

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

А. Л. Савченко  
В. Т. Минченя  
А. Р. Ахатов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ  
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-38 02 02  
«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области приборостроения*

Минск  
БНТУ  
2022

УДК 616-71:004(075.8)

ББК 34.7я7

A22

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра «Электронная техника и технологии» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, (зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент *С. И. Мадвейко*);  
Директор ООО «Месстехник» *Д. Ю. Горбач*

**Савченко, А. Л.**

A22 Автоматизированные системы контроля медико-биологических параметров : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» / А. Л. Савченко, В. Т. Минченя, А. Р. Ахатов. – Минск : БНТУ, 2022. – 90 с.

ISBN 978-985-583-802-0.

Пособие предназначено для студентов специальности 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» при изучении теоретического материала по учебной дисциплине «Автоматизированные системы контроля медико-биологических параметров».

В пособии приведено содержание лекционного курса по всем разделам учебной программы. Материал дополнен необходимыми схемами и иллюстрациями.

В конце пособия приведен список использованной литературы.

УДК 616-71:004(075.8)

ББК 34.7я7

**ISBN 978-985-583-802-0**

© Савченко А. Л., Минченя В. Т.,  
Ахатов А. Р., 2022

© Белорусский национальный  
технический университет, 2022

## Содержание

1. Цели, задачи и этапы автоматизации процесса измерения .....	4
2. Структура автоматизированной системы контроля (АСК) .....	8
3. Релейно-контактные системы.....	9
4. Системы на микроконтроллерах .....	14
4.1. Подключение исполнительных устройств к микроконтроллеру .....	17
4.2. Подключение кнопок к микроконтроллеру.....	28
4.3. Подключение датчиков к микроконтроллеру .....	30
4.4. Подключение устройств отображения к микроконтроллеру .....	42
4.5. Расширение портов ввода-вывода микроконтроллеров.....	46
4.6. Пример системы на основе микроконтроллера .....	48
5. АСК на основе ПЭВМ.....	52
5.1. Интерфейсы ПЭВМ .....	53
5.2. Сопряжение с ПЭВМ через последовательный интерфейс <i>RS-232C</i> .....	55
5.3. Сопряжение через интерфейсы <i>USB</i> и <i>FireWire (IEEE1394)</i> .....	60
5.4. Сопряжение с ПЭВМ через системную шину .....	61
5.5. Выбор интерфейса для сопряжения с ПЭВМ .....	70
6. Биологическая телеметрия.....	72
6.1. Биотелеметрические системы (БТС).....	72
6.2. Классификация БТС .....	73
6.3. Многоканальные БТС.....	75
6.4. Элементы БТС.....	78
6.5. Телеметрия в гастроэнтерологии .....	81
7. Автоматизация лабораторных исследований .....	82
8. Автоматизация клинической диагностики.....	85
8.1. Системы диагностики сердечно-сосудистой системы .....	85
8.2. Системы для измерения температуры .....	87
8.3. Системы рентгенодиагностики.....	87
8.4. Системы для измерения механических величин.....	88
Список использованных источников.....	89

## 1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ЭТАПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ

**Автоматизация** в широком смысле этого понятия означает внедрение искусственных средств, обеспечивающих автоматическое протекание процесса. Результатом этого является создание автомата, то есть системы, самостоятельно выполняющей определенную программу. В соответствии с программой автомат принимает решения, учитывающие зависимости между входными данными и мгновенным состоянием системы, и выдает реализующие эти решения данные. В повседневной практике под автоматизацией также понимают и **механизацию** – замену ручных операций действием механизмов. Механизация плохо соответствует данному выше определению, но было бы справедливо считать ее начальным этапом автоматизации.

Автоматизация преследует различные **цели**, важнейшими из которых являются:

1) экономические (недостаток рабочей силы, неполная загрузка одного конкретного рабочего в связи с эпизодическим, кратковременным участием в процессе);

2) технические (невозможность участия человека в процессе измерения, сокращение времени измерения, увеличение производительности, перегрузка персонала сложными операциями);

3) общие (повышение качества измерений путем автоматического распознавания и уменьшения погрешностей).

Процесс измерения можно представить в виде схемы (рис. 1.1), на которой также представлены основные возможные этапы автоматизации этого процесса, начиная от выполнения всех операций вручную до полной автоматизации, предусматривающей передачу сложных логических операций машине [1]. Рассмотрим отдельные структурные элементы этой схемы.

Основным элементом схемы является этап собственно измерения, то есть получение выходного сигнала, находящегося в функциональной зависимости от измеряемой величины и удобного для дальнейшей обработки. Автоматизация этапа измерения требует обеспечить автоматическое выполнение некоторых операций: переключения диапазона измерения, проверки и корректировки нуля, компенсации (при компенсационных измерениях), учета влияния старения элементов измерительной схемы, перенастройки параметров

при проведении серии измерений, выбора оптимальных параметров измерений в зависимости от характера измеряемой величины, а также других необходимых операций. Как правило, автоматизация этапа измерения является наиболее трудоемкой по сравнению с автоматизацией других элементов процесса.

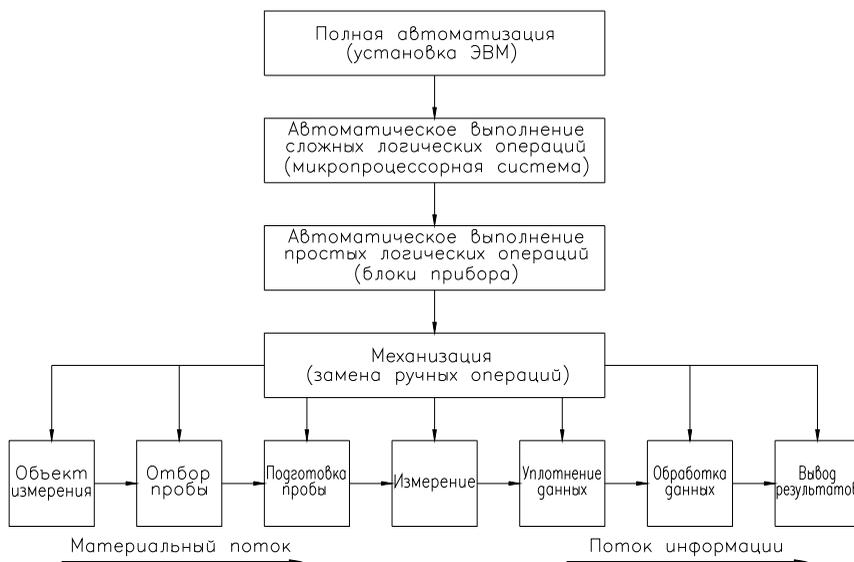


Рис. 1.1. Схема процесса измерения и этапы автоматизации

Слева от этапа измерения на рис. 1.1 располагаются этапы, связанные с подготовкой объекта к измерению и характеризующиеся наличием материального потока. Это этапы отбора и приготовления проб. Названия этих этапов ассоциируются, в первую очередь, с анализом различных веществ, однако их следует понимать в более широком смысле. Под отбором и приготовлением проб в данном случае подразумеваются подготовительные операции, без которых проведение измерения невозможно или затруднительно. Например, при измерении температуры контактным способом следует ввести датчик температуры в контакт с исследуемым органом пациента. Проблема автоматизации таких операций отсутствует, если измерительный прибор или датчик находится в непосредственном контакте

с неподвижным измеряемым объектом. Это же относится к бесконтактным методам измерения без потока материала (например, измерение температуры при помощи тепловизора). В других случаях проблема автоматизации может решаться механизацией трудоемких операций (механизированное перемещение массивных элементов, возможно по заданной программе). Самое большое количество трудностей возникает при автоматизации биохимического анализа различных веществ, особенно жидких. При этом требуется обеспечить автоматическое дозирование пробы, размешивание, растворение с различными реагентами, фильтрацию, сушку, транспортирование и большое количество других операций, в зависимости от характера пробы и измеряемых параметров.

Этапы, расположенные на рис. 1.1 справа от этапа измерения, связаны с преобразованием измерительного сигнала в нужную форму и характеризуются наличием информационного потока. В этой области достигнуты значительные успехи, особенно с появлением дешевых микропроцессорных систем. С помощью электроники сравнительно легко обеспечиваются замена визуального считывания и ручной записи данных автоматическими регистраторами, коррекция сигнала, вычисления и многие другие операции.

На схеме прохождение сигнала разбито на три этапа. Уплотнение применяется при передаче по информационным каналам большого количества данных для повышения скорости, а также при хранении больших объемов в памяти. При этом применяются такие способы, как временное и частотное разделение каналов, мультиплексирование, сжатие информации аналоговыми и цифровыми (программно с помощью ЭВМ) способами.

Обработка данных связана с преобразованием измерительного сигнала в вид, удобный для вывода, и включает такие операции, как фильтрация, усиление, аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, вычисления различных параметров, различные виды анализа (в том числе и статистический). При автоматизации обработки данных очень широко применяются микропроцессорные системы и ЭВМ, обладающие огромными возможностями.

Представление результата измерения может производиться как в виде вывода на дисплей, печатающее, самопишущее или другое регистрирующее устройство, так и в виде различных управляющих сигналов, в форме записи на различные носители (магнитные диски,

ленты, компакт-диски и т. д.) для дальнейшего использования. Все эти операции легко автоматизируются при использовании микропроцессорных систем и ЭВМ.

По вертикали на рис. 1.1 расположены основные этапы автоматизации. Разделение на этапы определяется, с одной стороны, степенью сложности задачи, с другой – различием применяемых для ее решения средств автоматизации.

Простейшим этапом является механизация, то есть замена ручных операций действием механизмов. Эта форма автоматизации является наиболее распространенной в настоящее время. Часто при механизации сохраняют те же операции, которые производятся вручную, но их выполнение осуществляется механическими и электрическими устройствами. Такая методика облегчает эксплуатационную проверку вследствие возможности обращения к аналогиям, но иногда она требует весьма сложных и потому малонадежных конструкций. В этих случаях приходится искать принципиально новые методы достижения результата.

Кроме выполнения механических ручных операций часто требуется принятие логических решений. Чаще всего это относится к коррекции при влиянии внешних условий, нормированию или оценке выходного сигнала. При этом в прибор вводятся специальные устройства, например, биметаллический компенсатор изменения температуры, следящие системы для поддержания параметров прибора на заданном уровне, аналоговые вычислительные устройства для выбора одного из альтернативных решений, устройства самоконтроля и самокорректировки. При введении таких устройств для персонала упрощается работа с прибором, снижается возможность ошибок, но при этом снижается универсальность прибора.

Избежать снижения универсальности прибора, а также повысить сложность решаемых логических задач позволяет применение микропроцессорных систем. В данном случае становятся возможными распознавание и корректировка погрешностей измерения, нарушений в работе прибора, различного рода вычисления и специфические цифровые методы обработки сигнала. При использовании ЭВМ возможности устройств еще более расширяются. Становится возможным создание самообучающихся и адаптивных систем, систем на основе искусственного интеллекта, которые самостоятельно находят пути оптимального решения измерительных задач. ЭВМ, особенно

при эксплуатации в локальных и глобальных сетях, позволяют легко решать вопросы накопления и обработки информации.

## 2. СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ (АСК)

В общем случае *автоматизированная система контроля медико-биологических параметров* – система, осуществляющая сбор данных об объекте, которым является человек или его ткани, и их обработку по заданному или синтезируемому алгоритму с целью выделения информативных параметров и принятия решений о воздействии на объект или отображении информации.

В общем случае, если рассматривать не только системы контроля, но и системы управления в целом, структура системы будет иметь вид, показанный на рис. 2.1.



Рис. 2.1

Рассмотрим разновидности элементов системы.

### *Исполнительные устройства:*

#### 1. Приводы:

- электрические;
- гидро- и пневматические.

#### 2. Тепловые:

- электрические (ТЭНы, элементы Пельтье);
- теплообменники (основаны на приводах).

#### 3. Осветительные.

#### 4. Другие (электромагнитные клапаны, распределители и др.).

Операции управления исполнительными устройствами могут быть дискретными (включение/выключение, реверс двигателей)

и непрерывными (плавное изменение напряжения для управления скоростью вращения двигателей, теплоотдачи ТЭНов, яркости свечения ламп и т. д.).

***Элементы управления:***

1. Кнопки и клавиатуры.
2. Переменные резисторы для аналогового ввода информации.
3. Сложные устройства (например, сенсорные панели).

***Датчики:***

1. Дискретные:
  - контактные;
  - с выходом типа «открытый коллектор».
2. Аналоговые:
  - с унифицированным выходным сигналом (например, 0...10 В или 4...20 мА);
  - с нормированной номинальной статической характеристикой (например, стандартные термопары и термосопротивления);
  - с ненормированной номинальной статической характеристикой.
3. Цифровые.

***Элементы отображения:***

1. Сигнальные элементы (светодиоды, лампы и др.).
2. Буквенно-цифровые элементы индикации.
3. Сложные, в том числе графические.

