций поворота фазы), резко снижается помехоустойчивость. Поэтому на высоких скоростях применяются комбинированные амплитудно-фазовые методы модуляции.

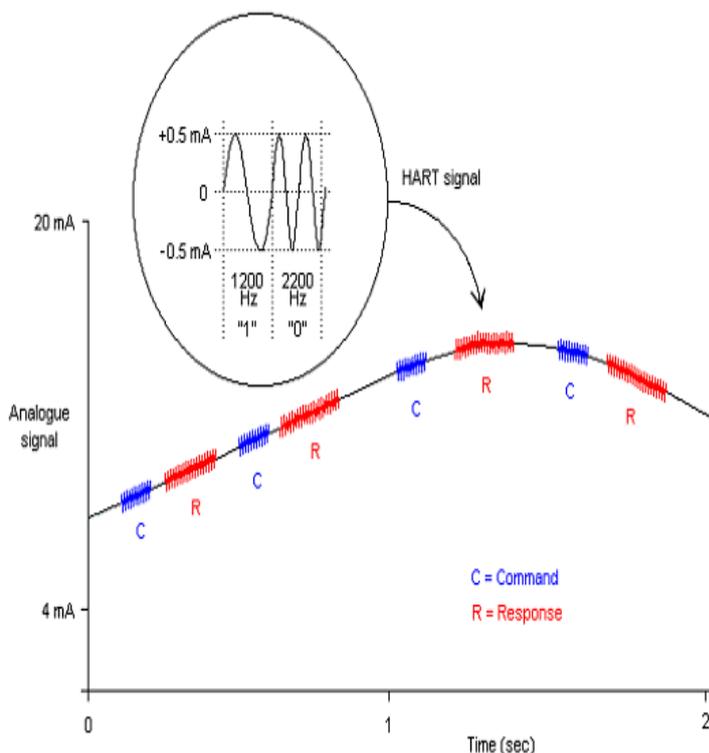
Многопозиционную *амплитудно-фазовую* модуляцию называют еще *квадратурной амплитудной* модуляцией (QAM — Quadrature Amplitude Modulation). Здесь изменяются и фаза, и амплитуда сигнала, что позволяет увеличивать число кодируемых битов. В настоящее время используются модуляции, в которых количество кодируемых на одном бодовом интервале информационных битов может достигать до 8, а число позиций сигнала в сигнальном пространстве соответственно до 256.

Однако применение многоточечной QAM в чистом виде сопряжено с серьезными проблемами, связанными с недостаточной помехоустойчивостью кодирования. Поэтому во всех современных высокоскоростных протоколах используется вариант этого вида модуляции — так называемая модуляция с решетчатым кодированием, или треллис-кодированием (TSM — Trellis Coded Modulation). Она позволяет повысить помехозащищенность передачи информации, снижая тем самым требования к отношению сигнал/шум в канале на 3 — 6 дБ. Суть этого кодирования заключается во

введении избыточности. Пространство сигналов расширяется вдвое путем добавления к информационным битам еще одного, образованного посредством сверточного кодирования над частью информационных битов и введения элементов запаздывания. Расширенная таким образом группа подвергается все той же многопозиционной амплитудно-фазовой модуляции. В процессе демодуляции принятого сигнала производится его декодирование по весьма изощренному алгоритму Виттерби, позволяющему по критерию максимального правдоподобия выбрать из сигнального пространства наиболее достоверную эталонную точку за счет введенной избыточности и знания предыстории, и тем самым определить значения информационных битов.

4.1.9 HART

Основное назначение HART организация цифрового обмена с приборами подключенными с помощью аналоговых (4-20мА) линий. Принцип функционирования показан на рисунке.



Возможно как одноточечное подключение master-slave, так и многоточечное. Скорость — 2-3 обмена данными в секунду.

4.1.10 DTMF

DTMF (Dual Tone Multi Frequency) — термин для обозначения тонального набора. Синонимом этого термина является слово Touchtone (широко не употребляется, т.к. Touchtone является зарегистрированной торговой маркой AT&T). В DTMF при нажатии на клавишу кнопочного телефона раздается звук (тон), который является комбинацией двух тонов, высоко- и низкочастотного. Отсюда и название (Dual — двойственный).

Система сигналов DTMF включает восемь тонов, которые были специально подобраны таким образом, чтобы передаваться через телефонную сеть без затухания и с минимальным воздействием друг на друга. Поскольку эти звуковые сигналы попадают в частотный диапазон человеческого голоса, были дополнительно введены меры для того, чтобы голос не воспринимался как набор. Одна из таких мер — деление тонов на две группы, высоко- и низкочастотную. Ниже приведена таблица DTMF-тонов различных цифр (и управляющих клавиш) кнопочного телефона и соответствующих им пар частот. Один Герц (Гц) — это частота, равная одному колебанию в секунду.

Используя тональный набор, можно легко управлять приложением компьютерной телефонии, отвечая на вопросы системы нажатием клавиш на телефонном аппарате.

Цифра, символ	Низкая частота	Высокая частота
1	697 Гц	1209 Гц
2	697	1336
3	697	1447
4	770	1209
5	770	1336
6	770	1447
7	852	1209
8	852	1336
9	852	1477
0	941	1336
*	941	1209
#	941	1477

4.1.11 Передача данных по электропроводке — X10

X10 определяет метод и протокол передачи управляющих сигналов-команд (включить, выключить, ярче, темнее и т.д.) по силовой электропроводке на электронные модули, к которым подключены управляемые электробытовые и осветительные приборы.

Всего в сеть X10 может быть объединено до 256 групп устройств с разными адресами.

По организации сети X10 все устройства можно разбить на две группы: контроллеры и исполнительные модули.

Контроллеры отвечают за генерацию команд X10 и, помимо ручного кнопочного управления, могут иметь встроенный таймер или специализированное устройство ввода внешнего воздействия (датчик освещенно-

сти, фотоприемник инфракрасного излучения от пульта дистанционного управления и т.д.).

Исполнительный модуль, выполняя команды, передаваемые тем или иным контроллером, управляет коммутацией электропитания бытового или осветительного прибора, играя роль «умного» выключателя.

Конструктивно приборы подразделяются на: ламповые (lamp module) и приборные (appliance module).

Конструктивно **ламповые модули** представляют собой тиристорные регуляторы мощности и обеспечивают, помимо функций включения и выключения, плавную регулировку яркости свечения электроламп (функция диммера, от английского слова dimmer — «реостат», «темнитель»).

Приборные модули оснащены электромагнитным реле для переключения питания и не предназначены для плавной регулировки подаваемой на нагрузку мощности.

С функциональной точки зрения сеть X10 включает следующие компоненты:

- **Передатчики** — позволяют передавать специальные коды команд в формате X10 по электросети. Такими устройствами являются: программируемые таймеры, посылающие сигналы в нужное время; компьютерные модули, выполняющие заданные программы по управлению электроприборами; датчики температуры, освещенности, движения и др., которые при наступлении определенных событий посылают соответствующие сигналы приемникам.

- **Приемники** — принимают команды X10 и выполняют их: включают или выключают свет, регулируют освещенность и т.д. На каждом приемнике имеются селекторы установки его адреса: 16 возможных кодов дома (A — P) и 16 возможных кодов модуля (1 -16), то есть всего 256 различных адресов. Несколько приемников могут иметь тот же адрес, в этом случае они управляются одновременно.

- *Трансиверы* — принимают сигналы от инфракрасных или радио пультов дистанционного управления и передают их в электросеть, преобразовав в формат X10.

- *Пульты ДУ* — обеспечивают дистанционное управление устройствами X10 по ИК или радио каналам. Наиболее удобны универсальные пульты ДУ, с их помощью можно управлять как устройствами X10, так и аудио/ видео аппаратурой.

- *Линейное оборудование* — повторители/ ретрансляторы сигналов, фильтры скачков напряжения или тока, противопомеховые фильтры, блокираторы сигналов. Эти устройства используются для повышения надежности и безотказности системы в целом. Хотя в простых системах возможно достижение прекрасных результатов и без использования этих средств, но всегда лучше подстраховаться.

- *Измерительное оборудование* — используется для измерения уровней полезных сигналов X10 и помех в электросети при выполнении монтажных и пуско-наладочных работ.

Технология передачи сигналов X10

X10 — протокол взаимодействия передатчиков и приемников, путем передачи и приема сигналов по силовым линиям (бытовая сеть электропитания).

Этими сигналами являются ВЧ — импульсы, которые кодируют цифровую информацию.

Импульсы представляют собой пакеты переменного напряжения амплитудой 5В, частотой 120 КГц и длительностью 1 мс, что определяет бинарную единицу (единичный бит); бинарный ноль — отсутствие импульса.

Передача импульсов синхронизирована с переходом переменного тока через нулевой уровень в пределах 200 мкс интервала.

Единичный бит передается в виде трех импульсов с интервалом 3,33 мс (для сети с частотой напряжения 50 Гц), которые соответствуют нулям трех фаз трехфазной электрической сети (рис.1).



Для передачи команды X10 требуется одиннадцать циклов (периодов) силового напряжения.

Первые два цикла передают *стартовый код*, следующие четыре цикла представляют *код дома* (с А по Р) и последние пять циклов передают *код прибора* (с 1 по 16) или *код функции* (ВКЛ, ВЫКЛ и т.д.), т.е. *ключевой код*.

Этот *полный код* (*стартовый код* + *код дома* + *ключевой код*) всегда передается дважды непрерывным блоком. Между блоками разных команд всегда должен быть перерыв в три цикла силового напряжения. Исключением из этого правила являются блоки команд ЯРЧЕ/ТЕМНЕЕ, которые передаются последовательно (минимум два блока) без задержек (рис. 2).

Недостатки протокола X10 и борьба с ними

1 Низкая скорость передачи информации

Передача импульсов синхронизирована с переходом через ноль напряжения электросети, например, команда «ВКЛ», содержащая 94 бита,

займет 47 циклов силового напряжения или 0,94 сек. (почти секунда!). Но если после этого послать команду «ВЫКЛ» на этот же модуль, то она выполнится в два раза быстрее, т.к. не надо передавать код устройства.

2 Низкая помехозащищенность

X10 использует амплитудную модуляцию, поэтому помехи в электросети легко могут «забить» полезный сигнал.

Основные источники помех в электросети — электродвигатели (холодильник, стиральная машина, электродрель и т.п.) и приборы с тиристорными регуляторами (кроме устройств X10).

Помехоподавляющие конденсаторы электробытовых приборов также могут фильтровать высокочастотный 120КГц сигнал X10.

Для преодоления проблем с помехозащищенностью необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- устанавливать фильтры на вводе в объект;
- все устройства, могущие создать помехи в электросети (электродвигатели; устройства, содержащие тиристорные регуляторы, кроме X10) включать в сеть только через дополнительные фильтры ;
- по возможности избегать кратковременных (длительностью менее 20 сек) отключений напряжения электросети;
- электросварочные и подобные работы производить от фаз, к которым не подключены устройства X10.
- Без выполнения этих рекомендаций сеть X10 тоже работать будет, но иногда возможны неожиданные неприятные эффекты.

3 Проблема ложного срабатывания

Ложные срабатывания от помех в электросети, вызванных бытовыми электроприборами маловероятны. Более вероятны ложные срабатывания, если, например, два устройства X10 одновременно подают в электрическую сеть свои управляющие сигналы. Так как проблема «столкновений» в протоколе X10 практически никак не решена, то такие ситуации

возможны. Хотя вероятность таких коллизий и мала (длительность одной посылки управляющих сигналов порядка одной секунды), но ненулевая.

Такие ситуации возможны, и уменьшать их вероятность путем организационных, а не технических решений.

4 Отсутствие обратной связи приемника с передатчиком

В X10 нет сигналов квитирования (квитков), которые бы подтверждали принятие и исполнение приемниками команд от передатчиков. Хотя команды повторяются дважды, существует вероятность того, что если помехи электросети «съедят» сигнал, то ожидаемого действия не произойдет. В современных модулях существует возможность запрашивать статус модуля, тем самым контролировать выполнение команд.