**Связь** предусматривает последовательные цифровые интерфейсы для включения системы в структуры более высокого уровня.

### **3. РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ**

Если требуется разработка системы управления исполнительными устройствами с простым алгоритмом, использующим только дискретные операции, возможно использование релейно-контактных систем (РКС) без цифровых контроллеров.

Элементы системы:

1. Исполнительные устройства.
2. Кнопки.
3. Контактные датчики.
4. Элементы сигнализации (при необходимости).
5. Электромагнитные реле.

На схемах реле изображается в соответствии с ГОСТ ЕСКД следующим образом (рис. 3.1).

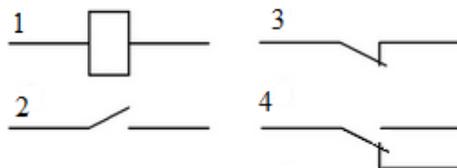


Рис. 3.1. Реле на электрических схемах:

1 – катушка реле; 2 – контакт нормально разомкнутый (замыкающий, *NO* – *Normal Open*); 3 – контакт нормально замкнутый (размыкающий, *NC* – *Normal Closed*); 4 – контакт переключающий

Основные характеристики реле:

1. Напряжение питания катушки (катушки могут питаться постоянным напряжением с типовыми значениями 12 и 24 В и переменным с типовыми значениями 36, 220 и 380 В).

2. Напряжение питания и ток нагрузки (можно подобрать реле практически для любых токов и напряжений).

3. Количество и тип контактных групп.

Предположим, что необходимо включать и выключать трехфазный электродвигатель мощностью 2,5 кВт. Простейшая схема коммутации показана на рис. 3.2.

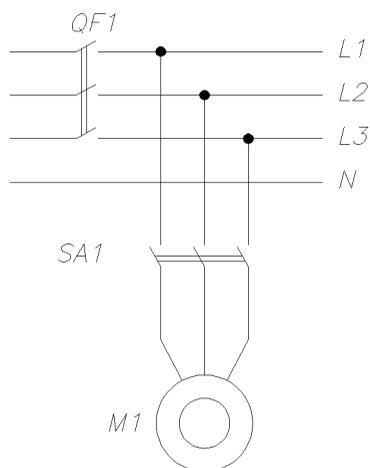


Рис. 3.2

Выключатель *SA1* позволяет замыкать и размыкать одновременно все три провода питания электродвигателя (*QF1* – автоматический выключатель). Схема выглядит простой и вполне работоспособной, однако у нее имеются существенные недостатки. Во-первых, приходится коммутировать вручную сильноточную цепь питания с напряжением 380 В, что нежелательно с точки зрения электробезопасности. Во-вторых, выключатель и установка могут находиться на расстоянии друг от друга, например, в разных помещениях. Коммутируемый ток ориентировочно равен  $2500 \text{ Вт} / 380 \text{ В} = 6,6 \text{ А}$ . Медный кабель на ток 10 А (взято с запасом) должен иметь сечение  $1,7 \text{ мм}^2$  на каждую фазу. Так как для сетей с напряжением 380 В сечение берется в 1,75 раза меньше, чем для сетей с напряжением 220 В, потребуется провод с сечением примерно  $1 \text{ мм}^2$  или диаметром 1,1 мм. Менее затратно будет использовать релейную схему включения (рис. 3.3).

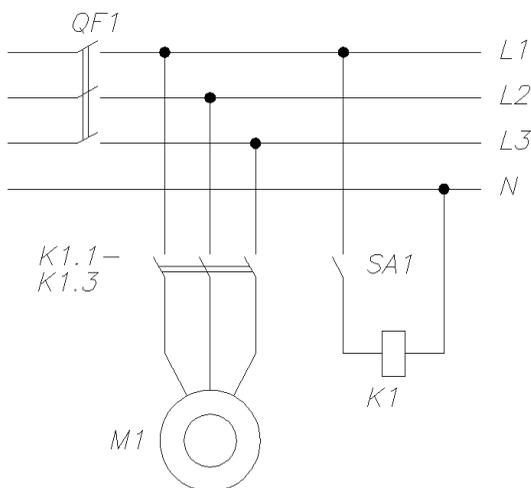


Рис. 3.3

Недостаток этой схемы заключается в фиксирующемся выключателе *SA1*. Если в процессе работы схемы пропадает напряжение питания, цепь катушки контактора остается замкнутой. Что в этом плохого? Вот возможная ситуация. В аварийной ситуации сработал автомат защиты сети, напряжение питания пропало, двигатель

остановился. Пользователь с интересом сует голову под кожух установки: «А что это у нас стряслось?». В это время проснувшийся электрик включает сработавший автомат, и двигатель вновь запускается. Хорошо, если вращающиеся элементы установки не заденут пользователя, но все может случиться. Поэтому желательно, чтобы в подобной ситуации при появлении питания цепь контактора оставалась разомкнутой. Используют схему с двумя нефиксирующимися кнопками – *SA1* «Пуск» и *SA2* «Стоп» (рис. 3.4).

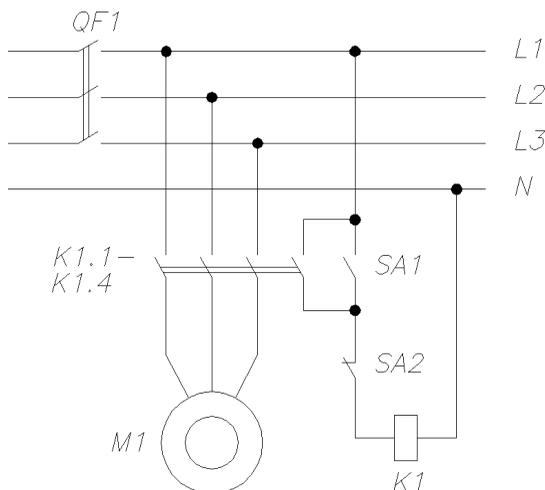


Рис. 3.4

При нажатии кнопки *SA1* срабатывает катушка контактора, замыкаются контакты *K1.1* – *K1.3* питания двигателя и контакт *K1.4*, блокирующий кнопку *SA1*. Теперь пользователь может отпустить ее, цепь питания катушки контактора останется замкнутой. Для остановки двигателя ее можно разомкнуть нормально замкнутой кнопкой *SA2*.

Рассмотрим пример схемы с реализацией простого алгоритма работы (рис. 3.5). В данном случае с помощью двух двигателей постоянного тока реализуется перемещение тележки сначала в одну сторону до замыкания первого конечного выключателя, затем движение в противоположную сторону до замыкания второго конечного выключателя и остановка.

При замыкании нормально открытых (н. о.) контактов кнопки *SB2* ток проходит через катушку реле *K1* и включает его. Замыкаются н. о. контакты *K1.3* и включается двигатель *M1* перемещения тележки влево. Двигатель питается постоянным током 115 В. При включении реле *K1* параллельно контактам кнопки *SB2* включаются контакты *K1.1*, что позволяет отпустить кнопку *SB2* без нарушения питания катушки реле *K1*.

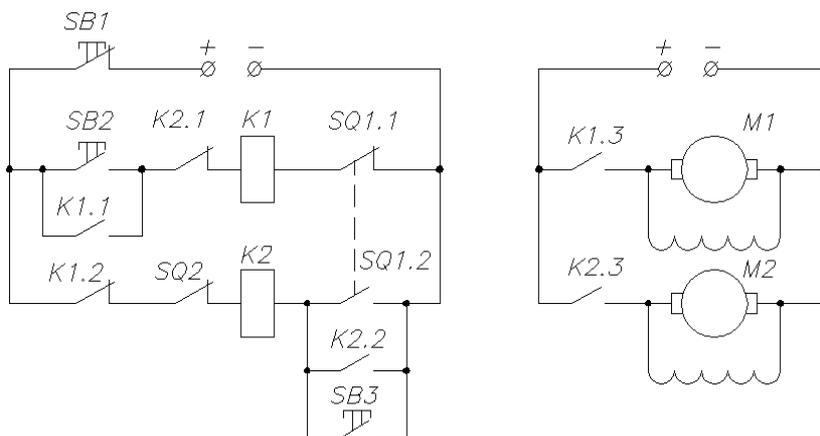


Рис. 3.5. Схема с реверсированием

Нормально закрытые (н. з.) контакты *K1.2* при включении реле *K1* размыкаются, что исключает возможность пуска двигателя обратного хода *M2* при включенном двигателе *M1*.

В конце хода тележка нажимает упором на конечный выключатель *SQ1* и размыкает н. з. контакт *SQ1.1* в цепи катушки реле *K1*, что приводит к выключению реле и разрыву контактов *K1.1* и *K1.3*, кнопка *SB2* больше не блокируется. Перемещение тележки после размыкания *SQ1.1* прекращается.

Н. з. контакты *K1.2* при выключении реле *K1* замыкаются, чем подготавливается цепь включения реле *K2* двигателя обратного хода *M2*.

Одновременно с размыканием н. з. контактов *SQ1.1* включаются н. о. контакты этого же конечного выключателя – *SQ1.2* в цепи *K2*. Реле *K2* получит питание через н. з. контакты *K1.2*, н. з. контакты конечного выключателя *SQ2* и замкнувшиеся контакты *SQ1.2*.

Н. о. контакты  $K2.3$  включают двигатель обратного хода  $M2$ , контакты  $K2.1$  блокируют н. о. контакты  $SQ1.2$ , которые разомкнутся после начала движения тележки в обратном направлении.

Н. з. контакты  $K2.2$  разомкнутся, что исключает возможность включения  $K1$ , т. е. двигателя  $M1$ .

Когда тележка вернется в исходное положение, ее упором нажимается конечный выключатель  $SQ2$  и его н. з. контакты размыкаются, реле  $K2$  выключается, и его контакты  $K2.3$  выключают  $M2$ , разрываются блокирующие контакты  $K2.1$ . Схема пришла в исходное положение.

В любой момент цикла тележка может быть остановлена нажатием на кнопку  $SB1$  («стоп»). Продолжение движения тележки в одном из направлений производится нажатием на кнопки  $SB2$  или  $SB3$ .

#### 4. СИСТЕМЫ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

Микроконтроллер по сути дела является микропроцессорной системой в интегральном исполнении, поэтому имеет в составе порты ввода-вывода и средства доступа к ним [2].

Первые микроконтроллеры называли «однокристалльными ЭВМ», так как в отличие от микропроцессоров они имели развитые средства ввода-вывода информации. Первый патент на однокристалльную микроЭВМ был выдан в 1971 году инженерам М. Кочрену и Г. Буну, сотрудникам американской *Texas Instruments*. Они предложили на одном кристалле разместить не только процессор, но и память с устройствами ввода-вывода. Первая серийная модель была выпущена *Intel* в 1976 году –  $i8048$ , а через четыре года появилась легендарная модель  $i8051$ .

В настоящее время выпускается огромное количество микроконтроллеров. Наиболее популярными у нас в стране являются следующие семейства:

- *AVR (Atmel)* с сериями *ATMega*, *ATiny*;
- *PIC (Microchip)*;
- *MCS 51*, архитектура разработана *Intel*, микроконтроллеры выпускаются различными производителями – *Atmel*, *Texas Instruments*, *Dallas Semiconductor*;
- *ARM*, архитектура разработана *ARM Limited*, основные производители – *Atmel*, *Texas Instruments*, *Analog Devices*.

Современные микроконтроллеры помимо вычислительного устройства и памяти имеют следующие средства для подключения внешних устройств и общения с внешним миром:

- от одного до шести (чаще всего 2...4) восьмиразрядных портов для ввода и вывода информации. Под портом понимается 8 линий ввода-вывода цифровых сигналов, логически объединенных друг с другом, фактически же каждая линия может использоваться отдельно. Каждая линия может быть либо установлена в состояние высокого или низкого уровня сигнала, либо контроллер может считывать с нее эти уровни;

- последовательные интерфейсы, например *UART, PC, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet*;

- входы ЦАП и выходы АЦП;

- входы компараторов;

- выходы с ШИМ.

Обычно все входы и выходы совмещены с линиями восьмиразрядных портов (в виде режимов работы), последовательные интерфейсы могут быть реализованы в виде отдельных линий.

Внутренняя структура микроконтроллера может дополнительно включать контроллеры устройств (двигатели, дисплеи, клавиатуры), радиоприемники и радиопередатчики, как обязательные элементы присутствуют флэш-память, тактовый генератор, таймеры.

На рис. 4.1 показано изображение на электрических схемах популярного микроконтроллера *ATMega32*.

Из рисунка видно, что микроконтроллер имеет 4 восьмиразрядных порта *PA, PB, PC, PD* (в некоторых моделях вместо этого приняты обозначения *P1, P2, P3, P4*). Цифры после обозначения порта – номер линии. Все порты универсальные, то есть работают на ввод и вывод, и «понимают» стандартные уровни ТТЛ (низкому уровню соответствует диапазон напряжений 0...0,8 В, высокому 2,4...5 В). Выходной ток портов 40 мА.

Все линии портов имеют одну или две дополнительные функции, которые задаются программно. Кратко их перечислим.

1. Входы АЦП (*ADC0 – ADC7*). Микроконтроллер имеет встроенный 10-разрядный АЦП с восемью каналами, которые поочередно опрашиваются. Время преобразования 13...260 мкс, опорное напряжение 2,56 В. Также можно использовать другое опорное напряжение, источник которого подключают к контакту *AREF*. Питание для

АЦП подается на контакт *AVCC* через цепочку *L1C3* (схема используется при необходимости шумоподавления и приведена в официальном описании микроконтроллера, вообще питание АЦП можно брать прямо от контакта *VCC* или от отдельного источника, причем  $AVCC = VCC \pm 0,3 \text{ В}$ ).

2. Последовательные интерфейсы *UART* (контакты *RXD*, *TXD*, *XCK*), *SPI* (контакты *SS*, *MOSI*, *MISO*, *SCK*), *Two-wire serial bus* (контакты *SCL*, *SDA*), *IEEE 1149 (TCK, TMS, TDO, TDI)*.

3. Входы и выходы внешнего таймера / счетчика (контакты *T0*, *T1*, *OC0*, *OC1A*, *OC1B*, *OC2*, *ICP1*).

4. Входы внешних прерываний (контакты *INT0*, *INT1*, *INT2*).

5. Входы компаратора (контакты *AIN0*, *AIN1*).

6. Выходы таймера (контакты *TOSC1*, *TOSC2*).

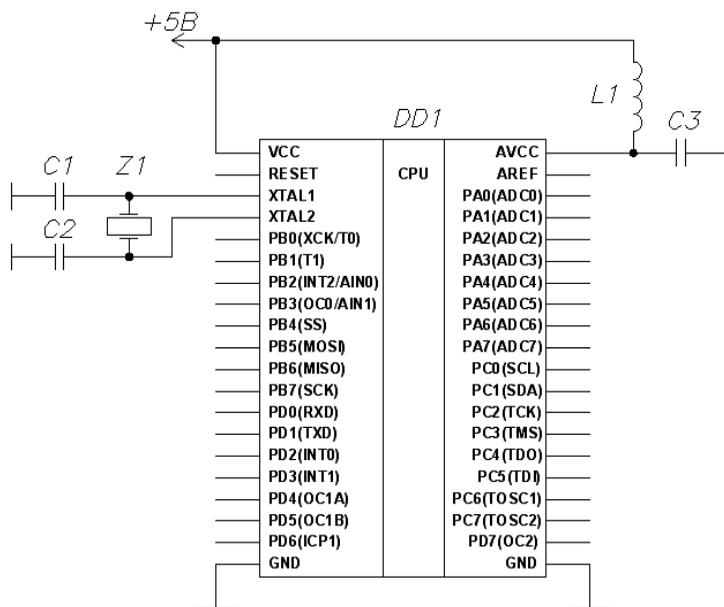


Рис. 4.1

Микроконтроллер питается напряжением 5 В, положительный полюс источника подключают к контакту *VCC*, отрицательный – к общей шине (*GND*). Работа микроконтроллера осуществляется пошагово (тактами). Чередование тактов происходит по командам,

в качестве которых выступают импульсы от тактового генератора. Задающий элемент генератора – кварцевый резонатор  $Z1$  – подключается к контактам микроконтроллера  $XTAL1$  и  $XTAL2$ . В соответствии с официальным описанием микроконтроллера частота резонатора до 1 МГц, при этом тактовая частота до 16 МГц.

При включении питания микроконтроллера происходит его сброс в исходное состояние. Если требуется внешний сброс по команде пользователя или электронного устройства, задействуют вход  $RESET$  в соответствии с техническим описанием микроконтроллера.

#### 4.1. Подключение исполнительных устройств к микроконтроллеру

Способ управления зависит не только от решаемых задач, но и от потребляемого устройством питания. Выходные линии портов микроконтроллера в зависимости от модели обеспечивают разный выходной ток – от 1 до 60 (бывает и более) мА. Поэтому основная проблема состоит в управлении мощной нагрузкой слабыми выходными токами. Рассмотрим способы подключения различной нагрузки в зависимости от ее питания [3].

1.  $U \leq 5 \text{ В}$ ,  $I \leq 100 \text{ мА}$

Нагрузка подключается через буферы (элементы НЕ или ДА) как показано на рис. 4.2.

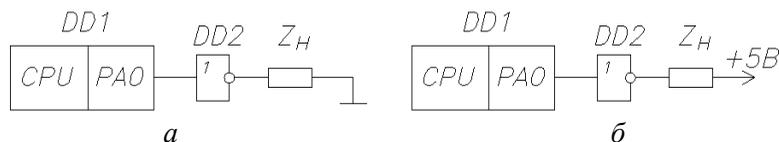


Рис. 4.2. Подключение нагрузки через буферы НЕ:  
*а* – включение высоким уровнем сигнала;  
*б* – включение низким уровнем сигнала

В варианте *а* нагрузка включается при низком уровне на выходе микроконтроллера, *б* – при высоком.

2.  $U \leq 100 \text{ В}$ ,  $I \leq 10 \text{ А}$

Нагрузка подключается через транзисторные ключи на биполярных, составных или МОП-транзисторах (рис. 4.3).

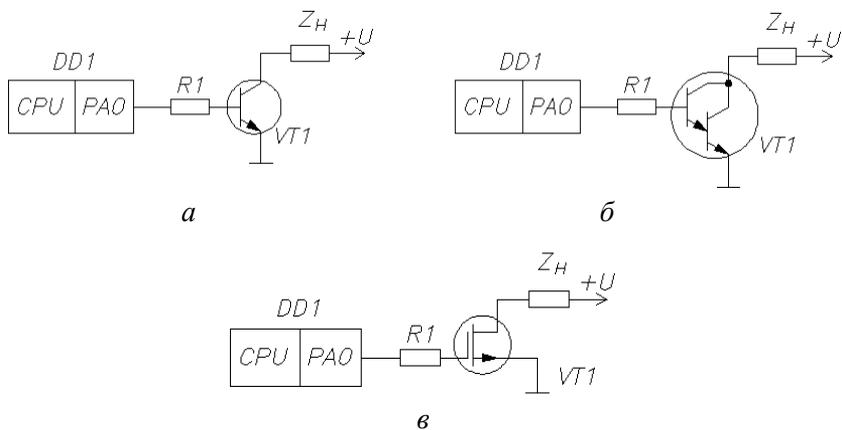


Рис. 4.3. Подключение нагрузки через транзисторные ключи:  
*a* – на биполярном транзисторе ( $U \leq 30$  В,  $I \leq 0,5$  А); *б* – на составном транзисторе ( $U \leq 100$  В,  $I \leq 10$  А); *в* – на МОП-транзисторе ( $U \leq 100$  В,  $I \leq 10$  А и более)

### 3. $U \leq 1000$ В, $I \leq 100$ А

Нагрузка подключается через тиристор, управляемый сигналом с выхода транзисторного усилителя (рис. 4.4).

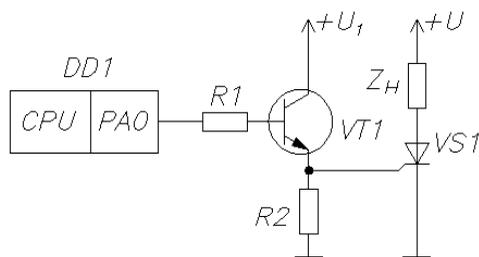


Рис. 4.4

Такая схема может использоваться и в цепях переменного тока, однако, следует учитывать, что при отсутствии прямого напряжения (при переходе переменного тока через ноль) тиристор закрывается и его снова нужно открыть импульсом на управляющем выводе. Поэтому дополнительно потребуется «датчик нуля», срабатывающий при нулевом значении переменного напряжения. В качестве датчика используют оптопары с двумя светодиодами. Для своих

контроллеров AVR фирма Atmel рекомендует программный датчик нуля (рис. 4.5).

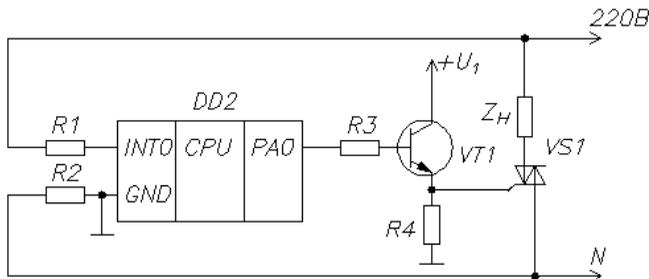


Рис. 4.5

Здесь используется работа по прерываниям. Сигнал от сетевого питания через резисторы  $R1$  и  $R2$  с большим сопротивлением (1 МОм) поступает на вход  $INT0$  и дает сигнал контроллеру о переходе напряжения через ноль (Внимание! В этой схеме ноль и фазу сетевого напряжения нельзя менять местами!).

4. Коммутация любой нагрузки с гальванической развязкой между цепями питания и управления может осуществляться с использованием реле и оптопар. С помощью реле можно управлять нагрузкой, питаемой также и переменным током. Схема с использованием электромагнитного реле показана на рис. 4.6.

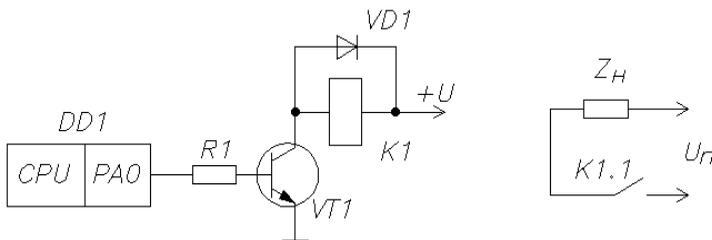


Рис. 4.6

Включение нагрузки производится в два этапа. Сначала командой от микроконтроллера включается транзисторный ключ  $VT1$ , который подключает к отдельному источнику питания катушку реле  $K1$ . Реле срабатывает и замыкает нормально открытый контакт  $K1.1$ , который находится в силовой цепи нагрузки. Параллельно катушке реле

в обратном по отношению к источнику питания направлении включен диод  $VD1$ , который предназначен для закорачивания на себя возникающей в катушке реле ЭДС самоиндукции. Таким образом, транзистор защищается от обратного напряжения самоиндукции.

Таким способом управляют различными видами нагрузки постоянного и переменного тока, требующими только включения-выключения: нагревательными элементами, двигателями, осветительными устройствами.

На рис. 4.7 показан пример схемы управления нагрузкой переменного тока на симисторе с гальванической развязкой (это делается для защиты цифровой схемы от помех и бросков напряжения, возникающих в силовой части системы), осуществляемой с помощью оптопары [4].

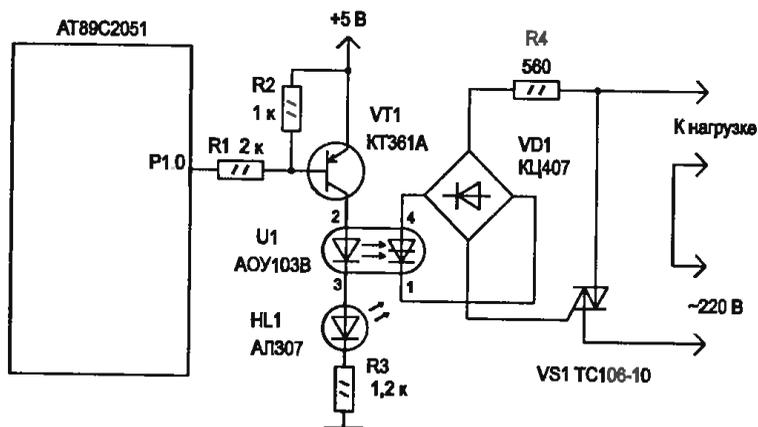


Рис. 4.7

Чтобы каждый раз после перехода питающего напряжения через ноль заново открывать симистор, сигнал с выхода микроконтроллера имеет вид коротких импульсов с частотой на порядок или более выше сетевой частоты.

Оптопары на транзисторах обеспечивают питание нагрузки напряжением до 40 В и током до 160 мА (бывает и больше, при разработке схемы требуется подбирать элементы по паспортным данным). Используются также оптореле на тиристорах, которые позволяют коммутировать нагрузку в цепях переменного тока.

Теперь рассмотрим некоторые примеры подключения электродвигателей.

*Двигатели постоянного тока.*

Для изменения направления вращения ДПТ требуется изменить полярность питающего напряжения. Обычно это реализуется схемой с четырьмя ключами (рис. 4.8) [5].