5 Возможны конфликты устройств X10 разных производителей

Изначальное несовершенство протокола X10 потребовало внесения в него различных дополнений. Одно из таких дополнений — *extended codes* (расширенные или дополнительные коды). В силу того, что каждый производитель разрабатывал эти коды самостоятельно, устройства разных фирм-изготовителей не всегда корректно ретранслируют и выполняют управляющие сигналы, передаваемые устройствами других фирм. Вывод очевиден.

6 Возможен несанкционированный доступ к устройствам X10 по электросети

Если в двух соседних квартирах, использующих одну и ту же фазу осветительной сети, используются устройства X10, то, естественно, возникает вопрос о том, как избежать попадания управляющих сигналов X10 из одной квартиры через электрическую сеть в другую квартиру.

Безусловно, такая задача типична для случаев применения устройств X10, и в силу этого, она решена путем создания отдельного устройства. Так как управляющие сигналы передаются по электрической сети на частоте порядка 120 кГц, отличающейся от основной частоты сети (50 Гц)

на три порядка, то посредством фильтрации они могут быть легко подавлены. Такая фильтрация выполняется штатными устройствами X10 — фильтрами. Фильтр устанавливается на вводе электрической сети в жилое помещение (там, где в России принято устанавливать электрические автоматы после электросчетчика). Поскольку «атака» через электросеть с физической точки зрения эквивалентна созданию взаимных помех между соседними квартирами, то FD10 полностью решит вопрос отражения подобной «атаки».

7 Возможна внешняя атака на домашнюю сеть X10 посредством «чужого» радиопульта

Протокол X10 не предусматривает никакой системы паролей и предполагает совместимость любого передатчика управляющих сигналов с любым приемником (исполнительным устройством).

Таким образом, технически возможен умышленный или неумышленный несанкционированный доступ по радиоканалу к устройствам X10.

Диапазоны частот 310 МГц и 433 МГц, применяемые в радиоканалах X10, широко используются в системах охранно-пожарных сигнализаций, в автомобильных сигнализациях и т.п.

Рабочие частоты передатчика и приемника не стабилизированы, а определяются настройкой LC-контуров. Это облегчает достижение совместимости любого передатчика управляющих сигналов с любым приемником (исполнительным устройством). Одновременно с этим облегчается и задача «атакующим» — нет необходимости в точном подборе частоты передатчика, применяемого для «атаки».

Возможны как минимум два варианта «атаки» на устройства X10 посредством радиоканала:

- Подача извне дома нежелательных команд управления.

- Передача извне радиочастотных помех, препятствующих правильной работе радиоканала X10 между передатчиками управляющих сигналов и приемниками (исполнительными устройствами).

Каким образом можно уменьшить вероятность эффективной «атаки» по радиоканалу?

Только за счет уменьшения эффективной чувствительности радиоприемника X10 (например, путем расположения его как можно дальше от периметра домашней территории — вблизи ее геометрического центра; для случая коттеджа — в том месте строения, которое ближе всего к геометрическому центру участка).

Кроме того, если потенциальная угроза атаки по радиоканалу рассматривается как неприемлемая, то можно отказаться от радиопультов и использовать только инфракрасные пульты управления.

4.2 Беспроводные сети

Человеческий голос содержит частоты вплоть до 8 КГц. Очень низкие частоты как правило отсутствуют, основная информация содержится в диапазоне 100 — 400 Гц. Верхние частоты дают "характер" голосу.

Предоставление полосы частот в технике связи вещь весьма дорогая и должен быть достигнут компромисс между качеством голоса, который требует широкой полосы и ценой, которая требует снижения полосы. Номинальной полосой разговорной цепи, т.е. полосой частот передаваемой удовлетворительно, является полоса шириной 3,1 КГц в диапазоне от 300 до 3400 Гц.

4.2.1 Радиомодемы на 434МГц

Радиомодем "Спектр 9600GM" представляет собой функционально и конструктивно законченное устройство для приема /передачи данных и голоса по радиоканалам (расстояние между соседними радиоканалами 25 кГц) в диапазоне частот 401-469 МГц (с разбивкой на поддиапазоны). Об-

мен данными в радиоэфире осуществляется в одно- или двухчастотном полудуплексном режиме со скоростью 9600 или 4800 бод. Выходная мощность передатчика радиомодема регулируется и составляет 3,0 или 0,5 Вт; при соответствующем выборе антенн и их расположении это достаточно для организации радиосвязи на расстоянии около 10-20 км в условиях прямой видимости и до 5-10 км в городе, а при необходимости покрытия больших расстояний можно воспользоваться возможностью радиомодема работать в качестве ретранслятора.

Радиомодем может работать в нескольких режимах (прозрачный, пакетный, ретранслятор и др.) с развитой системой адресации, позволяя пользователю максимально гибко использовать его при построении различных конфигураций сетей беспроводной передачи данных: точка — точка, точка — много точек, точка — много точек с базовой станцией и их комбинации.

Обмен данными с источником (получателем) информации осуществляется по последовательному порту RS 232 с аппаратным управлением потоком данных (линии CTS и RTS). Входные /выходные потоки буферизируются (размер буфера — до 8 К).

Кроме обмена данными радиомодем может использоваться и как обычная "голосовая" радиостанция без утраты своих основных функций — для этого к нему подключается внешнее устройство ("тангента") с микрофоном и громкоговорителем.

Параметры, необходимые для конфигурации радиомодема — скорость обмена в эфире, параметры модуляции, параметры и состав пакетов данных, включение /выключение помехоустойчивого кодирования и перемежения, установки последовательного порта, адресация, режимы работы радиомодема, частоты 10-ти радиоканалов (независимые частоты приема и передачи в каждом канале) и другие установки — задаются программированием в командном режиме с помощью команд диалогового текстового

интерфейса, подаваемых по последовательному порту, и хранятся в энергонезависимой памяти радиостанции.

Для программирования можно пользоваться любой терминальной программой для персонального компьютера.

Радиомодем имеет встроенный высокоэффективный (~80% КПД) преобразователь напряжения с диапазоном входного напряжения от 10 до 50 В.

Радиомодем поставляется в двух вариантах по степени защиты: IP40 и IP65. Радиомодем может комплектоваться модулем голосовой связи (тангентой).

Основные технические характеристики радиомодема

Напряжение питания:	10...50 В
Потребляемый ток при 12В в режиме "прием":	130 мА
Потребляемый ток при 12В в режиме "передача" при максимальной мощности:	не более 1,5 А
Диапазон рабочих температур:	от — 25 до + 50 градусов С
Габаритные размеры:	235x108x34мм
Диапазоны рабочих частот:	401-406 / 412-427 / 433-447 / 450-469 МГц
Шаг сетки частот:	25 кГц
Стабильность частоты передатчика в диапазоне рабочих температур:	не более $\pm 2,5$ кГц
Мощность на согласованной нагрузке 50 Ом в рабочем диапазоне частот:	регулируемая 0.5/3.0 Вт

Чувствительность приемника изделия в нормальных климатических условиях при коэффициенте ошибки на бит (BER) 10 ⁻² :	не более 0,35 мкВ
Избирательность приемника:	не менее 70 дБ
Вид связи:	полудуплекс
Тип модуляции выходного сигнала:	GMSK (BT=0,3 или 0,5)
Скорость обмена информацией по эфиру:	4800 или 9600 бод
Интерфейс для связи с DTE:	RS232
Скорость обмена данными бод:	1200, 2400, 4800, 9600 или 19200
Формат данных:	8 бит данных, 1 стоповыйбит
Контроль потока данных:	аппаратный (CTS/RTS)
Уровни сигналов:	RS232
Размер информационного слова:	7 или 8 бит
Способы обнаружения и исправления ошибок:	CRC8 на 32 байта (12,8) код Хэмминга (FEC) перемежение прозрачный пакетный в сторону DTE пакетный со стороны DTE командный
Режимы работы станции:	командный
Разъем для подключения антенны:	N — типа ("мама") состояние буфера для передачи данных прием/передача настройка на частоту обнаружение несущей (RSSI)
Органы индикации:	

4.2.2 GSM/GPRS (900МГц, 1800МГц)

GSM

В соответствии с рекомендацией СЕРТ 1980 г., касающейся использования спектра частот подвижной связи в диапазоне частот 862-960 МГц, стандарт GSM на цифровую общеевропейскую (глобальную) сотовую систему наземной подвижной связи предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот: 890-915 МГц (для передатчиков подвижных станций — MS), 935-960 МГц (для передатчиков базовых станций — BTS) [1.1, 1.2].

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (NB TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих.

Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных станций достигается медленным переключением рабочих частот (SFH) в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду.

Для борьбы с интерференционными замираниями принимаемых сигналов, вызванными многолучевым распространением радиоволн в условиях города, в аппаратуре связи используются эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс.

Система синхронизации рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует максимальной дальности связи или максимальному радиусу ячейки (соты) 35 км.

В стандарте GSM выбрана гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Обработка речи осуществляет-

ся в рамках принятой системы прерывистой передачи речи (DTX), которая обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора. В качестве речепреобразующего устройства выбран речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением/долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTR-LTP-кодек). Общая скорость преобразования речевого сигнала — 13 кбит/с.

В стандарте GSM достигается высокая степень безопасности передачи сообщений; осуществляется шифрование сообщений по алгоритму шифрования с открытым ключом (RSA).

В целом система связи, действующая в стандарте GSM, рассчитана на ее использование в различных сферах. Она предоставляет пользователям широкий диапазон услуг и возможность применять разнообразное оборудование для передачи речевых сообщений и данных, вызывных и аварийных сигналов; подключаться к телефонным сетям общего пользования (PSTN), сетям передачи данных (PDN) и цифровым сетям с интеграцией служб (ISDN).

Основные характеристики стандарта GSM

Частоты передачи подвижной станции и приема базовой станции, МГц	890-915
Частоты приема подвижной станции и передачи базовой станции, МГц	935-960
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45
Скорость передачи сообщений в радиоканале, кбит/с	270, 833
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13
Ширина полосы канала связи, кГц	200
Максимальное количество каналов связи	124
Максимальное количество каналов, организуемых в базовой	16-20

станции	
Вид модуляции	GMSK
Индекс модуляции	BT 0,3
Ширина полосы предмодуляционного гауссовского фильтра, кГц	81,2
Количество скачков по частоте в секунду	217
Временное разнесение в интервалах TDMA кадра (передача/прием) для подвижной станции	2
Вид речевого кодека	RPE/LTP
Максимальный радиус соты, км	до 35

Стандарт GSM является цифровым и обеспечивает высокое качество и конфиденциальность связи и предоставляет абонентам большой набор услуг: автоматический роуминг, прием/передача данных, SMS-сервис, голосовая и факсимильная почта. Основные недостатки стандарта: искажение голоса при цифровой обработке и передаче его по радиоканалу, небольшой радиус действия базовой станции, GSM телефон не может работать при расстоянии от базовой станции в 35 км.

Диапазон частот, в котором работает GSM-900: 890—915 МГц — для связи от телефона к базовой станции, 935—960 МГц — для связи от базовой станции к телефону. Для стандарта GSM-1800: 1710—1785 МГц и 1805—1880 МГц соответственно. Шаг сетки каналов — 200 КГц, максимальная емкость одной базовой станции — 992 абонента. Мощность передатчиков абонентских устройств GSM-900 около 2 Вт, GSM-1800 — 1 Вт.

GPRS

GPRS (General Packet Radio Service — радио сервис с пакетной передачей данных) — это надстройка над технологией мобильной связи GSM, позволяющая осуществлять пакетную передачу данных.

GPRS дает возможность постоянного — "always on" — соединения. Данный сервис обеспечивает также реальную пропускную способность

свыше 40 кбит/с — это примерно те же скорости, что и в случае хороших наземных соединений через модем. В целом, GPRS является очередной ступенью от GSM к сотовым сетям третьего поколения — 3G. GPRS предлагает более быструю передачу данных через сети GSM со скоростями от 9,6 до 115 кбит/с (теоретически, максимальная скорость составляет 171,2 Кбит/с). Эта технология создает пользователям возможность производить телефонные звонки и передавать данные одновременно. (Например, можно одновременно разговаривать по телефону и просматривать web-страницы или принимать электронную почту)

4.2.3 Bluetooth (2,4ГГц)

Оборудование для беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11b, Bluetooth использует радиочастоты 2400-2483,5 МГц. Этот диапазон, именуемый ISM (Industrial, Scientific, Medicine — промышленный, научный и медицинский), используется во многих странах для безлицензионного доступа. В технологии Bluetooth весь диапазон разбит на 78 каналов шириной 1 МГц каждый. В верхней и нижней частях диапазона предусмотрены защитные неиспользуемые полосы шириной 3,5 и 2 МГц соответственно.

В некоторых странах, например во Франции, диапазон ISM значительно уже. Для них предусмотрен иной алгоритм смены каналов, и устройства, использующие различные алгоритмы, совместно работать не могут.

По выходной мощности все устройства делятся на три класса: первый класс — до 100 мВт, второй — до 2,5 мВт, и третий — до 1 мВт. Лимитирована только верхняя граница, так как устройства могут автоматически снижать мощность, если она является избыточной.

Для передачи данных используется гауссова фазовая модуляция, которая предусматривает изменение частоты несущей во времени в соот-

ветствии с гауссовой кривой, что позволяет ограничить спектр излучаемого сигнала.

Обмен данными осуществляется внутри временных интервалов (слотов) длиной 625 мкс. После передачи каждого слота производится переход на другой частотный канал. В плане канального уровня модели OSI обмен данными происходит при помощи пакетов, каждый из которых может иметь длину от одного до пяти слотов. Физическая скорость передачи составляет 1 Мбит/с.

Часть слотов можно зарезервировать для синхронных каналов (передача голоса), а всего протоколом предусмотрено до трех синхронных каналов со скоростью 64 Кбит/с. Параллельно с синхронными данными могут передаваться и асинхронные.

Для организации дуплексной связи используется метод временного мультиплексирования, то есть в одном временном слоте передает одно устройство, а в следующем — другое. При симметричной организации обмена асинхронными данными максимальная скорость составляет 433,9 Кбит/с в каждую сторону. Максимальная скорость обмена достигается при асимметричном обмене и составляет 723,2 Кбит/с в одну сторону и 57,6 Кбит/с — в другую.

Согласно стандарту, для обособления функций оборудование Bluetooth разбивается на три части, приблизительно соответствующие физическому и канальному уровню модели OSI: приемопередающее устройство (radio unit), устройство управления доступом (link control unit) и устройство управления каналом и связи с вышестоящим уровнем.



Рис. 2. Варианты топологии сетей Bluetooth

Bluetooth служит главным образом для организации каналов связи типа «точка-точка», однако возможна также и организация типа «точка-многоточка». В любом случае одно из устройств является ведущим (master), а все остальные — ведомыми (slave). Образованная таким образом структура называется пикосеть (piconet). В одной такой сети могут участвовать одно ведущее устройство и до семи ведомых. Дополнительно в пикосети могут присутствовать и другие устройства, которые называются блокированными (parked) и не участвуют в обмене данными, но находятся в синхронизации с ведущим устройством.

Несколько пикосетей, связанных друг с другом, образуют структуру, именуемую распределенной сетью (scatternet). В распределенной сети у одного ведомого устройства могут быть несколько ведущих. Устройство, являющееся ведущим в одной пикосети, может быть ведомым в другой. Пикосети, принадлежащие к одной распределенной сети, не синхронизированы друг с другом и работают каждая на своем частотном канале.

Канал связи представляет собой сетку частот, на каждой из которых может производиться обмен данными. Всего таких частот 79 или 23, а выбор частот для обмена производится на основе псевдослучайной последовательности. Такая последовательность генерируется на основе уникального адреса ведущего устройства и имеет длину 227. Номинальная скорость переключения с частоты на частоту составляет 1600 раз в секунду, и таким образом последовательность повторяется каждые 23,3 ч.

Для двунаправленной передачи данных используется схема временного разделения. Ведущее устройство должно начинать передачу пакета только в четных временных интервалах, а ведомое — в нечетных. Частота должна оставаться неизменной в течение передачи всего пакета. Если пакет занимает больше одного временного интервала (до пяти), то частота не меняется на протяжении всего пакета.

В технологии Bluetooth предусмотрены два вида связи: синхронная с установлением соединения (Synchronous Connection-Oriented, SCO) и асинхронная без установления соединения (Asynchronous Connection-Less, ACL). В первом случае речь идет о канале «точка-точка» между ведущим и ведомыми устройствами. Мастер поддерживает этот вид связи путем использования зарезервированных временных интервалов. Во втором случае используется связь типа «точка-многоточка» между ведущим устройством и всеми ведомыми в пикосети, при этом могут быть задействованы свободные (незарезервированные) временные интервалы.

Соединения типа SCO обычно используются для передачи данных, например голоса, в режиме реального времени. Всего ведущее устройство может поддерживать до трех соединений SCO с одним или несколькими ведомыми. Ведомое устройство способно поддерживать три соединения SCO с одним ведущим или два с двумя ведущими (по одному с каждым). Пакеты SCO никогда не передаются повторно, даже если при приеме были выявлены ошибки. Ведущее устройство посылает пакеты SCO через регулярные интервалы времени (TSCO), исчисляемые во временных интервалах (slot). Ведомое устройство обязательно должно отослать свой пакет SCO в следующем временном интервале при любых условиях.

В тех временных интервалах, которые не зарезервированы для синхронных соединений, ведущее и ведомое устройства могут обмениваться данными через соединение ACL — соединение с коммутацией пакетов между ведущим и всеми ведомыми устройствами в пикосети. Здесь под-

держиваются как изохронные, так и асинхронные соединения. Между ведущим и каждым из ведомых устройств может существовать только один канал ACL. При обнаружении ошибок для большинства пакетов происходит повторная передача. Ведомое устройство может послать ответный пакет только тогда, когда пакет был адресован именно ему.

Пакет состоит из трех полей: кода доступа (access code), заголовка (header) и данных (payload). Размер первых двух полей фиксирован и составляет 72 или 68 бит и 54 бита соответственно. Информация в коде доступа имеет двойную защиту: во-первых, применяется код Хэмминга, а во-вторых, над полученным сочетанием «данные + код» прodelывается процедура коррекции ошибок с опережением (Forward Error Correction, FEC) с избыточностью равной 3. Полная длина кода доступа (вместе с избыточностью) составляет 72 бита, если за ним следует заголовок, и 68 бит в противном случае. Короткие пакеты, состоящие только из кодов доступа, используются для служебных целей, например при установлении соединения.

Заголовок содержит информацию о типе и длине пакета (о количестве временных интервалов, которые он занимает: один, три и пять) и другую служебную информацию. Коррекция ошибок производится так же, как и для кода доступа.

Длина поля данных может составлять от нуля до 2745 бит. В зависимости от типа пакета в поле данных могут размещаться либо голосовые данные длиной 80 или 240 бит, либо произвольная информация. Предусмотрена также возможность совместного размещения голосовых и неголосовых данных. Поле данных состоит из заголовка, собственно данных и 16-битного кода CRC. Данные могут быть защищены двумя способами: повторной передачей при наличии ошибок CRC и/или кодом Хэмминга с избыточностью 50%. Для голосовых данных может также применяться ко-

дирование с избыточностью 3. Перед передачей заголовков и данные подвергаются процедуре перемешивания для выравнивания спектра.

Установление соединения между двумя устройствами происходит в два этапа: первый, «Опрос» (Inquiry), выясняет, какие устройства находятся в радиусе действия и каковы их адреса, и второй, «Персональный Вызов» (Page), устанавливает связь с конкретным устройством. Все процедуры опроса и вызова выполняются только ведущим устройством.

Для первоначальной процедуры установления связи используются короткие пакеты длиной 68 бит, а скорость переключения частот увеличивается вдвое (до 3200 раз в секунду). После получения ответа происходят синхронизация схем переключения частот (ведомое устройство получает ее от ведущего) и обмен пробными пакетами, и тогда соединение считается установленным.

На одном и том же пространстве могут располагаться несколько пикосетей. В каждой из них имеется свое ведущее устройство, поэтому они имеют различные независимые схемы переключения частот. Чем больше пикосетей расположено на одной площадке, тем выше вероятность столкновений и, следовательно, снижения производительности.

Если несколько пикосетей расположены на одной и той же площади, то они могут быть объединены в распределенную сеть. Объединение происходит на основе временного мультиплексирования, то есть одновременно в двух пикосетях никакое устройство работать не может. Для перехода из одной пикосети в другую устройство должно поменять схему смены частот. При этом одно и то же устройство может быть ведущим в «своей» пикосети и ведомым в «чужой». При подключении новых устройств допускается смена роли устройства — с ведущего на ведомого, вследствие чего ассоциированная с ним пикосеть разваливается и ее приходится собирать вновь под управлением нового ведущего устройства. Поскольку пикосети, объединенные в распределенную сеть, используют разные схемы

смены частот, то производительность каждой из них не снижается, однако возрастает вероятность возникновения взаимных помех.

В отличие от многих других беспроводных технологий, Bluetooth не претендует на самостоятельность, а вместо этого эмулирует уже известные приложения протоколы, в основном такие, как RS-232, USB и IrDA.

4.2.4 IrDA

Infrared Data Association — Канал передачи данных состоит из двух основных элементов: микросхемы, обеспечивающей модуляцию и демодуляцию поступающего двоичного сигнала согласно определенного алгоритма, и инфракрасного (ИК-) приемно-передающего модуля.

SIR-стандарт, обеспечивающий скорость передачи информации 115,2kb/s. В данном стандарте используется так называемая модуляция "3/16". Принцип данного вида модуляции проиллюстрирован на рис.2. Длительность импульса, подаваемого на приемно-передающий модуль равна 3/16 от длительности номинального бита данных. Кроме того, при SIR-модуляции используется инверсия бита данных. Эти преобразования обеспечиваются первым основным элементом схемы — модулирующей микросхемой. В зависимости от используемого интерфейса (шины данных) применяются различного рода чипы.

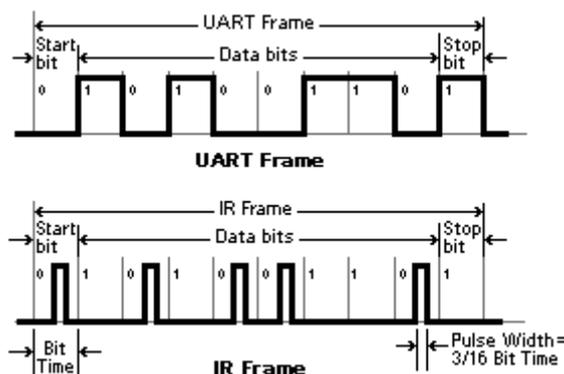


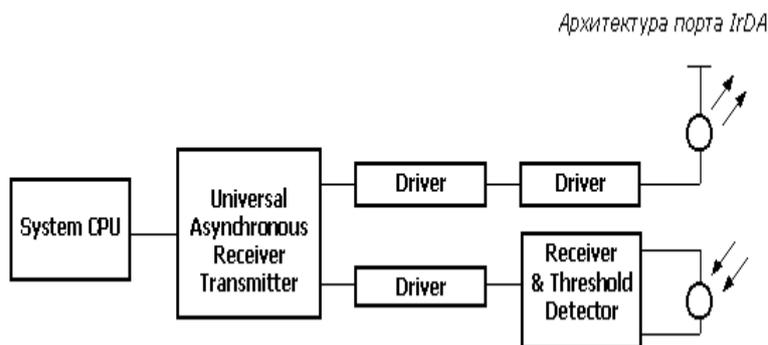
Рис.2 Принцип модуляции "3/16", используемый в SIR-стандарте.

так, протокол IrDA (Infra red Data Assotiation) позволяет соединяться с периферийным оборудованием без кабеля при помощи ИК-излучения с длиной волны 880nm. Порт IrDA позволяет устанавливать связь на коротком расстоянии до 1 метра в режиме точка-точка. IrDA намерено не пытаться создавать локальную сеть на основе ИК-излучения, поскольку сетевые интерфейсы очень сложны и требуют большой мощности, а в цели IrDA входили низкое потребление и экономичность. Интерфейс IrDA использует узкий ИК-диапазон (850–900 nm с 880nm "пиком") с малой мощностью потребления, что позволяет создать недорогую аппаратуру и не требует сертификации FCC (Федеральной Комиссии по Связи).