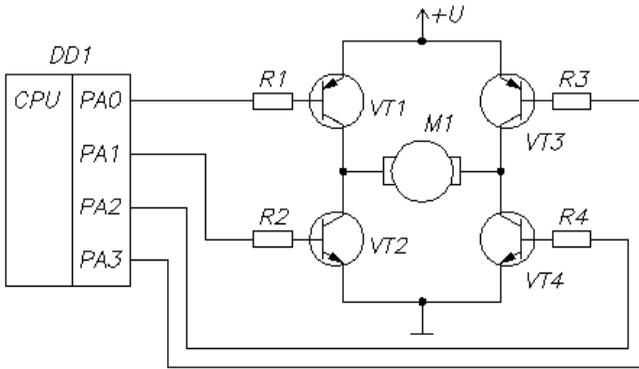


Рис. 4.8

Из рисунка видно, что при коммутации двигателя ключами  $VT1$  и  $VT4$  двигатель будет вращаться в одну сторону, ключами  $VT2$  и  $VT3$  – в другую. Выбор ключей зависит от параметров питания двигателя. Это могут быть не только транзисторные ключи, но и контакты реле. Такую схему называют *H*-мост.

С использованием такой схемы кроме реверсирования можно управлять скоростью вращения двигателя. Регулирование величины питающего напряжения осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ, рис. 4.9).

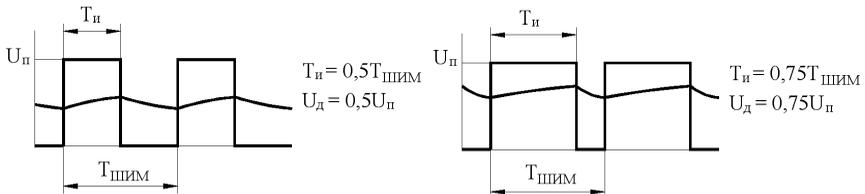


Рис. 4.9

Суть метода заключается в том, что ключи, коммутирующие нагрузку, работают не постоянно, а в импульсном режиме с постоянной частотой импульсов. При этом, изменяя длительность импульсов, можно задавать различное действующее значение напряжения на нагрузке.

Вариант реализации H-моста на реле показан на рис. 4.10.

В этом случае возможен только реверс без регулирования скорости вращения.

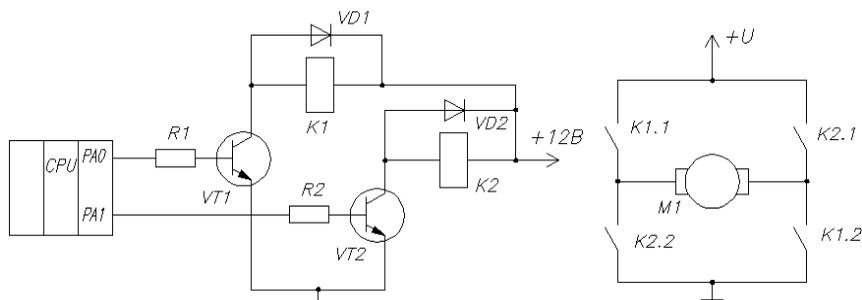


Рис. 4.10

### Однофазные двигатели переменного тока.

При управлении от микроконтроллера наиболее удобен амплитудный метод, когда скоростью вращения управляют изменением действующего значения питающего напряжения. На рис. 4.11 показана схема управления с симисторным ключом. Здесь для регулирования величины действующего напряжения на двигателе используется фазовый метод.

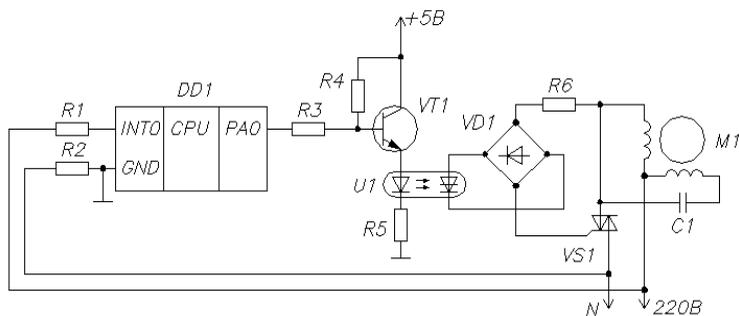


Рис. 4.11

Фазовый метод иллюстрируется рис. 4.12. Схема управления должна иметь в составе «датчик нуля», который выдает импульсы в момент перехода синусоиды питающего напряжения  $U_c$  через ноль. Цифровая схема, получив такой импульс, отсчитывает так называемое фазовое время  $T_\phi$ , после чего выдает сигнал для коммутации ключа (тиристора или симистора  $VS1$ ). Нагрузка окажется подключенной к питающему напряжению, но при переходе через ноль тиристорный ключ снова закроется и будет открыт импульсом от цифровой схемы через новый интервал фазового времени и т. д. Чем больше  $T_\phi$ , тем меньше будет действующее напряжение на нагрузке.

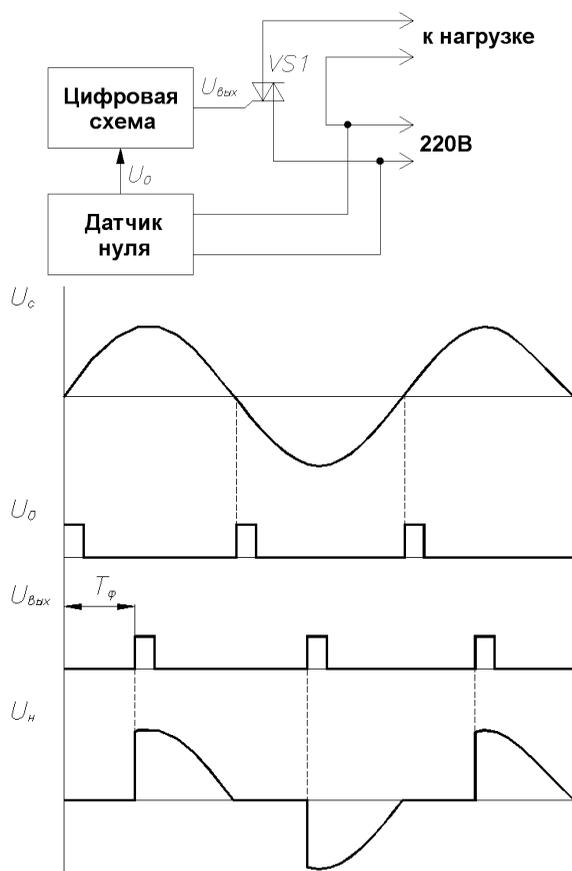


Рис. 4.12

Вместо отсчитывания фазового времени цифровая схема может отсчитывать число моментов перехода через ноль и выдавать команды на открытие тиристорного ключа, пропуская часть полупериодов (алгоритм Брезенхема). Чем больше полупериодов питающего напряжения пропущено, тем меньше будет действующее напряжение на нагрузке. Например, если тиристорный ключ исключает 3 периода из 10, то действующее напряжение составляет 70 % от номинального.

Для изменения направления вращения меняют местами обмотки управления и возбуждения двигателя (обмотка возбуждения подключена к сети через фазосдвигающий конденсатор  $C1$ ). Такое переключение может быть реализовано с помощью реле. На досуге попробуйте изобразить такую схему самостоятельно.

### *Трехфазные двигатели переменного тока.*

Для регулирования скорости вращения используется изменение частоты питающего напряжения. С этой целью однофазное переменное напряжение выпрямляется и соответствующим образом коммутируется шестью ключами (рис. 4.13), которые управляются от микроконтроллера.

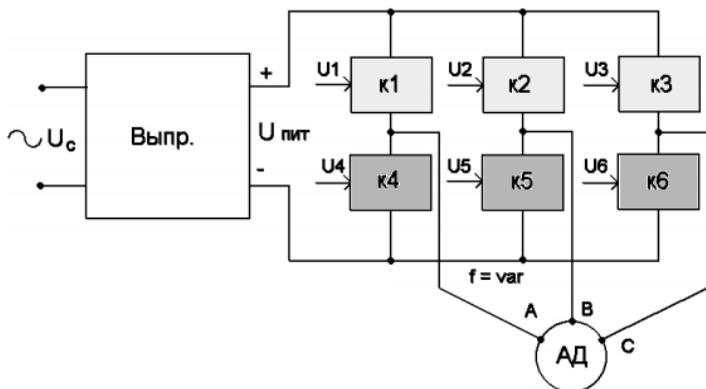


Рис. 4.13

Для создания переменного трехфазного напряжения весь период питания  $T$  делится на шесть тактов (фаз) путем коммутации ключей  $K1 - K6$  таким образом, что в каждый такт включены три ключа: один «верхний» ( $K1 - K3$ , обозначены желтым) и два «нижних» ( $K4 - K6$ , обозначены зеленым), либо один «нижний» и два «верх-

них». Для нормальной работы двигателя одновременно с частотой требуется изменять амплитуду питающего напряжения, чтобы их отношение оставалось постоянным. Для изменения амплитуды напряжения в каждый такт на последовательный ключ – «верхний» или «нижний» (тот, который работает один) – подается ШИМ задаваемой скважности. Диаграмма напряжений показана на рис. 4.14.

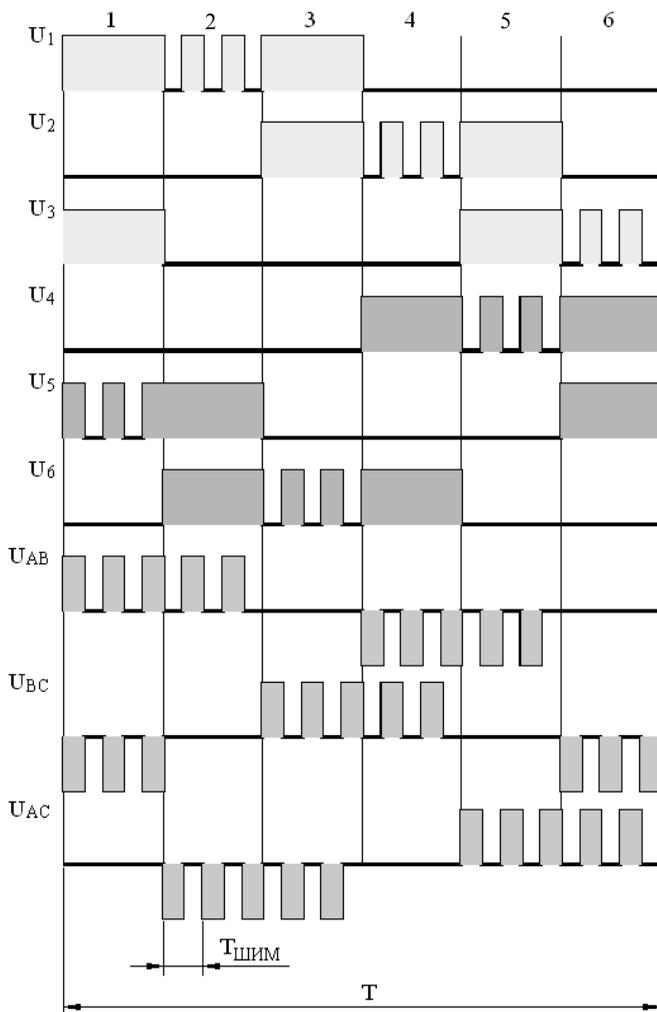


Рис. 4.14

Алгоритм управления достаточно сложный. На практике для его реализации используют специализированные микроконтроллеры или преобразователи частоты.

### *Шаговые двигатели.*

Скоростью вращения шаговых двигателей управляют частотой переключения обмоток (частотой тактовых импульсов), направлением вращения – последовательностью переключения обмоток. Используются несколько способов управления шаговыми двигателями:

- непосредственно от микроконтроллера;
- от специального микроконтроллера;
- от микроконтроллера через специальные микросхемы (драйверы).

При управлении непосредственно от микроконтроллера биполярные и униполярные двигатели включаются по разным схемам. У биполярного двигателя в процессе работы требуется изменение полярности питания обмоток, поэтому каждая из них подключается по схеме с четырьмя ключами (*H*-мост), как показано на рис. 4.15 [6]. Ключи управляются микроконтроллером по требуемому алгоритму. Всего для одного двигателя потребуется 8 ключей, например, транзисторных, или мостовой драйвер в интегральном исполнении, например *L293* (КР1128КТ3А) и *L298* фирмы *SGS-Thomson*.

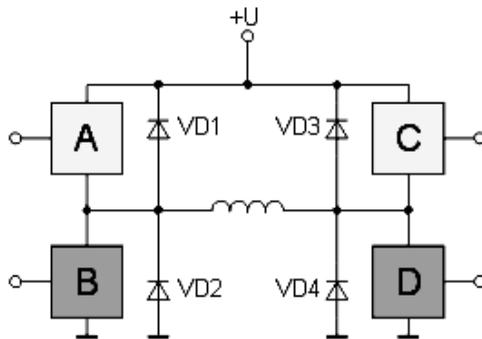


Рис. 4.15

При управлении униполярным двигателем с четырьмя отдельными обмотками каждая из них коммутируется своим ключом, например транзисторным, как показано на рис. 4.16 [3].