Устройство инфракрасного интерфейса подразделяется на два основных блока: преобразователь (модули приемника-детектора и диода с управляющей электроникой) и кодер-декодер. Блоки обмениваются данными по электрическому интерфейсу, в котором в том же виде транслируются через оптическое соединение, за исключением того, что здесь они пакуются в кадры простого формата — данные передаются 10bit символами, с 8bit данных, одним старт-битом в начале и одним стоп-битом в конце данных.

Сам порт IrDA основан на архитектуре коммуникационного COM-порта ПК, который использует универсальный асинхронный приемопередатчик UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) и работает со скоростью передачи данных 2400–115200 bps.

Связь в IrDA полудуплексная, т.к. передаваемый ИК-луч неизбежно засвечивает соседний PIN-диодный усилитель приемника. Воздушный промежуток между устройствами позволяет принять ИК-энергию только от одного источника в данный момент.



Рассмотрим физические основы IrDA. Передающую часть. Байт, который требуется передать, посылается в блок UART из CPU командой записи ввода-вывода. UART добавляет старт-стоп биты и передает символ последовательно, начиная с младшего значения бита. Стандарт IrDA требует, чтобы все последовательные биты кодировались таким образом: логический "0" передается одиночным ИК-импульсом длиной от 1.6m s до 3/16 периода передачи битовой ячейки, а логическая "1" передается как отсутствие ИК-импульса. Минимальная мощность потребления гарантируется при фиксированной длине импульса 1.6m s.

По окончании кодирования битов необходимо возбудить один или несколько ИК-светодиодов током соответствующего уровня, чтобы выработать ИК-импульс требуемой интенсивности. Стандарт IrDA требует, чтобы интенсивность излучения в конусе $\pm 30^\circ$ была в диапазоне 40–50 m W/Sr, причем ИК-светодиод должен иметь длину волны 880nm, как уже отмечалось ранее. Радиальная чувствительность приемника и длины связи диктуются, исходя из требований самой спецификации IrDA.

Приемная часть. Переданные ИК-импульсы поступают на PIN-диод, преобразующий импульсы света в токовые импульсы, которые усиливаются, фильтруются и сравниваются с пороговым уровнем для преобразования в логические уровни. ИК-импульс в активном состоянии генерирует "0", при отсутствии света генерируется логическая "1". Протокол IrDA требует, чтобы приемник точно улавливал ИК-импульсы мощностью от 4m W/sm² до 500mW/sm² в угловом диапазоне $\pm 15^\circ$.

Для ИК-излучения существует два источника интерференции (помех), основным из которых является солнечный свет, но к счастью в нем преобладает постоянная составляющая. Правильно спроектированные приемники должны компенсировать большие постоянные токи через PIN-диод. Другой источник помех — флуорисцентные лампы — часто применяются для общего освещения. Хорошо спроектированные приемники должны иметь полосовой фильтр для снижения влияния таких источников помех. Вероятность ошибок связи будет зависеть от правильного выбора мощности передатчика и чувствительности приемника. В IrDA выбраны значения, гарантирующие, что описанные выше помехи не будут влиять на качество связи.

Стандарт IrDA включает в себя стек протоколов трех согласованных обязательных уровней: IrPL (Physical Layer), IrLAP (Link Access Protocol) и IrLMP (Link Management Protocol).

Физический уровень (Physical Layer). Спецификация этого протокола устанавливает стандарты для Ir-трансиверов, методов модуляции и схемы кодирования/декодирования, а также ряд физических параметров. Стандарт предусматривает использование длины волны в диапазоне 850–900 nm. Минимальная и максимальная интенсивность передатчика (как уже говорилось) составляет 40–50 m W/Sr соответственно внутри 30° конуса. Для стандарта IrDA (скорость передачи данных 115.2Kbps) схема кодирования аналогична используемой в традиционной UART: бит старта ("0") и стоп-бит ("1") добавляются перед и после каждого байта соответственно. Но вместо схемы NZR (Non-Return to Zero) используется кодировка, подобная RZ (Return to Zero), т.е. двоичный "0" кодируется единичным импульсом, а "1" — его отсутствием. Кадры отделяются друг от друга байтами Escape-последовательности, содержащимися в теле самого кадра. Для определения ошибок (EDt — Error Detection) используется 16bit циклическая контрольная сумма. Например, уже в стандарте IrDA 1.1 для протоко-

ла обмена 1.152Mbps (синхронизация выполняется как в протоколе HDLP — High-level Data Link Protocol высокого уровня) и 4Mbps (использование 4-PPM — Pulse-Phase Modulation) старт-бит и стоп-бит не применяются. Так, фреймы, получаемые от более высокоуровневого протокола IrLAP, вкладываются в поле данных фреймов SIR, согласно используемому методу кодирования. Стандарт не содержит обязательных вариантов реализации этой процедуры и допускает варьирование алгоритмов в зависимости от возможностей конкретного оборудования. В зависимости от скорости соединения предлагаются методы кодирования: асинхронный (ASYNC, 9600–115200 bps), синхронный (HDLC, 0.576–1.152 Mbps) и 4-PPM (4Mbps)

4.2.5 GPS

GPS (Global Positioning System) -- это спутниковая система для высокоточного определения координат статичных и движущихся объектов. Разработана она и обслуживается Министерством обороны США, также известна у военных под кодовым названием NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging).

Проект запущен в 1978 г. и вышел на запланированную мощность в 1994-м, получив высокие оценки военных во время войны в Заливе (особенно им были довольны группы специального назначения, уходившие из-под огневых налетов собственной артиллерии и авиации).

Система GPS в целом состоит из трех сегментов -- космического, управляющего и пользовательского. К первому относятся 24 спутника, запущенных по шести различным орбитам таким образом, чтобы из любой точки земной поверхности были видны от четырех до двенадцати таких спутников. Срок службы каждого из них составляет 10 лет, их заменяют по мере выхода из строя. В управляющий (спутниками) сегмент GPS входят 5 контрольных центров (включая мастер-центр), дислоцированных на аме-

риканских военных базах. И нетрудно догадаться, что к пользовательскому сегменту относятся десятки и сотни тысяч персональных GPS-приемников, которые продаются в виде автономных устройств, модулей расширения к портативным компьютерам или же встраиваются в определенные виды оборудования.

Приемник системы GPS представляет собой крошечный узкоспециализированный компьютер, способный вычислять свое местоположение по радиосигналам, принимаемым со спутника. И чем больше спутников может отслеживать такой приемник одновременно и чем больше разнесены эти спутники на небесной полусфере, тем быстрее пойдет процесс вычисления координат и тем более точными могут быть его показания. Способность приемника обрабатывать сигналы от нескольких спутников определяется числом его *каналов*, в современных устройствах их почти всегда 12. А для отслеживания спутников нужно быть под открытым небом — в помещении под крышей или в тесном окружении высотных домов антенна приемника фактически беспомощна. Кстати, именно поэтому комплект для использования в транспортных средствах чаще всего снабжается внешней антенной, которая крепится снаружи, а многие модели GPS оснащены MMCX-штекером для их подключения. Встроенная антенна приемника обычно работает по узкой диаграмме направленности (patch-антенны), но ряд производителей освоил выпуск приемников с антеннами, которые имеют широкую диаграмму (multi-directional). Облачность влияния на сигнал не оказывает, стекло и пластик -- тоже не помеха, поэтому GPS-приемник может спокойно пеленговать спутники с застекленного балкона, но при особо "удачном" выборе места и времени сигналы со спутников может блокировать даже... собственно владелец приемника!

Процесс определения координат GPS-приемником выглядит примерно так. При включении устройства после достаточно длительного перерыва приемник начинает принимать сигналы со спутников и тем самым

определять, какие из них сейчас доступны из этой локации. Такое состояние приемника называется "*холодным стартом*", а группу запеленгованных спутников часто именуют "*альманахом*". После выключения приемник некоторое время держит в памяти последний альманах и в случае повторного включения после кратковременного перерыва время пеленга существенно возрастает (имеет место "*теплый старт*"), а если перерыв был совсем кратким, то это "*горячий старт*". Термин TTFF (Time To First Fix), коим часто пользуются при описании этого этапа работы, как раз и означает время, необходимое для захвата того минимального числа спутников, которого достаточно для дальнейших вычислений, и оно указывается отдельно для холодного (обычно 1--2 минуты), теплого (до минуты) и горячего (до десяти секунд) старта.

Сами сигналы со спутников бывают двух видов (L1 и L2), все GPS гражданского назначения используют частоту L1=1575,42 МГц. Содержит такой сигнал, согласно текущей версии 2.2 стандарта NMEA 0183, три составляющие: псевдослучайный код (идентификатор спутника), собственно данные в формате GGA (статус готовности спутника, дата и время) и позиции всех спутников в течение дня в форматах GSA (Global Satellites Active -- активные спутники), GSV (Global Satellites in View -- спутники в зоне видимости) и RMC (Recommended Minimum speCific data -- служебные данные о них). В рамках стандарта NMEA оговорены также дополнительные форматы -- GLL и VTG, имеющие ограниченное применение, например, VTG используется только при работе с оборудованием фирмы Garmin -- лидера на рынке классических (не компьютерных) GPS-приемников. Кроме того, способами обмена могут быть двоичный SiRF-код, управляющие коды формата Trimble Standard Interface Protocol (TSIP) и некоторые другие -- они указываются в описаниях после NMEA .

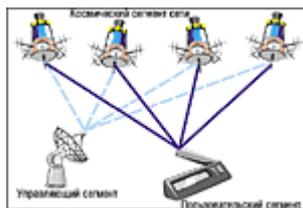


Рис. 1. Схема организации системы GPS

Итак, наш GPS-приемник, получив со спутников точное время отправки сигнала (на них установлены атомные часы), по фактической задержке прохождения сигналов вычисляет физические расстояния до спутников (скорость распространения радиоволн известна). Посредством метода триангуляции, реализованного в прошивке приемника, определяется точное его положение (широта и долгота) на поверхности Земли минимум по 3 спутникам (рис. 1). А, запеленговав четыре или более спутников, приемник может также определить и высоту абонента над уровнем моря (altitude). Время, за которое способен это сделать приемник, никогда не указывается без привязки к условиям, при которых происходил прием сигнала. Обычно даются четыре параметра: время TTFF при холодном, теплом и горячем старте, и отдельно -- reacquisition time, т. е. время, за которое приемник может восстановить связь со спутниками после временного выхода из зоны покрытия.

А дальше приемник может вычислять максимальную и среднюю скорость движения, поработает компасом, покажет направление на цель и примерное время, через которое вы там окажетесь, двигаясь с текущей скоростью, расстояние до пункта назначения, время ожидаемого восхода и заката солнца (весьма полезно туристам при планировании привалов и дневков) и многое другое -- это уже зависит от встроенного софта. Данные постоянно обновляются -- обычно раз в секунду.

4.3 Промышленные протоколы

4.3.1 Bitbus

Структура

BITBUS является типичной локальной промышленной сетью уровня fieldbus. Её особенностями являются:

- простота реализации;
- низкая стоимость сети и ее компонент;
- минимальное время освоения и приложения к конкретному применению;
- высокая пропускная способность и гарантированное время ответа.

Основные технические данные сети BITBUS приведены в таблице:

Топология	линейная или древовидная
Длина сети	от 300 м до 13,2 км
Физическая среда передачи данных	витая пара
Альтернативная Среда	оптоволокно
Основной тип разъема	D-SUB 9
Скорость передачи	375 Кбит/с или 62,5 Кбит/с
Характерное время ответа	1 мс
Представление данных	сообщения-запросы и сообщения-ответы
Канальный уровень протокола	SDLC
Максимальное количество узлов	250

В основу сети BITBUS положен иерархический принцип.

Центральным элементом сети ВІТВВS является ведущее устройство, функции которого, как правило, возлагаются на промышленный компьютер. Этот компьютер обычно выполняет несколько функций:

- инструментальное средство для программирования контроллеров;
- графическая операторская станция;
- элемент локальной сети (LAN) верхнего уровня АСУ ТП.

Интерфейс с локальной сетью ВІТВВS осуществляет адаптер сети, установленный в слот компьютера. Как правило, применяются адаптеры, обеспечивающие гальваническую изоляцию компьютера от сети ВІТВВS.

На физическом уровне реализации ВІТВВS соответствуют спецификациям RS-485. Физической средой в сети обычно является экранированная витая пара.

В качестве альтернативной среды иногда применяют оптоволокно.

Сеть ВІТВВS может иметь различную топологию — линейную, древовидную или звездообразную, что позволяет легко приспособлять конфигурацию сети к существующим производственным помещениям и расположению оборудования. Конфигурация сети может наращиваться и видоизменяться в процессе ее эксплуатации.

В зависимости от используемой скорости передачи длина одного сегмента может быть 300 м или 1200 м. Для увеличения расстояния используются ретрансляторы, максимальное расстояние при этом достигает 13,2 км. Управление ретрансляторами предусмотрено в интерфейсе. Для этого используется вторая витая пара.

Сеть объединяет разнообразные устройства ввода-вывода — от интеллектуальных УСО до программируемых контроллеров.

Контроллеры, которые не имеют штатного выхода в интерфейс ВІТВВS, подключаются через шлюзы.

На "более низком" уровне иерархии, чем сеть BITBUS, применяются удаленные интеллектуальные датчики, подключаемые по последовательным каналам RS-232 или RS-485.

Формат данных в сети Bitbus

В сети BITBUS обязано быть одно выделенное устройство (узел сети), называемое **ведущим** (обычно употребляется англоязычный термин *master*). Все остальные узлы сети являются **ведомыми** (*slave*). В одной сети BITBUS может быть объединено до 250 ведомых устройств. Ведомое устройство имеет уникальный адрес, произвольно выбираемый из диапазона от 1 до 250 и устанавливаемый аппаратно или программно.

Кроме того, каждый узел сети может иметь **устройство-расширение** (*extention*). Стандарт не накладывает никаких ограничений ни на физическую, ни на логическую реализацию канала связи между узлом сети и его расширением. Это позволяет подключать к сети BITBUS разнообразные устройства в качестве расширений узлов сети, при этом техническая реализация канала расширения может быть как последовательным каналом RS-232 со старт-стопным протоколом, так и скоростной параллельной шиной.

Вся работа сети строится на принципе **обмена сообщениями**. Ведущий узел посылает сообщения-запросы конкретным ведомым узлам, которые отвечают сообщениями-ответами. Отличие ведущего узла от ведомых и заключается в инициативной посылке сообщений, которая разрешена только "мастеру" сети. Вообще говоря, любой узел сети станет "мастером", если пошлет по сети сообщение-запрос, однако после этого никакой другой узел уже не должен "проявлять инициативу". Обычно функции "мастера" сети BITBUS возлагаются на узел, который (в совокупности со своим расширением, если оно есть) обладает большей, чем другие, вычис-

лительной мощностью, так как все потоки информации, в том числе и между ведомыми узлами, организуются ведущим узлом.

Сообщения пересылаются не между узлами, а между задачами. Каждый узел сети BITBUS функционирует под управлением **многозадачной операционной системы реального времени**, аналогичной по свойствам iRMX51 фирмы. Кроме того, в каждом из узлов сети под управлением OS обязана функционировать **одна сетевая задача**, которая, собственно, и производит всю работу по пересылке сообщений. Поскольку эта задача также выполняет стандартные команды, содержащиеся в сообщениях, ее традиционно принято называть задачей RAC (Remote Access and Control). Кроме сетевой задачи в узлах сети могут функционировать и другие задачи, носящие прикладной характер. Как правило, каждое устройство с интерфейсом BITBUS уже имеет "прошитое" ПО (firmware), содержащее OS и RAC, поэтому пользователю нет необходимости заботиться о системной поддержке обмена по сети. Заметим, что все это относится непосредственно к узлам сети. К программному обеспечению расширений не предъявляется никаких специальных требований.

Рассмотрим типичный вариант: персональный компьютер исполняет роль ведущего узла. С точки зрения адресации "мастером" сети является адаптер сети BITBUS, работающий в составе этого компьютера и содержащий встроенное ПО, включающее OS и RAC. Сам компьютер является его расширением. Программа на компьютере может работать под управлением MS-DOS или операционной системы реального времени, например QNX или OS-9. Эта программа передает сообщения-запросы и принимает сообщения-ответы с помощью соответствующего драйвера. Этот драйвер обеспечивает передачу сообщений между ПО компьютера и адаптера, а передача сообщений собственно по сети контролирует адаптер. Таким образом, ПО компьютера не загружается собственно сетевыми функциями.

В соответствии с канальным протоколом сети BITBUS SDLC полный формат сообщения содержит служебные поля: флаги начала и конца сообщения, счетчики переданных и полученных сообщений, код управления, контрольный полином и т.п., которые интерпретируются исключительно системным ПО (задачей RAC) и невидимы для прикладных программ. Мы рассмотрим прикладную часть сообщения, с которой имеют дело прикладные программы.

Структура всех сообщений проста — каждое сообщение содержит обязательный заголовок из 5 байт, а также (как правило) информационную часть (рисунок 3).

заголовок сообщения	длина сообщения
	флаги
	адрес узла
	идентификаторы задач источника и приемника
	код команды / код ответа
данные	байт данных 1
	байт данных 2
	...
	байт данных n

Длина сообщения может быть до 250 байт, однако наиболее часто используется формат сообщений длиной 20 байт. Адрес узла дополняется флагами, которые указывают, является ли источником и приемником сообщения сам узел или его расширение. Нулевой идентификатор задачи приемника указывает на то, что сообщение адресовано задаче RAC, кото-

рая в этом случае выполнит посланную команду из стандартного набора команд. Стандартный набор команд включает команды сброса, управления задачами, получение информации об узле, доступа к памяти и вводу-выводу узла. Данные интерпретируются в соответствии с кодом команды. Таким образом, даже при отсутствии какого-либо прикладного ПО на ведомом устройстве, его использование в качестве удаленного УСО обеспечивается системной задачей RAS. Если сообщение адресовано прикладной задаче или программе в расширении узла, то интерпретация команды и формат данных определяются прикладной программой. Сообщения-ответы имеют структуру, совпадающую со структурой сообщений-запросов, при этом вместо команды возвращается статус завершения операции.

На практике наиболее используются команды чтения и записи в память, которые позволяют реализовать гибкое взаимодействие с прикладными программами элементов распределенной системы.

4.3.2 Открытый промышленный протокол Modbus

Протокол Modbus был разработан для сбора данных контроллерами Modicon с первичных (подчиненных) приборов (контроллеров). Структура протокола чрезвычайно сильно оптимизирована для использования в ПЛК.

Протокол открытый для собственного использования.

Поддерживается до 247 адресуемых "slave-контроллера". Возможна передача ширококвещательного запроса (адрес — 0).

Возможны два режима протокола: RTU и ASCII. В зависимости от выбранного режима различаются параметры RS-232C и другие. RTU — команды и данные передаются в бинарном виде. ASCII-команды и данные передаются в ASCII кодах.

Контроллеры взаимодействуют, используя метод "главный - подчиненный", в котором только одно устройство (главный) может инициировать транзакции (называемые 'запросами'). Другие устройства (под-

чиненные) отвечают, обеспечивая главное устройство запрошенными данными или выполняют действия, указанные в запросе. Типовые главные устройства включают главные процессоры и панели программирования. Типичные подчиненные устройства включают программируемые контроллеры.

Главное устройство может адресовать отдельные подчиненные устройства, или может инициализировать "широковещательное" сообщение для всех подчиненных. Подчиненные устройства возвращают сообщение (называемое 'ответ') на запросы, которые адресованы отдельно к ним. На "широковещательные" запросы от главного устройства ответы не возвращаются.

Запрос: Код функции в запросе сообщает адресуемому подчиненному устройству, какую операцию выполнять. Байты данных содержат любую дополнительную информацию которая будет необходима подчиненному устройству при выполнении функции. Поле контроля ошибки предоставляет способ для подчиненного устройства, чтобы проверить целостность содержания сообщения.

Ответ: Если подчиненное устройство дает нормальный ответ, код функции в ответе является эхом кода функции в запросе. Байты данных содержат данные, собранные подчиненным устройством, такие как значения регистров или состояния. Если происходит ошибка, то код функции будет модифицирован, чтобы указать, что ответ является ответом ошибки, и байты данных содержат код описывающий ошибку. Поле контроля ошибки позволяет главному устройству подтвердить истинность содержания сообщения.

4.3.3 Протокол Profibus

Существует несколько разнообразных протоколов Profibus: FMS, DP, PA. Каждый назначается для своей задачи:

- -FMS- для передачи больших объемов информации;
- -DP- для решения задач реального времени; -РА- для опасного производства.

Ниже мы будем рассматривать протокол PROFIBUS-DP, как наиболее приемлемый для систем управления.

Данный протокол PROFIBUS-DP предназначен для высокоскоростной передачи данных. На этом уровне контроллеры, например программируемые логические контроллеры (PLC), обмениваются данными со своими периферийными устройствами через быструю последовательную связь. Обмен данными с этими распределенными устройствами происходит в основном циклически. Центральный контроллер (ведущее устройство) считывает входные данные из известного устройства и посылает назад известному устройству исходные данные.

Взаимодействия:

- точка-точка (передача пользовательских данных) или многоточка (синхронизация);
- периодическая передача пользовательских данных между ведущим и ведомым устройствами и непериодической передачей данных между ведущими устройствами.

Режимы:

- работа: периодическая передача входных и выходных данных;
- сбрасывание: входные данные считываются, а исходные сбрасываются;
- останов: возможные только функции главный-ведущий;
- синхронизация входных и/или исходящих данных всех известных DP-устройств;
- Sync-Режим: синхронизируются все выходные данные;
- Freeze-Режим: синхронизируются все вступительные данные;

Функциональные возможности:

- циклические передачи пользовательских данных между ведущими DP-устройствами или ведомыми DP-устройствами;
- циклические передачи пользовательских данных между ведущими DP-устройствами или ведомыми DP-устройствами;
- проверка конфигурации известных DP-устройств;
- мощные диагностические возможности, 3 иерархических уровня диагностических сообщений;
- синхронизация входных и/или исходных данных;
- присвоение адресов через шину ведомыми DP-устройствами;
- максимум 246 байтов входных и исходящих данных на ведомыми DP-устройство, около 32 байт;

Механизмы защиты:

- все Сообщения передаются с хемминговым відстанем HD=4;
- сторожевые таймеры в DP — устройствах;
- защита доступа к входящей/исходящей информации в известных DP-устройствах;
- отслеживание передач данных с использованием таймера, который настраивается, в ведущем DP-устройстве (DPM1);

Типы устройств:

- ведущее DP-устройство класса 2 (DPM2), например прибор программирующий/конфигурирующее устройство;
- ведущее DP-устройство класса 1 (DPM1), например центральный контроллер, такой, как PLC, CNC, RC; — известное DP-устройство, например устройство двоичного или аналогового вывода;
- установка и соединение кабелем: подключение отсоединение станций без влияния на другие станции;

- надежность и простота управления двухпроводной техникой передачи;

Основные характеристики.

Для успешного использования шинной системы одной высокой пропускной способности недостаточно. Для удовлетворения потребностей пользователей необходимо, простая установка и обслуживание, возможности диагностики и безошибочная передача данных. Протокол PROFIBUS-DP оптимальным образом удовлетворяет всем этим требованиям. Производительность: Передача 512 бит входными и исходными данными, распределенных между 32 станциями, занимает в шине PROFIBUS-DP приблизительно 6 мс. Этого довольно для удовлетворения требования небольшого времени реакции системы. Значительное увеличение скорости в сравнении с шиной PROFIBUS-FMS происходит в основном благодаря использованию функции SRD (Send and Receive Data — Послать и Получить Данные) уровня 2. Эта функция позволяет передавать входные и выходные данные в одном цикле сообщений. Кроме того, производительность повышается благодаря увеличению скорости передачи до 1,5 Мбит/с и установленные требования специфицируются для новых разработок по производительности.

Конфигурации системы и типы устройств.