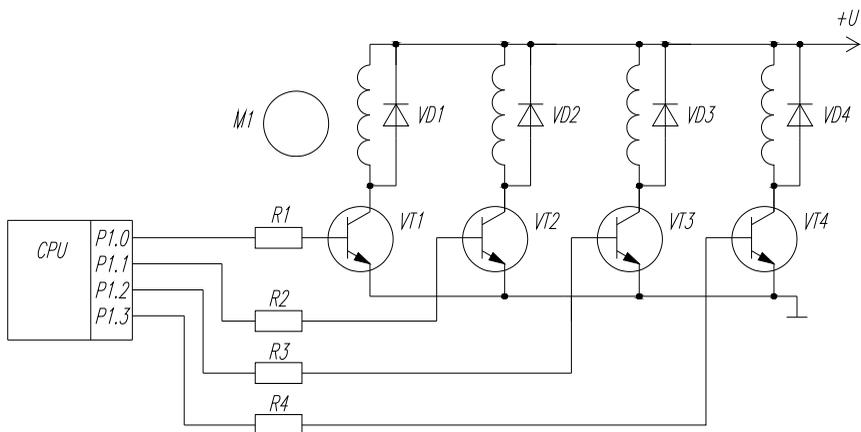


Рис. 4.16

Управление с меньшей нагрузкой микроконтроллера можно реализовать с помощью специальных микросхем, выпускаемых различными фирмами. Пример управления биполярным двигателем с помощью драйвера L297 фирмы SGS-Thomson показан на рис. 4.17 [6]. Назначение управляющих выводов: *DIRECTION* – направление вращения, *CLOCK* – тактовые импульсы, *HALF/FULL* – полушаговый/шаговый режим, *ENABLE* – включение-выключение.

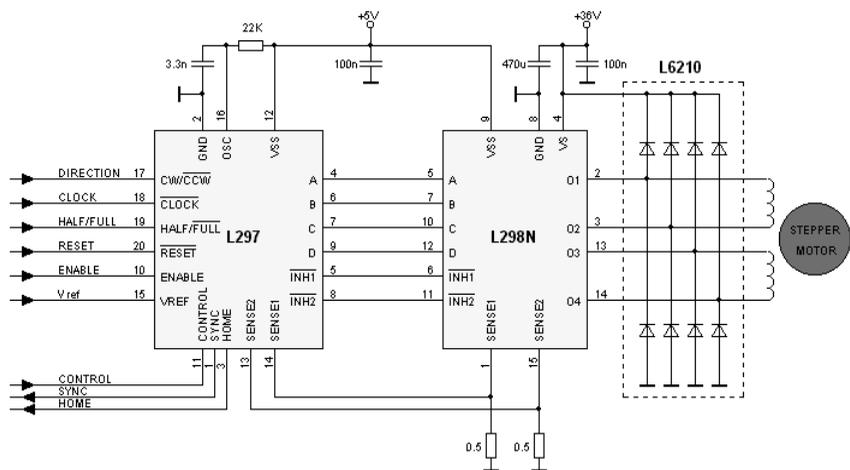


Рис. 4.17

Некоторые микросхемы предназначены специально для работы в микрошаговом режиме. Примером может служить микросхема A3955 фирмы *Allegro*. Она имеет встроенный 3-битный нелинейный ЦАП для задания изменяющегося по синусоидальному закону тока фазы и позволяет делить шаг на 8 частей.

## 4.2. Подключение кнопок к микроконтроллеру

Возможны следующие варианты подключения (рис. 4.18).

На рис. 4.18, *а* клавиша SA1 при замыкании создает на входе микроконтроллера низкий уровень сигнала, то есть «0», а в разомкнутом виде высокий, то есть «1». Резистор R1 ограничивает входной ток. Например, если на входе микроконтроллера допустимый ток составляет 2,5 мА, значение сопротивления резистора  $R1 = 5 \text{ В} / 2,5 \text{ мА} = 2000 \text{ Ом}$ .

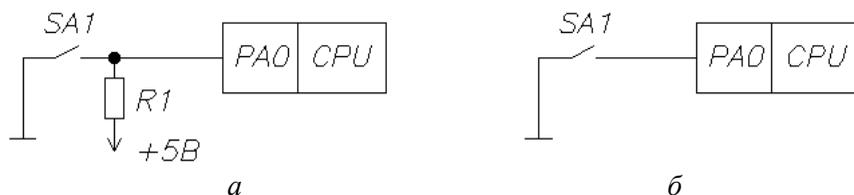


Рис. 4.18. Подключение клавиш к микроконтроллеру:

*а* – подключение с внешним резистором; *б* – подключение с использованием внутреннего резистора

Многие микроконтроллеры, например, из серии AVR, позволяют заменить токоограничивающий резистор R1 внутренним нагрузочным резистором, который включается программно. В этом случае схема подключения будет выглядеть как на рис. 4.18, *б* [4].

Обычно таким способом можно подключить максимум 8...10 клавиш, чтобы остались свободные линии для других устройств ввода-вывода. Если клавиш больше, чем свободных линий ввода-вывода, используют клавиатуры со сканированием. Это позволяет подключить к одному восьмиразрядному порту 16 клавиш, к двум – 64 клавиши.

Схема 12-клавишной сканирующей клавиатуры показана на рис. 4.19.

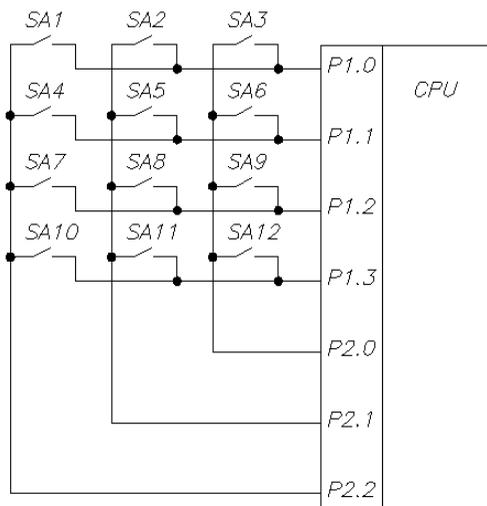


Рис. 4.19. Клавиатура со сканированием

Клавиши расположены в узлах матрицы, у которой четыре линии строк и три линии столбцов. На линии столбцов (порт  $P2$ ) по очереди подается отрицательный импульс. В этот момент проверяется состояние четырех линий строк (порт  $P1$ ). Если нажатых клавиш нет, все линии строк имеют высокий уровень (они подключены к напряжению +5 В через внутренние нагрузочные резисторы). Если же клавиша нажимается, и на линии столбца, соответствующего нажатой клавише, все еще ноль, то соответствующая линия строки также становится равной нулю. Зная номера столбца и строки, можно получить позицию нажатой клавиши.

Состояния линий входного порта при нажатии некоторых клавиш приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Клавиша	$P2.0$	$P2.1$	$P2.2$	$P1.0$	$P1.1$	$P1.2$	$P1.3$
SA1	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	0	1	1	1

Клавиша	P2.0	P2.1	P2.2	P1.0	P1.1	P1.2	P1.3
SA5	0	1	1	1	1	1	1
	1	0	1	1	0	1	1
	1	1	0	1	1	1	1
SA9	0	1	1	1	1	0	1
	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	1	1

Как видно из таблицы, комбинация состояний входного порта (строки) для каждой нажатой клавиши уникальна.

Другой способ подключения клавиш к меньшему количеству линий ввода-вывода – подключение через устройство, генерирующее на выходе параллельный или последовательный код, соответствующий нажатой клавише. В качестве такого устройства может использоваться специальный контроллер клавиатуры. Контроллеры клавиатуры генерируют на выходе код (чаще всего последовательный) нажатой клавиши. Количество подключаемых клавиш зависит от разрядности контроллера. Например, восьмиразрядный контроллер позволяет подключить  $2^8 - 1 = 127$  клавиш. Так реализована клавиатура персонального компьютера, хотя в ней имеются клавиши с шестнадцатиразрядными кодами, передаваемыми в два этапа.

### 4.3. Подключение датчиков к микроконтроллеру

#### 1. Аналоговые датчики.

Канал измерения выполняется в соответствии со схемой на рис. 4.20.

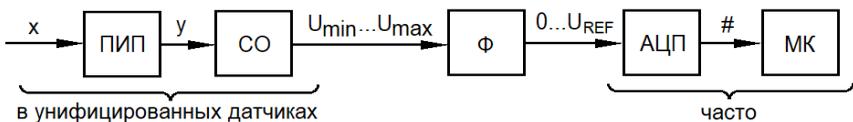


Рис. 4.20

Здесь ПИП – первичный измерительный преобразователь; СО – схема обработки сигнала; Ф – формирователь; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер. Фигурными скобками показаны варианты объединения элементов.

Рассмотрим несколько примеров.

Предположим, что мы хотим измерять температуру в диапазоне  $0 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$  термопарой типа  $L$  (хромель-копелевая). ТермоЭДС в указанном диапазоне температур изменяется в пределах  $0 \dots 40,299 \text{ мВ}$  (СТБ ГОСТ Р 5.585 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования). При использовании АЦП с  $U_{\text{REF}} = 5 \text{ В}$  требуемый коэффициент усиления составит  $K = 5000 / 40,299 = 124$ . Составим схему неинвертирующего усилителя, как показано на рис. 4.21.

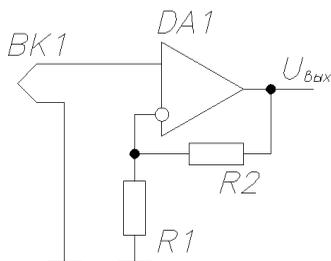


Рис. 4.21

Коэффициент усиления схемы  $K = 1 + \frac{R2}{R1} = 124$ , то есть

$R2 = 124 \cdot R1$ . Примем стандартные номиналы резисторов  $R1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R2 = 120 \text{ кОм}$ , получив коэффициент усиления  $K = 121$  и соответственно сигнал на выходе  $U_{\text{вых}} = 4,876 \text{ В}$ .

Теперь предположим, что мы хотим измерять те же температуры платиновым термометром сопротивления (ТС) с градуировкой Pt100. Его сопротивление в диапазоне температур  $0 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$  изменяется в пределах  $100 \dots 280,98 \text{ Ом}$ . У нас имеется несколько вариантов включения. По двухпроводной схеме ТС может включаться в делитель напряжения или в мост Уитстона, по трехпроводной – в мост Уитстона.

Рассмотрим схему с делителем напряжения (рис. 4.22).

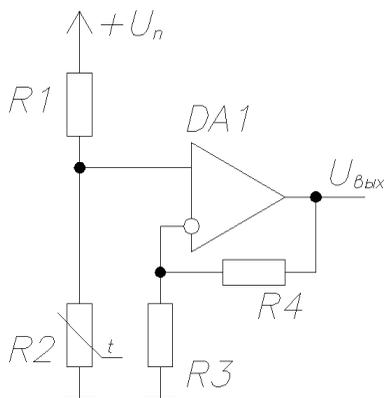


Рис. 4.22

Напряжение на выходе делителя напряжения рассчитывается по формуле:

$$U = U_{\text{п}} \frac{R2}{R1 + R2}. \quad (4.1)$$

Пусть  $U_n = 5 \text{ В}$ . Выберем значение  $R1 = 5,1 \text{ кОм}$ . Его выбирают достаточно большим, чтобы ток через делитель не превышал  $1 \text{ мА}$ . Это обусловлено недопустимостью саморазогрева терморезистора, приводящему к повышению сопротивления более чем на  $20\%$  допуска\*. В этом случае напряжение на выходе делителя будет находиться в пределах  $96 \dots 261 \text{ мВ}$ . При коэффициенте усиления  $K = 19$  напряжение на выходе схемы будет в пределах  $1,8 \dots 4,96 \text{ В}$ . Недостатком схемы является начало диапазона выходных напряжений не от нуля. Это приведет к тому, что часть (в данном случае  $36\%$ ) диапазона АЦП не будет использоваться.

Введем в схему смещение (рис. 4.23).

---

\* ГОСТ 6651-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытания.