Стандарт PROFIBUS-DP позволяет создавать системы с одним или несколькими ведущими устройствами. Это дает чрезвычайную гибкость при конфигурировании системы. До одной шины можно подключать до 126 станций (ведущих и ведомых). Описание конфигурации системы состоит из количества станций, соответствия между адресом станции и адресом В/В, последовательности данных, формата диагностических сообщений и параметров шины. Каждая система PROFIBUS-DP содержит устройства разных типов. В зависимости от конкретного прибавления они

подразделяются на три основных типа: Ведущее DP-устройство класса 1 (DPM1). Это центральный контроллер, который обменивается информацией с децентрализованными станциями (ведомыми DP-устройствами) в некотором определенном цикле сообщений. Типичными устройствами этого типа являются Программируемые Контроллеры (PLC), числовые контроллеры (СМС) или контроллеры роботов (RC). Ведущее DP-устройство класса 2 (DPM2) Устройство этого типа предназначено для программирования, конфигурирования или диагностики. Они используются в период подготовки системы и задача ее конфигурации. Известное DP-устройство А Известное DP-устройство — это периферийное устройство (датчик/привод), собирает входную информацию и выдает на периферийное устройство исходные данные. Возможны также такие устройства, которые работают только с входными или только с выходными данными. Типичными известными DP-устройствами являются устройства с двоичным вводом выводом 24 В или 230 В, аналоговым вводом, аналоговым выводом, счетчики и т.п. Количество входных и выходных данных не зависит от устройства и ограничивается 246 байтами. Много доступных в данное время ведомые DP-устройства имеют только 32 входных и 32 выходных байта данных. В большинстве случаев эта граница определяется задачами конкретной реализации. В системах с одним ведущим устройством на протяжении рабочей фазы активно только одно ведущее устройство. Ведущим устройством процесса есть Программируемый Логический Контроллер (PLC). PLC соединяется через шину с распределенными ведомыми DP-устройствами. Эта конфигурация дает самый короткий цикл шины. В системах с несколькими ведущими устройствами на шине активно несколько ведущих DP-устройств. Они работают или как независимые системы, любая из которых состоит из одного ведущего и относящихся к нему известных устройств, или как дополнительные конфигурирующие диагностические устройства. Любой ведущее устройство может читать входные или исходные образы.

Записывать данные в известное DP-устройство может только одно ведущее устройство (которое задается при конфигурировании). Цикл шины в системах с несколькими ведущими устройствами больше, чем в системах с одним ведущим устройством.



Рисунок 2 — Состав устройств сети Profibus

Работа системы: В спецификацию PROFIBUS-DP включается подробное описание работы системы. При этом основное внимание отводится взаимодействиям устройств. Основное влияние на работу системы делает состояние DPM1. Этим состоянием можно руководить локально с помощью конфигурирующего устройства. Состояния обычно бывают следующими: **ОСТАНОВ** В этом состоянии между DPM1 и известными DP-устройствами никаких данных не передается. **СБРАСЫВАНИЕ** DPM1 считывает входную информацию из известного DP-устройства и поддерживает свои выходы в состоянии защиты от сбоев. **РАБОТА** DPM1 находится в состоянии передачи данных. В последовательности циклических сообщений из известных DP-устройств считывается входная информация, а исходная информация в них записывается. Устройство типа DPM1 на протя-

жении интервала времени, настраиваются, передает свой локальный статус всем предназначенным для работы с ним DP-устройствам. Для этого оно использует групповую команду. Реакция системы на неисправность, которая возникла во время фазы передачи данных, например сбой DP-устройства, определяется конфигурационным параметром DPM1-устройства — "Авто-Сбрасывание" ("Auto-Clear"). Если параметр "Авто-Сбрасывание" находится в состоянии "истина", DPM1 переключает выходы всех предназначенных для работы с ним известных DP-устройств в состояние защиты от сбоев, который означает, что они не могут передавать недостоверные данные. После этого DPM1 переходит в состояние СБРАСЫВАНИЯ (CLEAR). Если параметр "Авто-Сбрасывание" находится в состоянии "неправда", DPM1, в случае неисправности известного DP-устройства, остается в состоянии РОБОТА (OPERATE). Пользователь может задавать реакцию системы.

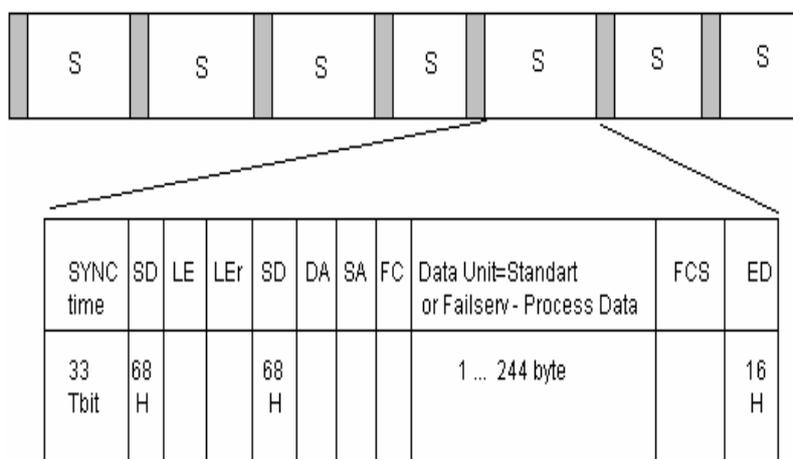


Рисунок 3 Структура кадра

На рисунке: Tbit- 1/частоту; SD- начальный ограничитель; LE- длина данных процесса; DA- адреса назначения; SA- адрес источника; FC- тип данных; Data Unit- процессные данные; FCS- проверочная последовательность; ED- конечный ограничитель; SB- начальный ограничитель; PB- бит паритета; EB- стоп бит.

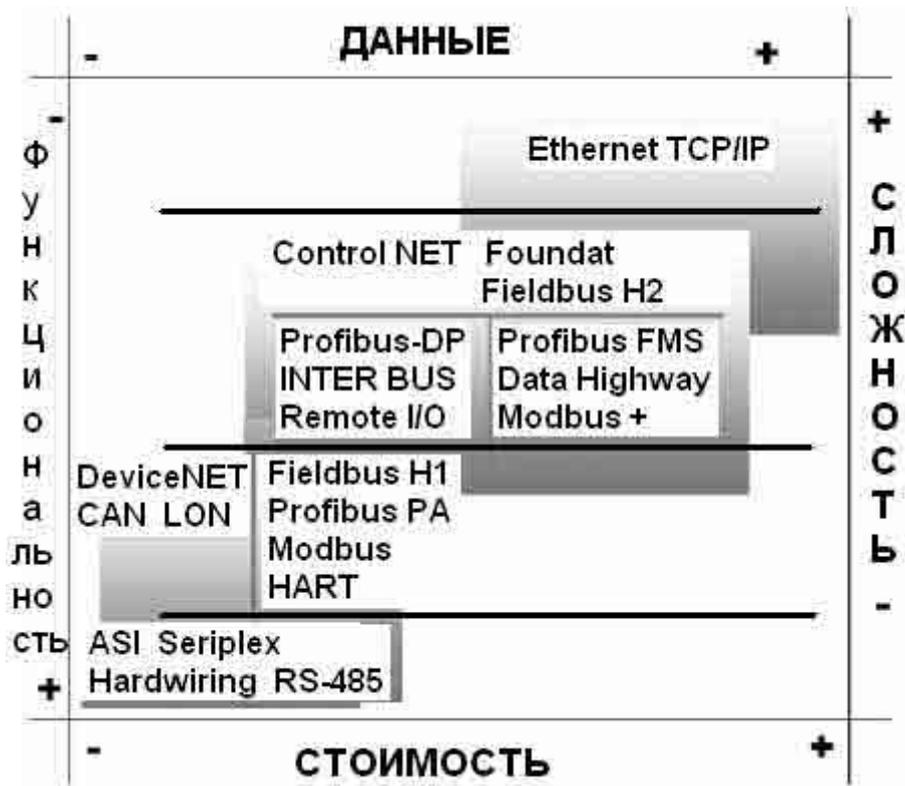


Рисунок 1. Возможности протоколов

5 Меодические указание по выполнению индивидуальных заданий

5.1 Индивидуальное задание №1 «Самостоятельное освоение узкоспециализированной темы»

Целью индивидуальной работы ставиться самостоятельное изучение студентом части теоретического материала, не рассматриваемого на лекциях.

5.1.1 Требования по выполнению задания

- 1 Введение
- 2 Анализ состояния данного вопроса: назначение, предпосылки возникновения, современной состояние и тенденции развития;
- 3 Области применения, место рассматриваемого оборудования на общем рынке, с приведением классификации рынка и ближайших аналогов;
- 4 Принцип работы, основные функциональные и технические характеристики
- 5 Сравнение с аналогами:
 - 5.1 Выделение положительных и их обоснование(не менее пяти).
 - 5.2 Выделение отрицательных и их обоснование(не менее пяти).
- 6 Заключение — выводы по проведенному исследованию — приведение результатов по проведенному анализу
- 7 Список используемой литературы — приводится только те информационные ресурсы на которые есть ссылки в тексте отчета. Общий объем отчета не 5-7стр 10 шрифтом.

Внимание!

- Отчет не должен быть кратким, в нем нужно показать глубину изучения Вами материала, с собственными примерами применения для

решения конкретных задач, Вашим личным сравнительным анализом с аналогичным оборудованием и т.д.

- Отчет не должен быть более объемным- не нужно включать чужие выдержки из Интернет-статей, отчет должен содержать только результаты Вашего анализа изученной литературы по заданной теме.

5.1.2 Варианты заданий

1 АЦП в микропроцессорных устройствах

- Типы(не менее пяти), характеристики, виды аппаратной реализации (не менее пяти).

- Сравнительный анализ типов по: истории развития, области применения, точности, стоимости и т.д.

- Сравнительный анализ АЦП: с последовательным и параллельным цифровым интерфейсом

2 сигма-дельта АЦП

- Характеристики, виды аппаратной реализации (не менее пяти).

- Сравнительный анализ с другими типами АЦП: по структуре, истории развития, области применения, точности, стоимости и т.д.

3 ЦАП в микропроцессорных устройствах

- Типы, характеристики, виды аппаратной реализации (не менее пяти).

- Сравнительный анализ типов по: истории развития, области применения, точности, стоимости и т.д.

4 сигма-дельта ЦАП

- Характеристики, виды аппаратной реализации (не менее пяти).

- Сравнительный анализ с другими типами ЦАП: по структуре, истории развития, области применения, точности, стоимости и т.д.

5 Фон-неймановская архитектура в микропроцессорных устройствах

- История развития, области применения, сравнение с другими архитектурами.

- Характеристики, программная и аппаратная модель архитектуры.

- Сравнить с другими архитектурами

6 Гарвардская архитектура в микропроцессорных устройствах

- История развития, области применения, сравнение с другими архитектурами.

- Характеристики, программная и аппаратная модель архитектуры.

- Сравнить с другими архитектурами

7 Энергонезависимая память программ в микропроцессорных устройствах

- Виды реализации и типы микросхем, принцип действия, область применения.

8 Сравнительный анализ энергонезависимой памяти используемой в микропроцессорных устройствах

- По типу памяти, интерфейса, назначению, характеристикам, подключению.

9 Сравнительный анализ оперативной памяти используемой в микропроцессорных устройствах

- По типу памяти интерфейса, назначению, характеристикам, подключению.

10 Сравнить COM-порт и LPT-порт в ПК

- Назначение, плюсы и минусы применительно к области использования, физическая реализация, схема подключения, работа с портом из программ пользователя.

11 CISC-концепция и RISC-концепция

- История развития, области применения, Характеристики, программная и аппаратная модель отдельно для каждой

- сравнение между собой и с другими архитектурами.

12 Рассмотреть работу PCI-шины

- физическая реализация, схема подключения, работа с портом из программ пользователя.

- Аналоги PCI шины в промышленных компьютерах (PC104 и т.д.)

13 Рассмотреть работу USB-интерфейса в ПК

- физическая реализация, схема подключения, работа с портом из программ пользователя.

14 Рассмотреть работу и сравнить IrDA, Bluetooth и WiFi интерфейсы

- физическая реализация, схема подключения, работа с портом из программ пользователя.

15 Изучить и сравнить типы интерфейсов используемых для передача данных по линиям электропитания

16 Изучить вопрос бесконтактная идентификация объектов (не менее 3 типов для различных применений и работающих на разных расстояниях)

17 Сравнить по характеристикам и областям применения оборудование для передачи данных по радиоканалу на бесплатных (не требующих лицензии) диапазонах-433МГц, 868МГц,2.4ГГц.