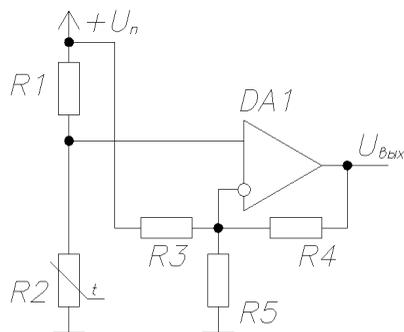


Рис. 4.23

Выходное напряжение схемы найдем как:

$$U_{\text{вых}} = U \left( 1 + \frac{R4}{R5} + \frac{R4}{R3} \right) - U_{\text{п}} \frac{R4}{R3}. \quad (4.2)$$

Второе слагаемое и есть смещение. Изменение напряжения на выходе делителя  $U = 0,261 - 0,096 = 0,165$  В. Оно должно быть усилено до значения примерно 5 В, что потребует коэффициента усиления  $K = 30$ . Получим диапазон выходных напряжений 2,88...7,83. Для попадания в диапазон 0...5 В потребуется смещение в пределах 2,83...2,88 В. Для подбора резисторов нужно совместно решить уравнения:

$$1 + \frac{R4}{R5} + \frac{R4}{R3} = 30, \quad U_{\text{п}} \frac{R4}{R3} = 2,83...2,88. \quad (4.3)$$

Выберем стандартные номиналы резисторов  $R3 = 100$  кОм,  $R4 = 56$  кОм,  $R5 = 2$  кОм. Выходное напряжение схемы будет в пределах 0,04...4,9 В, что почти полностью заполняет диапазон АЦП.

Тот же терморезистор с двухпроводным выходом можно подключить к мостовой схеме (рис. 4.24).

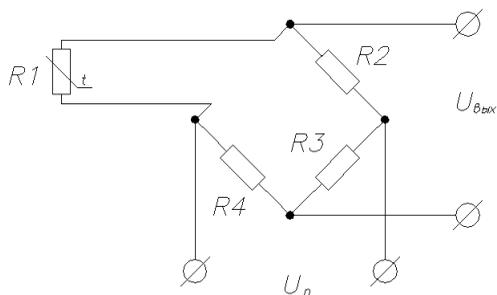


Рис. 4.24

В такой схеме (четвертьмост) выходное напряжение рассчитывается как:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{п}} \left( \frac{R1}{R1 + R2} - \frac{R4}{R3 + R4} \right). \quad (4.4)$$

Так как при нулевой температуре  $R1 = 100 \text{ Ом}$ , то для обеспечения тока через него не более  $1 \text{ мА}$  и при напряжении питания  $U_n = 5 \text{ В}$  потребуется  $R4 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R2 = R3 = 5,1 \text{ кОм}$ . В результате в измеряемом диапазоне температур выходное напряжение будет изменяться в пределах  $0 \dots 33 \text{ мВ}$ . Для подключения к АЦП требуется усилитель с  $K = 151,5$ .

Схема на рис. 4.24 имеет недостаток: терморезистор соединяется с мостом медным кабелем, иногда приличной длины, причем медь имеет большой температурный коэффициент сопротивления, что вызывает появление температурной погрешности (рис. 4.25,  $R_k$  – сопротивление кабеля).

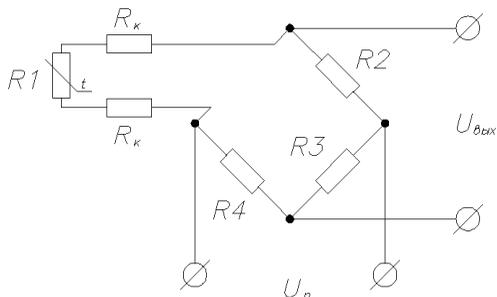


Рис. 4.25

Поэтому при точных измерениях используют трехпроводную схему подключения (рис. 4.26, а). Температурная погрешность кабеля исключается благодаря наличию сопротивлений  $R_k$  в соседних плечах (рис. 4.26, б), что приводит к взаимной компенсации их изменений.

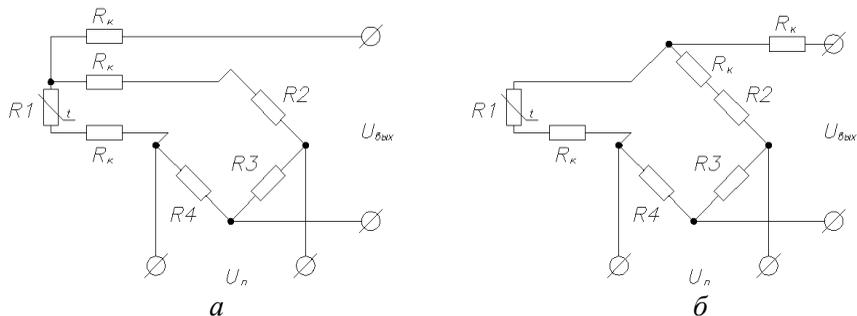


Рис. 4.26

Производители электронных компонентов выпускают АЦП, адаптированные к подключению термопар и терморезисторов, для термопар зачастую с возможностью подключения дополнительного датчика для компенсации температуры холодного спая (рис. 4.27).

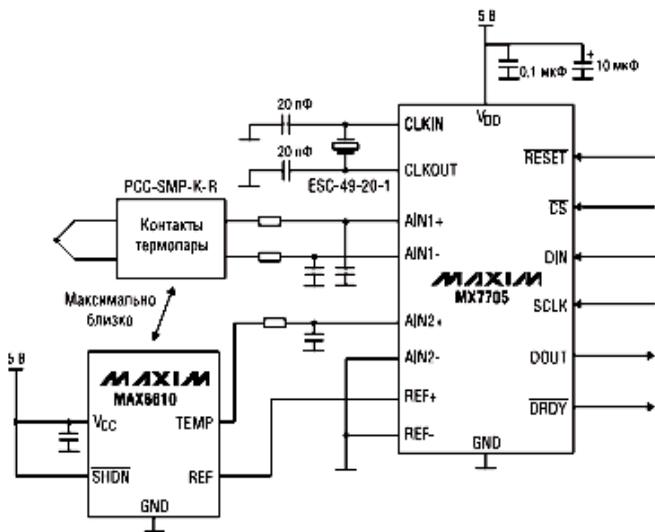


Рис. 4.27. Подключение ТП к АЦП MAX7705 с интегральным датчиком температуры MAX6610 [7]

Серийно выпускаемые датчики могут иметь унифицированный аналоговый выходной сигнал в виде напряжения или тока.

Сигнал в виде напряжения приведен к одному из стандартных диапазонов  $0 \dots U_{\max}$ , например,  $0 \dots 10$  В. Его подключают к входу АЦП, при необходимости уменьшая выходной сигнал с помощью делителя напряжения (рис. 4.28).

Сигнал в виде тока («токовая петля») обычно имеет диапазон  $4 \dots 20$  мА (также используют диапазоны  $0 \dots 20$  мА или  $0 \dots 5$  мА). Многие цифровые схемы управления, например ПЛК, «понимают» этот формат без дополнительного преобразования. Если нужно подключать такой датчик к АЦП, ток преобразуют в падение напряжения на резисторе (рис. 4.29).

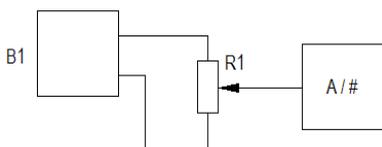


Рис. 4.28

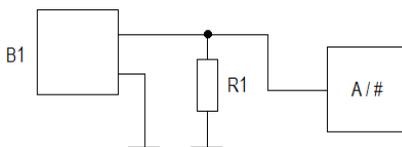


Рис. 4.29

Для попадания в диапазон АЦП  $0 \dots 5$  В номинал резистора выбирается равным стандартному значению 240 Ом. Сигнал на входе АЦП будет в пределах  $0,96 \dots 4,8$  В.

Для облегчения работы с датчиками выпускают специализированные микросхемы *Analog Front-End (AFE)*.

В частности, для подключения к микроконтроллеру тензодатчиков силы и веса используют специализированные АЦП, например AD7730 (рис. 4.30). Полномостовая схема  $R1 - R4$  подключена к АЦП DD1. Сигнал с выхода АЦП поступает на линию P3.3 микроконтроллера DD2. Линии P3.0, P3.1, P3.2 используются для управления АЦП.

## 2. Дискретные датчики.

Дискретные датчики могут иметь на выходе сигнал типа «сухой контакт» или «открытый коллектор».

Выход «сухой контакт» представляет собой контакты электромагнитного реле, и подключается аналогично кнопкам.

Примерами таких датчиков являются устройства, в названии которых имеется слово «реле»: термореле, фотореле, реле давления и т. д. Как правило, они имеют в составе измерительную цепь с первичным

преобразователем, датчики уровней срабатывания и встроенные электромагнитные реле. Пример термореле показан на рис. 4.31.

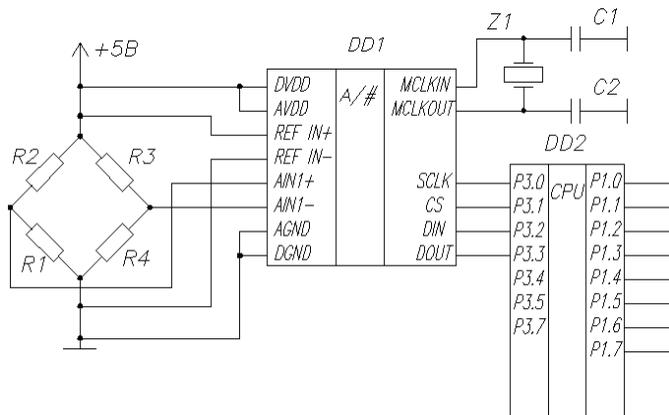


Рис. 4.30

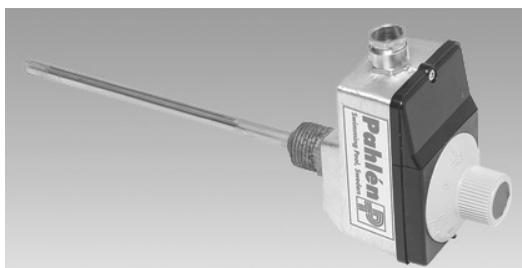


Рис. 4.31

Простейший вариант датчика с сухим контактом – концевой выключатель (датчик положения). Примеры показаны на рис. 4.32.



Рис. 4.32

Выход «открытый коллектор» обозначается в документации *NPN* или *PNP* в зависимости от типа используемого транзисторного ключа. Датчик имеет три провода и рассчитан на подключение электромагнитного реле (рис. 4.33).

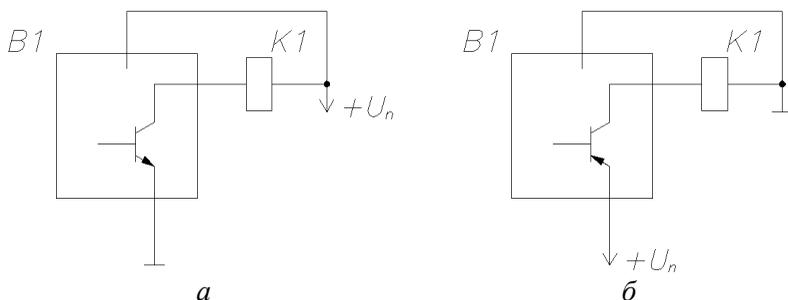


Рис. 4.33. Виды датчиков:  
*а* – датчик с *NPN*-выходом; *б* – датчик с *PNP*-выходом

Видно, что катушка реле является нагрузкой транзисторного ключа. Напряжение питания датчиков обычно 12 или 24 В.

При подключении к микроконтроллеру вместо катушки реле выход нагружают резистором.

Выходной сигнал требуется привести к 5-вольтовому уровню с помощью делителя напряжения (рис. 4.34).

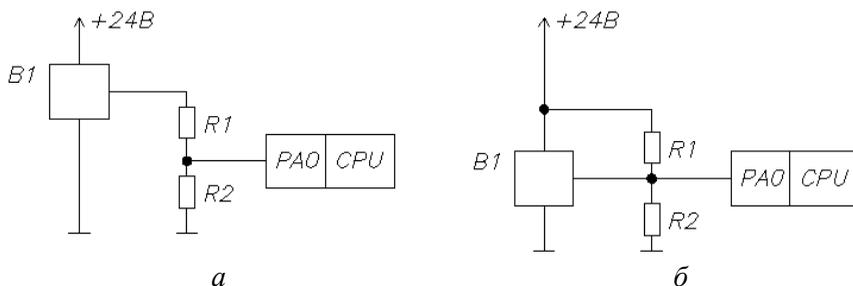


Рис. 4.34. Делитель напряжения:  
*а* – в датчике типа *PNP*; *б* – в датчике типа *NPN*

Здесь нагрузкой для транзисторного ключа датчика является делитель  $R1R2$ . Его суммарное сопротивление выбирают таким обра-

зом, чтобы выходной ток датчика не превышал допустимого значения. Например, если при напряжении питания 24 В ток нагрузки не должен превышать 100 мА, то сопротивление делителя должно быть не менее 240 Ом. Для рис. 4.34, а можно выбрать  $R1 = 4,7$  кОм,  $R2 = 1$  кОм. Тогда при срабатывании датчика уровень сигнала на входе микроконтроллера будет равен 4,2 В, что распознается как высокий уровень.

К дискретным датчикам также относят оптопары (рис. 4.35).

На рис. 4.36 показано подключение к микроконтроллеру транзисторной оптопары  $U1$ , состоящей из ИК светодиода и фототранзистора. В процессе работы на светодиод через резистор  $R1$  подается питание, и он излучает в инфракрасном диапазоне. Резистор  $R1$  выбирается по закону Ома в соответствии с требуемыми значениями тока и напряжения зажигания светодиода. Если между светодиодом и фототранзистором открытое пространство, фототранзистор открыт, и на входе контроллера сигнал низкого уровня. При появлении препятствия световой поток прерывается, транзистор закрывается, сигнал на входе контроллера переходит в состояние высокого уровня.

Для удобства подключения на корпусе оптопары может быть маркировка, например,  $A$  и  $K$  – анод и катод светодиода,  $E$  и  $C$  – эмиттер и коллектор фототранзистора.



Рис. 4.35

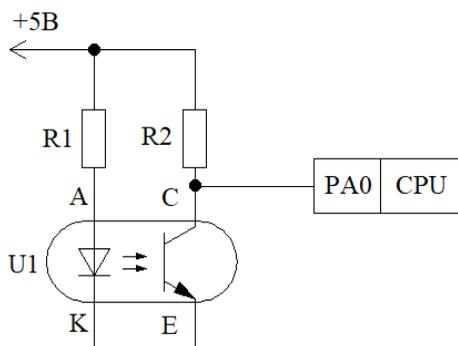


Рис. 4.36

В качестве дискретных датчиков положения используются датчики Холла (рис. 4.37). При приближении магнита выходной сигнал переходит из низкого уровня в высокий. Подключение к контроллеру

осуществляется в соответствии с техническим описанием, например, для датчика *SS41F* подключение показано на рис. 4.38.



Рис. 4.37

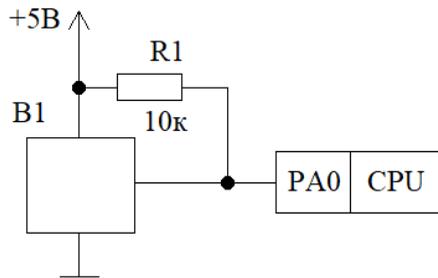


Рис. 4.38

В схемах на микроконтроллерах для измерения углов поворота и линейных перемещений широко используются импульсные датчики.

Инкрементный датчик представляет собой вращающийся диск с прорезями или отверстиями в комбинации с оптопарой. При прохождении прорези мимо оптопары на ее выходе формируется импульс, который поступает на вход микроконтроллера. Если микроконтроллер работает в режиме счета импульсов, измеряется угол поворота диска, если измеряется временной интервал между импульсами или число импульсов в единицу времени – измеряется скорость вращения. Как это выглядит «живьем» можно увидеть, разобрав механическую компьютерную мышь (с шариком).

Схема подключения датчика к микроконтроллеру показана на рис. 4.39.

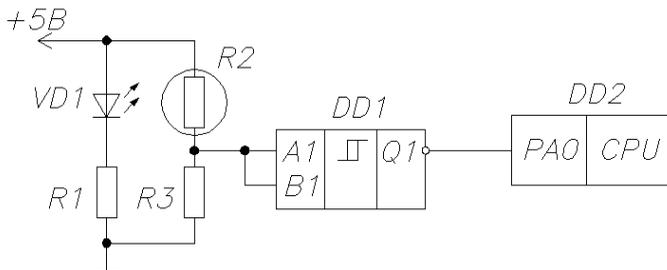


Рис. 4.39. Подключение инкрементного датчика к микроконтроллеру

Излучатель оптопары – светодиод  $VD1$ , включенный через резистор  $R1$ , приемник – фоторезистор  $R2$ , включенный по схеме делителя напряжения с резистором  $R3$ . Пока фоторезистор не освещен, его темновое сопротивление достаточно велико, чтобы сигнал на входе триггера Шмитта  $DD1$  был ниже порога срабатывания. При попадании на фоторезистор света его сопротивление резко падает, и на вход триггера Шмитта поступает импульс, который с выхода триггера попадает на вход микроконтроллера. Триггер выступает в роли формирователя, который из «некрасивого» входного импульса делает аккуратный цифровой с переходом сначала из высокого уровня в низкий, а затем наоборот.

Инкрементный датчик может использоваться только при постоянном направлении вращения диска. В случае реверса, например, в той же компьютерной «мышь», микроконтроллер продолжит увеличивать угол поворота, в то время как тот уменьшается. В таких случаях используют инкрементно-декрементные датчики, распознающие направление вращения. Один из вариантов (примером снова является компьютерная «мышь») – с дифференциальным фотоприемником. Схема подключения показана на рис. 4.40.

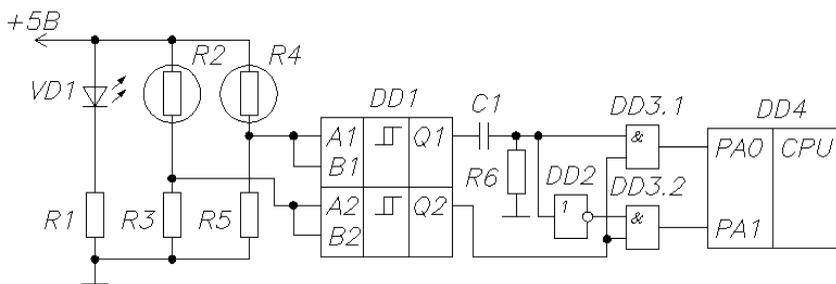


Рис. 4.40

Чтобы разобраться, как происходит определение направления вращения, рассмотрим диаграмму на рис. 4.41 [8].

Предположим, что при вращении по часовой стрелке ( $CW$ , *clockwise*) сначала появляется импульс на выходе триггера Шмитта  $Q1$ , затем на выходе  $Q2$ . Сигнал с выхода  $Q1$  проходит через дифференцирующую цепь  $R6C1$  ( $Q1-RC$  на рисунке), затем разветвляется на два сигнала, один из которых проходит через элемент НЕ  $DD2$ .

Полученные таким образом два сигнала умножаются на сигнал с выхода  $Q2$ . В результате на входе  $PA0$  импульсы отсутствуют, на входе  $PA1$  будут импульсы положительной полярности. При вращении диска против часовой стрелки ( $CCW$ , counter-clockwise) импульсы появятся на выходе  $PA0$ . Таким образом, микроконтроллер, складывая или вычитая импульсы, может постоянно отслеживать позицию диска.

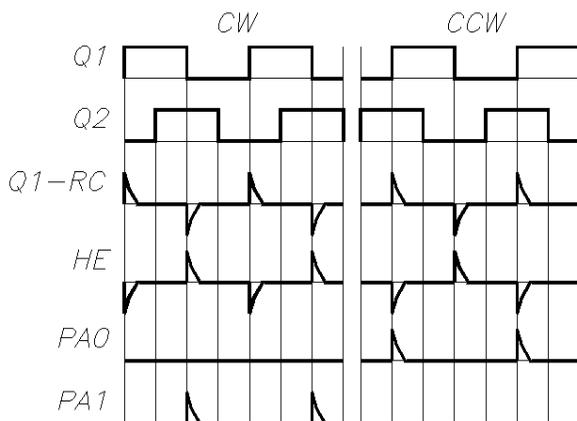


Рис. 4.41

#### 4.4. Подключение устройств отображения к микроконтроллеру

##### 1. Сигнальные элементы.

Наиболее простой сигнальный индикатор – светодиод. Многие микроконтроллеры обеспечивают выходной ток, достаточный для зажигания светодиода. Если же светодиод потребляет ток, больший, чем может обеспечить микроконтроллер, его подключают через буфер (рис. 4.42).

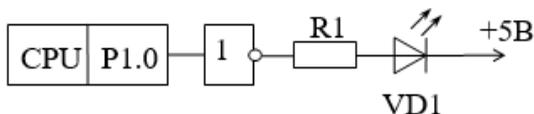


Рис. 4.42. Подключение светодиода к микроконтроллеру

Резистор  $R1$  предназначен для ограничения тока через светодиод VD1. Его сопротивление рассчитывается по закону Ома. Например, для красного светодиода АЛ307БМ номинальные ток и напряжение  $I = 10 \text{ мА}$ ,  $U = 2 \text{ В}$ . При напряжении питания 5 В падение напряжения на резисторе должно быть 3 В при токе 10 мА, то есть значение сопротивления  $R1 = 3 \text{ В} / 10 \text{ мА} = 300 \text{ Ом}$ . Расчетное значение округляется до ближайшего большего стандартного, которое равно 330 Ом.

Другие сигнальные элементы (лампы, звонки и т. п.) коммутируют в зависимости от потребляемого питания, как показано выше.

## 2. Сегментные цифровые индикаторы.

Сегментный цифровой индикатор представляет собой комбинацию из восьми светодиодов, расположенных таким образом, чтобы, зажигая несколько из них, можно было получить изображение цифры или некоторых букв (рис. 4.43, а). Сегменты индикатора включаются по схеме с общим анодом (рис. 4.43, б) или с общим катодом (рис. 4.43, в).

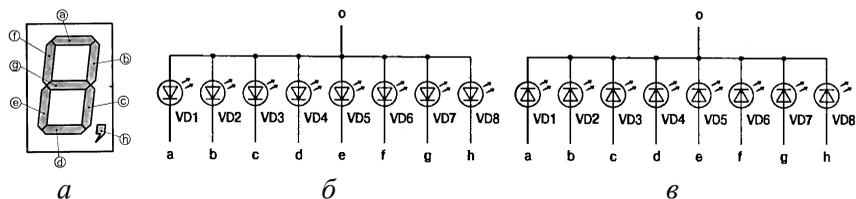


Рис. 4.43. Семисегментный светодиодный индикатор:  
 а – внешний вид, б – схема включения с общим анодом,  
 в – схема включения с общим катодом

Если выходной ток портов микроконтроллера достаточен для зажигания сегментов индикатора, последний подключают, как показано на рис. 4.44 (схема с общим анодом) [4].

Комбинация зажигаемых сегментов, конечно же, не соответствует двоичному представлению отображаемой цифры (табл. 4.2). Единственное исключение – цифра 7.

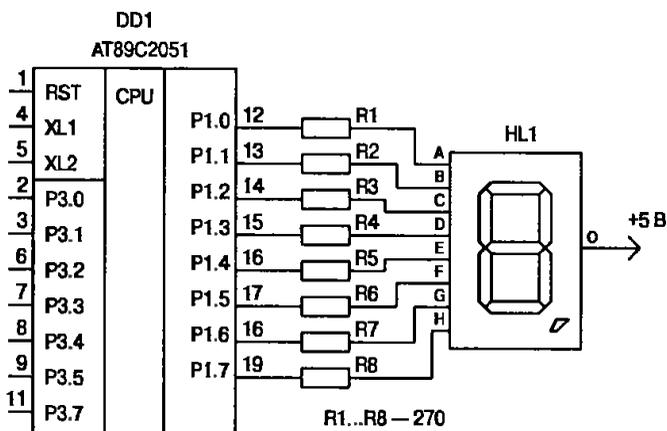


Рис. 4.44. Подключение сегментного индикатора к микроконтроллеру

Таблица 4.2

Отображаемая цифра	Двоичное представление	Комбинация для зажигания сегментов	Комбинация в десятичном представлении
0	00000000	00111111	63
1	00000001	00000110	6
2	00000010	01011011	91
3	00000011	01001111	79
4	00000100	01100110	102
5	00000101	01101101	109
6	00000110	01111101	125
7	00000111	00000111	7
8	00001000	01111111	127
9	00001001	01101111	111

Если для отображения информации одного индикатора недостаточно, требуется подключать несколько. В этом случае для каждого индикатора потребуется восемь линий ввода-вывода, поэтому используют режим динамической индикации. Все индикаторы подключаются параллельно к одному и тому же порту микроконтроллера.

лера, но питание (и соответственно комбинация зажигаемых сегментов) подается на них по очереди. В каждый момент времени горит только один индикатор, но при достаточно высокой частоте переключения человеческий глаз воспринимает мерцание индикаторов как непрерывное свечение. Для этого частота переключения должна быть не менее 48 Гц. Схема подключения четырех индикаторов в режиме динамической индикации показана на рис. 4.45 [4].