5.2 Индивидуальное задание №2 «Разработка алгоритма и реализация на МК программы выполнения конкретной задачи»

5.2.1 Требования по выполнению задания

Создание алгоритма работы МК

Алгоритм должен включать в себя:

- 1 Блок инициализации:

- инициализация всех используемых портов ввода/вывода;
 - инициализация всех внутренних и внешних устройств после подачи питания на микропроцессор с указанием цифровых значений регистров (Пример: запуск таймера1 с тактированием периодом в 100мксек);
 - разрешение используемых прерываний.
- 2 тело основного цикла
 - 3 Процедуры обработки прерываний.

Рекомендуется использовать прерывания, переход в режим низкого энергопотребления.

Разработка программы МК.

В программе необходимо оперировать внутренними регистрами ОЗУ контроллера, на которые проецируются состояние и команды на внешние выходы контроллера, а также флаги и команды управления внутренними блоками (таймерами, АЦП, UART). Для более полной информации смотрите учебное пособие автора «Микропроцессорные устройства в системах управления»

5.2.2 Варианты заданий

№	Описание
1	Привести алгоритм программы асинхронной передачи по одному проводу 7-ти битного числа задаваемого на порту МК
2	Алгоритм программы: По внешнему сигналу преобразование кода на входе(с 4 кнопок) в код для индикатора
3	Измеритель частоты с ФНЧ 1кГц
4	Привести алгоритм асинхронного приема числа через один бит порта МК и вывод его на светодиоды на другой порт(7бит)
5	Привести алгоритм асинхронного приема числа через один бит порта МК и вывод его на светодиоды на другой порт(8бит)

6	Привести алгоритм программы "Метраном"
7	Привести алгоритм программы "Сирена" с периодом задаваемым на 4-х битах порта МК
8	Привести алгоритм программы бегущий огонек с периодом 10сек
9	Привести алгоритм программы Кодовый замок(одновременное нажатие или последовательность набора 3х из 8 кнопок).
10	Привести алгоритм программы мигалка с периодом 10сек
11	Привести алгоритм программы спорт-табло
12	Привести алгоритм управления елочной гирляндой на портах МК (10лампочек)
13	Привести алгоритм управления светофором на портах МК (3лампы)
14	Привести алгоритм программной реализации передачи частотного сигнала 0-1000Гц на МК
15	Привести алгоритм программной реализации передачи ШИМ на МК
16	Привести алгоритм программной реализации счетчика внешних импульсов с индикацией на МК
17	простейших блок управления стиральной машиной(время стирки и его индикация)
18	Реализовать 8-битный АЦП на МК с помощью компаратора и таймера(ШИМ)
19	секундомер с кнопкой сброса (индикация на двух портах)
20	Привести алгоритм реализации UART на двух битах порта МК

6 Методические указания к курсовому проекту

6.1 Цели и задачи курсового

Целью курсового проекта является закрепление теоретических знаний и формирование практических навыков при выполнении самостоятельной разработки микропроцессорного устройства, приобретение навыков работы с отечественным и зарубежным информационно-справочным материалом.

Требования к составу работ по выполнению курсового

Типовое задание на курсовое проектирование предполагает выполнение восьми этапов. Максимальная оценка за каждый этап — 15 баллов. Итого 120 баллов.

Внимание! После окончания срока сдачи этапа баллы за этап обнуляются. Невыполненный этап суммируется к следующему с индексацией баллов (задержка на 0,5 этапа 75%, на 1 этап 50%, на 1,5 этапов 25%, при задержке на более 1,5 этапов 0%)

Внимание! На первых трех этапах разрабатываемое устройство рассматривается в виде черного ящика, когда описываются внешние функции и характеристики прибора без оценки их внутренней реализации. Это необходимо, чтобы создать прибор не по возможностям имеющихся технических решений, а по требованиям пользователей и внешних областей применения.

- 1 Выбор и анализ задания — изучение объекта и предмета исследований с целью обоснования необходимости разработки устройства:
- 2 Разработка схемы внешних соединений — выбор и составление спецификации требуемых внешних приборов, описание их связей с разрабатываемым устройством

- 3 Создание алгоритма работы устройства и оформление технического задания
- 4 Разработка внутренней структурной и функциональной схемы устройства
- 5 Создание принципиальной схемы устройства и спецификации элементов,
- 6 Разработка алгоритма управляющего микроконтроллера,
- 7 Разработка конструкторской и пользовательской документации к прибору и созданным программам.
- 8 Защита курсового — подготовка доклада и плакатов.

6.2 Уточнение требований к этапам выполнения курсового

6.2.1 Требования по выполнению этапа «Выбор и анализ задания»

Этап состоит из частей:

- формирование задания;
- поиск и обзор аналогов;
- выводы-планируемое конкурентное преимущество.

1 Формирование задания:

Студенту необходимо изучить предложенное задание на курсовой проект, выделить объект и предмет исследований, произвести обзор информационно-справочного материала для детального ознакомления с объектом и предметом исследований. Поставить основные цели, назначение и функции разрабатываемого устройства.

Назначение устройства — должно быть указано функциональное и эксплуатационное назначение изделия, четко определить, для чего нужно это устройство, кто будет его покупать и как можно его использовать.

Результат первой части оформить в виде структуры с описанием.

Требования к выбору задания на разработку. Разрабатываемое устройство должно включать в себя:

- востренный микропроцессор;
- поддержку не менее пяти типов датчиков и двух типов устройств управления;
- местную операторскую панель с устройством отображения и кнопками управления;
- связь с персональным компьютером.

2 Поиск и обзор аналогов

Необходимо произвести поиск аналогов разрабатываемого устройства. Необходимо найти не менее пяти аналогов устройства, наиболее полно удовлетворяющих предложенному заданию. Для каждого аналога необходимо указать:

- назначение устройства, область применения;
- реализуемые функции и основные технические характеристики;
- структурную схему и алгоритм работы.

Внимание! В отчете приводить не выдержки из Интернета, а пояснения своими словами, как Вы поняли его назначение, алгоритм и т.д.

- сравнительный анализ аналогов –

3 Сравнительный анализ найденных аналогов на соответствие заданию

Необходимо выделить положительные аспекты, которые можно применить в своей разработке. А также выделить отрицательные черты системы(устройства), которые необходимо устранить при разработке.

Результаты анализа необходимо представить в виде таблицы.

- «отрицательные» черты устройства, не позволяющие использовать его для реализации Вашего задания;

- «положительные» черты устройства, которые вы можете использовать при разработке.

- Экономическое сравнение

Внимание! В анализе необходимо приводить обоснования Ваших утверждений: «лучше», «больше» и т.д. в количественной форме, или сравнением с аналогичными характеристиками других представителей.

4 Выводы по первому этапу

На основе анализа описать все функции устройства, выделить возможные области его применения и планируемую нишу рынка, очертить планируемое конкурентное преимущество будущего устройства перед рассмотренными аналогами.

6.2.2 Требования по выполнению этапа «Разработка схемы внешних соединений»

Этап включает в себя:

- Анализ и выбор типов внешних приборов
- Разработка схемы внешних соединений

5 Анализ и выбор типов внешних приборов

В данном пункте разрабатываемое устройство рассматривается в качестве «черного ящика». Студент производит обзор, анализ и выбор внешних приборов к разрабатываемому устройству (датчиков и исполнительных механизмов), необходимых для решения поставленных задач.

Необходимо произвести анализ существующих типов и описать количественные и качественные характеристики внешних приборов (датчиков, исполнительных механизмов, источников питания и т.д.) необходимых для выполнения разрабатываемым устройством требуемых функций.

Внимание! Необходимо рассмотреть и применить не менее пяти разных типов внешних приборов.

Для каждого внешнего прибора (датчика, устройства управления, источника питания и т.д.) необходимо указать:

- Тип прибора: наименование, группа, изготовитель, цена на рынке;
- Выполняемые им задачи по реализации функций для работы разрабатываемого устройства;
- Входные (физические) характеристики прибора:
 - по паспорту: максимальный диапазон, точность преобразования.
 - для разрабатываемого устройства: рабочий диапазон, пределы для формирования блокировок, аппаратных защит и предупредительных сообщений (предупредительные и аварийные), максимальная скорость изменения.
- Выходные характеристики прибора:
 - электрические: ток, напряжение, частота, сопротивление;
 - динамические характеристики прибора(скорость изменения, время установления, время реакции, частота преобразования и т.д.)
- Питание: напряжение, мощность (ток).
- Условия эксплуатации : по паспорту и по применению в вашем устройстве.

6 Разработка схемы внешних соединений:

Для каждого датчика или исполнительного механизма необходимо указать на схеме его тип, клемму и контакт цепи питания, измерительной цепи. Необходимо показать цепи соединения всех датчиков с внешним разъемом разрабатываемого устройства и с внешним(внутренним) блоком питания датчиков.

К схеме обязательно нужно привести спецификацию всех внешних приборов в виде таблицы со столбцами:

- Описание параметра прибора;
- Место сбора/управления;
- Тип прибора;
- Единицы измерения физ.вечины;
- Раб диапазон физ вечины;
- Физические единицы измерения прибора;
- Физический диапазон измерения прибора;
- Единицы выходной электрической величины прибора;
- Диапазон выходной электрической величины прибора;
- Описание(функции, стоимость).

6.2.3 Требования по выполнению этапа «Создание алгоритма работы устройства и оформление технического задания»

Разработка общего алгоритма работы устройства с точки зрения будущего пользователя

Для разрабатываемого устройства необходимо привести основной алгоритм функционирования. В данном случае устройство рассматривается как цельный блок без детализации.

Необходимо описать планируемые действия по установке, обслуживанию и работы с устройством пользователя и обслуживающего персонала.

Внимание! На данном этапе нужно разработать алгоритм для всего устройства, а не для управляющего микроконтроллера.

Алгоритм должен включать в себя:

- 1 Подготовку устройства к работе(первое включение, настройка)
- 2 Описание основного режима функционирования
- 3 Описание внештатных ситуаций и их обработку
- 4 Описание алгоритма работы с компьютерными системами верхнего уровня

5 Описание алгоритма работы с пользователем

Оформление ТЗ

Необходимо оформить результаты исследований в виде технического задания на разработку.

Техническое задание должно содержать следующие пункты:

- 1 Введение
- 2 Наименование разрабатываемого устройства;
- 3 Назначение разрабатываемого устройства — выполняемые функции, области применения.
- 4 Привести основные характеристики внешних приборов (наименование и тип связи с разрабатываемым устройством)
- 5 Расписать реализацию функций устройства;
- 6 Выделить требования к условиям эксплуатации(температура окружающего воздуха, водостойкость, антивандальное исполнение т .д.);
- 7 Привести требования к внешнему виду, элементам индикации и управления.
- 8 Рассчитать себестоимость и предполагаемую рыночную цену устройства;
- 9 Обоснование актуальности разработки вашего устройства.

6.2.4 Требования по выполнению этапа «Разработка внутренней структурной схемы устройства»

В настоящее время разработка микропроцессорного устройства в 80% случаев ведется из подбора и сопряжения готовых интегрированных модулей и микросхем(АЦП, модули связи, модули источников питания, оптоизоляция и т.д.).

От разработчика требуется не столько глубокое знание в теории цепей и схемотехники, а в основном умение оптимально подобрать нужные

модули и микросхемы, а также в соответствии с приводимыми в документации схемами подключить их к управляющему микроконтроллеру.

На данном этапе необходимо рассмотреть внутреннюю структуру разрабатываемого устройства, произвести выбор внутренних модулей и микросхем и описание их связей с управляющим МК:

- представить внутреннюю структуру устройства с указанием основных его блоков и их взаимосвязи;
- Произвести изучение элементной базы и выбор внутренних блоков;
- для каждого блока необходимо привести краткий алгоритм его работы в устройстве, а для линий связи между блоками необходимо представить электрические и временные характеристики;
- произвести расчет внутренних блоков устройства и схем их сопряжения;

6.2.5 Требования по выполнению этапа «Создание принципиальной схемы и спецификации элементов»

Разработать принципиальную схему устройства:

При создании принципиальной схемы устройства желательно использовать пакеты PCAD или Orcad. На схеме для каждого элемента должны быть указаны:

- 1 Тип и порядковый номер;
- 2 Наименование (для микросхем) или значение (для пассивных элементов).

Создать *спецификацию* элементов принципиальной схемы.

Пример оформления спецификации элементов принципиальной схемы:

№	Поз.обозн.	Наименование	Кол.	Примечания
		Микросхемы		
1	DD1	AT90S8535 — 8AI	1	Корпус TQFP — 44pin
		Конденсаторы		
2	C1,C3..C5	0805 — 25B — 18 пФ 5	4	чиповые

6.2.6 Требования по выполнению этапа «Разработка алгоритма управляющего микроконтроллера»

Алгоритм должен включать в себя:

- инициализация всех внутренних и внешних устройств после подачи питания на микропроцессор с указанием цифровых значений регистров (Пример: запуск таймера1 с тактированием периодом в 100мксек);
- разрешение используемых прерываний, описание работы обработчиков прерываний.
- тело основного цикла

Рекомендуется использовать прерывания, переход в режим низкого энергопотребления.

6.2.7 Требования по выполнению этапа «Разработка пользовательской документации к прибору и созданным программам»

Данный этап включает в себя создание схемы соединений, габаритного и сборочного чертежа, дизайн корпуса, пользовательской документации.

Создать чертеж конструкции устройства в трех видах с указанием габаритных и установочных размеров, желательно использовать программу «Компас».

Создать дизайн пользовательского меню управления.

Привести в порядок все чертежи и схему по курсовому.

Руководство по эксплуатации (пояснительная записка к курсовому)
Паспорт прибора (краткие характеристики для защиты)

6.2.8 Требования по выполнению этапа «Защита курсового проекта»

Подготовить доклад и демонстрационный плакат для защиты курсового проекта.

В докладе необходимо привести вывод, в котором нужно отметить:

- полноту проведенного обзора аналогов устройства, экономические преимущества разработки по сравнению с лучшими отечественными и зарубежными образцами или аналогами
- возможные пути совершенствования устройства,
- вероятность конкурентоспособности разработанного Вами устройства на рынке
- ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанного устройства,
- нереализованные аспекты, пути дальнейшей доработки системы и т.д.

6.3 Варианты заданий на курсовое проектирование

Внимание!! Можно взять собственный вариант задания(в течении первой недели курса), но в нем обязательно должны быть части:

- микроконтроллер;
 - внешние приборы (датчики и исполнительные механизмы) не менее 5 различных типов;
 - связь с интеллектуальным оборудованием верхнего уровня;
 - интерфейс общения с пользователем(местная панель управления)
- 1 Регулятор температуры и влажности воздуха в помещении.

Устройство поддерживать заданную температуру и влажность воздуха в помещении посредством их измерения и управления нагреватель-

ным прибором(3кВт) и вентилятором (500Вт). Индикация и задания значений через 4кнопки и 4-х семисегментных индикаторов.

2 ПИД-регулятор температуры для печи с 4-мя комфорками.

Устройство должно поддерживать заданную температуру в каждой комфорки стандартной электропечи. Индикация и задания значений через 4кнопки и 4-х семисегментных индикаторов.

3 Реле времени, программируемое пользователем, многоканальное.(модульное исполнение: основной, индикация, кнопки задания уставок, последовательный порт и программирование через HyperTerminal)

4 Прибор управление нагрузкой(лампы) по заложенной программе (вычисление восход-заход на каждый день) с изменяемой пользователем временами смещения на вкл/выкл.

5 Экономичный уличный фонарь: датчик движения(машины, люди) — включение светильника на заданное время.

6 Аудио-таймер: прибор проигрывает записанные в памяти аудиофрагменты(моно, голос) в заданные временные интервалы.

7 Бегущая строка, прибор отображает на световом табло заранее записанный текст.

8 Уличный регулятор освещенности с лампой накала переменного тока.

Устройство должно измерять освещенность на участке улицы, сравнивать с заданным суточным графиком (ночь, утро, день, вечер) и плавно управлять выходным напряжением лампы накала переменного тока частотой 50Гц и напряжением 220В. Задание графика освещенности производится пользователем посредством четырех кнопок и жидкокристаллического индикатора. Необходимо обратить внимание на меню пользователя, защиту от неправильного подключения внешних цепей устройства пользователем, а также самотестирование устройства.

9 Кодовый замок с возможностью перепрограммирования.

Прибор должен позволять с основной клавиатуры изменять код доступа. Должен быть продуман механизм защиты кода от взлома и переход на резервное питание прибора при отсутствии основного. Должна быть предусмотрена пожарная сигнализация, а также сигнализация при попытке взлома самого замка или двери. Необходимо обратить внимание на меню пользователя, защиту от неправильного подключения внешних цепей устройства пользователем, а также самотестирование устройства.

10 Цифровой таймер для электробытовых машин и приборов

Прибор должен коммутировать цепи питания электробытовых машин и приборов (~220В). Требования к прибору: бесконтактная коммутация, не менее трех управляющих выходов с программируемыми временными интервалами включения и выключения, контроль короткого замыкания в коммутируемых цепях. Задание всех временных уставок производится пользователем посредством четырех кнопок на передней панели и жидкокристаллического индикатора. Необходимо обратить внимание на меню пользователя, защиту от неправильного подключения внешних цепей устройства пользователем, а также самотестирование устройства.

11 Цифровой таймер для автомобильных приборов

Прибор должен коммутировать цепи питания автомобильных приборов (12В). Требования к прибору: бесконтактная коммутация, не менее трех управляющих выходов с программируемыми временными интервалами включения и выключения, контроль короткого замыкания в коммутируемых цепях. Задание всех временных уставок производится пользователем посредством четырех кнопок на передней панели и жидкокристаллического индикатора. Необходимо обратить внимание на меню пользователя, защиту от неправильного подключения внешних цепей устройства пользователем, а также самотестирование устройства.

12 Звуковой таймер

Устройство предназначено для записи коротких звуковых фрагментов и их воспроизведения в установленное пользователем время. Задание временных интервалов осуществляется посредством четырех кнопок и двух семисегментных индикаторов. Необходимо обратить внимание на меню пользователя, компактность и низкую себестоимость.

13 Говорящие «часы-будильник-календарь»

Устройство предназначено для ведения времени, представление его на жидкокристаллическом индикаторе и звуковое оповещение в соответствии с заданными уставками. Пример режимов оповещения: начало часа, подъем, сон, дни рождения друзей-знакомых и т.д. Необходимо обратить внимание на меню пользователя, компактность и низкую себестоимость.

14 Спорт-табло

Устройство предназначено для управления спортивным табло, состоящим из 200 ламп (200Вт каждая). Взаимодействие с пользователем осуществляется через клавиатуру и жидкокристаллический индикатор. Необходимо обратить внимание на расположение ламп на табло, меню пользователя, защиту от неправильного подключения внешних цепей устройства, а также самотестирование прибора.

15 Устройство оповещения в салоне городского транспортного средства

Устройство предназначено для оповещения пассажиров салона городского транспортного средства информацией о маршруте транспортного средства, городских достопримечательностях и реклама товаров. Необходимо обратить внимание на механизм записи новых голосовых сообщений в устройство (реклама и т.д.), механизм определения местоположения транспорта, а также самотестирование прибора.

16 Устройство бесконтактной идентификации объектов

Устройство предназначено для бесконтактной идентификации проходящих через ворота объектов (скот, тележки и т.д.). На панели прибора

отображается число объектов за сутки. Необходимо осуществлять бесконтактную идентификацию, а также самотестирование прибора.

17 Электронный словарь

18 Система контроля за сторожем

Сторож совершает обход вверенной ему территории по установленному маршруту с заданным интервалом. В нескольких пунктах маршрута обхода стационарно смонтированы (например, замурованы в стены) контрольные точки, которые представляют из себя простые устройства размером примерно 70x70x10мм и не требуют питания. Охранник имеет при себе контрольный прибор, который питается от батареи или аккумулятора и легко помещается в кармане. При обходе территории прибор подносится к контрольным точкам на расстояние 3-5 см. При этом в его память записывается текущее время и номер контрольной точки. Имеется световая и звуковая сигнализация корректного считывания информации. По окончании дежурства контрольный прибор сдается в офис, где соединяется с компьютером и вся накопленная в его памяти информация анализируется и распечатывается. Руководитель получает подробный отчет о том, как проходило дежурство.

19 Метроном музыканта — Этот прибор обычно используют при обучении игре на музыкальных инструментах как задатчик темпа исполнения. Прибор должен задавать любой темп от Largo до Prestissimo, тактовый размер — 2/4, 3/4, 4/4

20 Контроллер велотренажера(скорость, путь, пульс и т.д.)

21 Охранная сигнализация с возможностью отключения через пластиковую карточку

22 Контроллер управления лифтом (номер этажа, таймаут закрытия дверей, вызов и т.д.)

- 23 Контроллер игрового автомата (цифры меняются с разной частотой и при нажатии кнопки стоп — останов счета, если цифры совпадут, то горит светодиод «выигрыш» иначе «проигрыш»)
- 24 контроллер игры на память

Список литературы

- 1 Журналы «Современные компьютерные технологии» за 1997-2002г. подписной индекс 72419 по каталогу «Роспечати». Web: <http://www.cta.ru>
- 2 Журналы « Мир компьютерной автоматизации» за 1997-2002г. Web: <http://mka.org.ru>
- 3 Журналы « CHIP NEWS» за 1997-2002г. Web: <http://www.chipnews.ru>
- 4 <http://www.chipinfo.ru/wb/index.html> — CHIPINFO — все об электронике и компонентах
- 5 www.efind.ru — Лучший поисковик электронных компонентов
- 6 www.logicnet.ru/~electron — ***RUSSIAN ELECTRONIC***
- 7 <http://www.nnov.rfnet.ru/rf/> — РадиоФанат
- 8 <http://www.chat.ru/~vidak> — Телемастер
- 9 <http://www.promelec.ru/> — Промэлектроника
- 10 <http://www.gaw.ru/index.cgi> — РЫНОК МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ (справочник)
- 11 <http://www.fulcrum.ru/index.htm> — ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ СО ВСЕГО МИРА
- 12 <http://www.chat.ru/~sershal> — ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
- 13 www.rlocman.com.ru/indexs.htm — РадиоЛоцман — Схемы
- 14 <http://www.mitino.ru/> — Митинский радиорынок
- 15 <http://www.ts.aha.ru/wwwboards/mcontrol/7/wwwboard.html> — Конференция «Микроконтроллеры и их применение
- 16 <http://www.microchip.ru/> — ООО "Микро-Чип"
- 17 <http://www.dessy.ru> — Виртуальный магазин DESSY
- 18 <http://www.atmel.ru/ServerContents.htm> — Русскоязычная страница ATMEL
- 19 <http://www.sinaps.ru/opennet/schemes> — Schemes Site (принцип.схемы)
- 20 <http://www.chat.ru/~starc01> — СПРАВОЧНИК ПО РАДИОДЕТАЛЯМ

- 21 <http://home.ural.ru/~amt/board1.html> — Ремонт радиоаппаратуры — конференция
- 22 http://www.argussoft.ru/as_cpwin/elecom/elhome.htm — АРГУССОФТ Компани — Электронные компоненты
- 23 <http://www.brownbear.ru/semico/index.htm> — "Бурый медведь" Полупроводниковые приборы
- 24 <http://www.fulcrum.ru> — Фирма "Точка опоры"
- 25 <http://www.radiohobby.lds.net> — Журнал "РадиоХобби"
- 26 <http://www.eliks.ru> — Фирма "ЭЛИКС"
- 27 [8-разрядный RISC-микроконтроллер KP1878BE1](#) — Отечественный МК
- 28 <http://dodeca.gaw.ru> — Издательство "Додека"
- 29 [SV TEHS SIA](#) — Официальный представитель производителей микроконтроллеров Scenix
- 30 [Микроконтроллеры и микропроцессоры](#) — Информация по микроконтроллерам и микропроцессорам ARM, AVR
[Программирование микроконтроллеров с FLASH памятью](#) — Программирование микроконтроллеров
- 31 <http://www.scada.ru/>
- 32 <http://www.asutp.interface.ru>
- 33 <http://www.prosoft.ru/>
- 34 <http://www.nautsilus.ru/>
- 35 <http://asutp.by.ru/>
- 36 <http://promasu.50megs.com/>
- 37 <http://groups.yahoo.com/group/asutp>