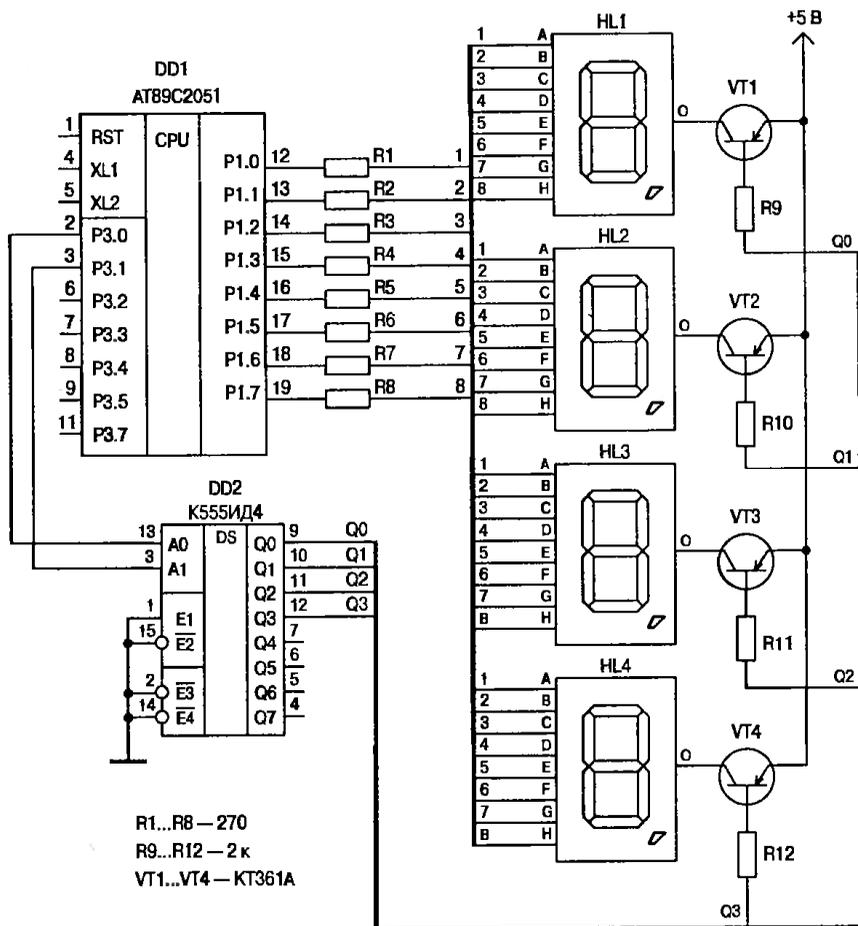


Рис. 4.45. Подключение индикаторов по схеме с динамической индикацией

Здесь индикаторы *HL1 – HL4* подключены параллельно к порту *P1* микроконтроллера через резисторы *R1 – R8*. Включение индикаторов осуществляется транзисторными ключами *VT1 – VT4* по сигналам с выходов микроконтроллера *P3.0* и *P3.1*. Для управления четырьмя индикаторами с помощью двух линий сигналы на транзисторные ключи поступают через дешифратор *DD2*.

Управление жидкокристаллическими индикаторами осуществляется аналогично с учетом того, что они потребляют микроскопический ток, измеряемый наноамперами. В связи с этим на схеме на рис. 4.45 не потребуются резисторы *R1 – R8* и транзисторные ключи *VT1 – VT4*. Выводы *O* индикаторов будут подсоединены непосредственно к линиям *Q0 – Q3* дешифратора.

### 3. Многоразрядные цифровые индикаторы.

Сегментные или мозаичные многоразрядные индикаторы подключаются к микроконтроллеру относительно просто. В их составе имеется собственный микроконтроллер, данные к которому передаются по параллельному или последовательному интерфейсу. Способы подключения описываются в руководствах пользователя на конкретную модель индикатора.

## 4.5. Расширение портов ввода-вывода микроконтроллеров

Обычно микроконтроллер имеет от одного до шести параллельных восьмиразрядных портов ввода-вывода, причем в недорогих ходовых моделях их два или три. Такого количества часто недостаточно для подключения всех необходимых устройств ввода-вывода. Для экономии линий ввода-вывода используют описанные ниже способы.

### 1. Использование шифраторов и дешифраторов.

Дешифраторы используют для уменьшения количества линий вывода. Например, на рис. 4.45 двумя линиями микроконтроллера коммутируются четыре сегментных индикатора.

2. Использование одних и тех же линий как для ввода, так и для вывода.

Этот прием обычно используют в схемах с динамической индикацией. Одновременно с индикаторами к тем же линиям микроконтроллера подключают клавиши, состояние которых опрашивают в промежутках между зажиганием индикаторов. Пример такой схе-

мы показан на рис. 4.46 [2]. Здесь одновременно с шестью индикаторами подключено шестнадцать клавиш по схеме со сканированием (матрица 8×2). Кроме того, для уменьшения количества линий управления с восьми до трех используется дешифратор *DD2*.

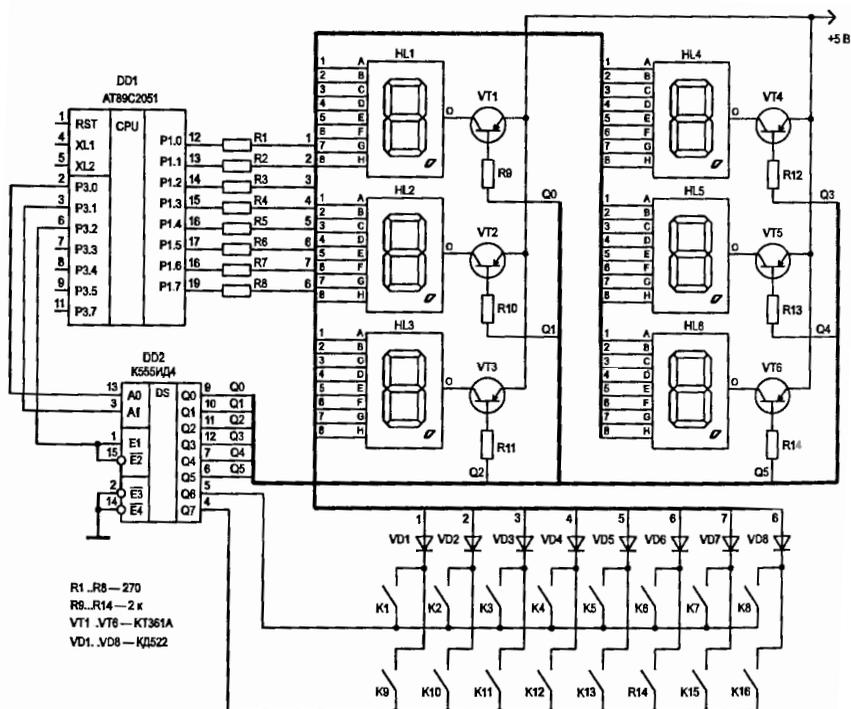


Рис. 4.46. Схема с одновременным подключением клавиш и индикаторов

Диоды *VD1 – VD8* нужны для исключения закорачивания сегментов индикаторов при одновременном нажатии двух или более клавиш.

### 3. Переход от параллельных интерфейсов к последовательным.

Многие цифровые устройства (датчики, многоразрядные и многострочные индикаторы, драйверы приводов и т. д.) используют последовательные интерфейсы для обмена данными. Это позволяет, хотя и в ущерб скорости, передавать данные с любой разрядностью по одному проводу. Наиболее часто используются следующие интерфейсы.

**I<sup>2</sup>C** – интерфейс, разработанный фирмой Philips в 1992 году для сопряжения телевизионных микросхем. В настоящее время этот интерфейс имеют многие АЦП и ЦАП, контроллеры дисплеев, микросхемы памяти, датчики температуры и др. Двухпроводная шина позволяет подключать до 1024 устройств, обменивающихся данными с микроконтроллером со скоростью до 3,4 Мбит/с [2; 10].

**RS-232C** – наверное, наиболее старый из используемых последовательных интерфейсов, будет подробно рассмотрен в следующем разделе.

**1-Wire (MicroLAN)** – разработан в конце 90-х фирмой Dallas Semiconductor (в настоящее время дочернее предприятие фирмы MAXIM). Используется в распределенных системах с источниками информации, расположенными на значительном расстоянии (до 300 м). Двухпроводная шина позволяет подключать до 256 устройств, обменивающихся данными с микроконтроллером со скоростью до 16,3 кбит/с. Этот интерфейс имеют различные датчики и исполнительные устройства бытовой автоматики, сигнализации, АЦП, ЦАП, микросхемы памяти, термодатчики и т. п. [2; 10].

**CAN (Control Area Network)** – разработан фирмой Robert Bosch GmbH в 1987 г. для бортовых систем автомобилей, для чего, в основном, используется и сейчас. Скорость обмена данными до 1 Мбит/с при длине соединительных линий до 60 м [10; 11].

**SPI** – разработан фирмой Atmel для соединения микроконтроллеров друг с другом и с периферийными устройствами. Позволяет соединять только два устройства [10].

Эти интерфейсы могут быть реализованы в микроконтроллерах на аппаратном уровне. В случае отсутствия в микроконтроллере нужного последовательного интерфейса, он может быть реализован программно с использованием одной из линий параллельного порта ввода-вывода. Фирмы-производители микроконтроллеров размещают на своих сайтах в сети Internet программные коды для реализации некоторых распространенных последовательных интерфейсов.

#### 4.6. Пример системы на основе микроконтроллера

В качестве примера рассмотрим схему жидкостного термостата. Он используется для биомедицинских исследований, в процессе которых требуется выдерживать образцы (например, в пробирках)

в течение заданного времени при заданной температуре. В процессе работы образцы находятся в жидкости (дистиллированной воде или кремнийорганическом составе), которая подогревается ТЭНом и постоянно перемешивается для равномерного распределения температуры по объему резервуара. С точки зрения алгоритма функционирования термостат представляет собой двухпозиционный регулятор, в котором температура поддерживается в интервале между минимальным и максимальным значениями. Эти значения задаются с клавиатуры перед началом работы, так же, как и время выдержки образцов. При достижении максимального заданного значения система регулирования отключает ТЭН, при падении до минимального – снова включает. Кроме того, система должна отображать на дисплее вводимые значения, в процессе работы – текущее значение температуры. По истечении заданного времени должен срабатывать звуковой сигнал. Термостат подключается к источнику дистиллированной воды и должен осуществлять наполнение резервуара до срабатывания датчика уровня. Слив воды осуществляется вручную после остановки системы. Рассмотрим требуемые для системы устройства ввода-вывода и необходимое для них количество линий микроконтроллера. Эта информация приводится в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Устройства ввода	Устройства вывода
1. Датчик температуры – полупроводниковый цифровой датчик <i>DS18B20</i> с интерфейсом <i>1-Wire</i> (1 линия). 2. Клавиатура из 16 клавиш (примерный набор – 0...9, <i>Enter</i> , <i>Start</i> , <i>Stop</i> , <i>Pause</i> , <i>Cancel</i> , <i>Del</i> ), подключается со сканированием в виде матрицы 2×8 параллельно с индикаторами (2 управляющие линии). 3. Датчик уровня – оптопара (1 линия)	1. Трехразрядный сегментный индикатор, включенный по схеме динамической индикации (8 линий данных + 3 управляющие линии). 2. ТЭН и электродвигатель мешалки, включаются одним контактом реле (1 линия). 3. Электромагнитный клапан наполнения (1 линия). 4. Электромагнитный клапан слива (1 линия). 5. Звуковой сигнализатор окончания работы (включается вместе с клапаном слива)
ИТОГО – 4 линии	ИТОГО – 14 линий

В сумме потребуется 18 линий ввода-вывода, то есть микроконтроллер должен иметь 3 восьмиразрядных порта. Для уменьшения требуемого количества выходных линий (8 шт.) используем дешифраторы, позволяющие получить 8 сигналов с помощью трехразрядной и двухразрядной комбинаций. В итоге потребуется 15 линий, то есть подойдет микроконтроллер с двумя восьмиразрядными портами. На рис. 4.47 показана схема на основе популярного микроконтроллера *AT89C2051* фирмы *Atmel*.

Схема работает следующим образом. При включении питания цепь *C7 – R6* формирует импульс начального сброса для микроконтроллера, и начинается выполняться записанная в него программа. Оператор устанавливает в резервуар образцы и поочередно вводит с клавиатуры минимальное и максимальное значение температуры и время нагрева. Вводимые значения отображаются на индикаторах *HG1 – HG3*. После ввода режимов микроконтроллер включает клапан наполнения *Y1*, и резервуар наполняется водой до срабатывания датчика уровня. Затем микроконтроллер отключает клапан и включает реле *K1*, контакты которого коммутируют ТЭН *R20* и двигатель мешалки *M1*. В процессе нагрева датчик температуры *DD1* выдает цифровой сигнал, соответствующий температуре жидкости. Микроконтроллер обрабатывает сигнал и выводит значение температуры на индикаторы. При достижении заданной максимальной температуры микроконтроллер отключает реле *K1*. Нагрев прекращается до достижения заданной минимальной температуры, после чего снова включается реле *K1*. Такой процесс длится в течение заданного оператором времени, по истечении которого микроконтроллер отключает реле *K1*, включает на некоторое время звуковой сигнализатор *Z2* и клапан слива *Y2*. При необходимости оператор может прервать цикл нагрева командой с клавиатуры.

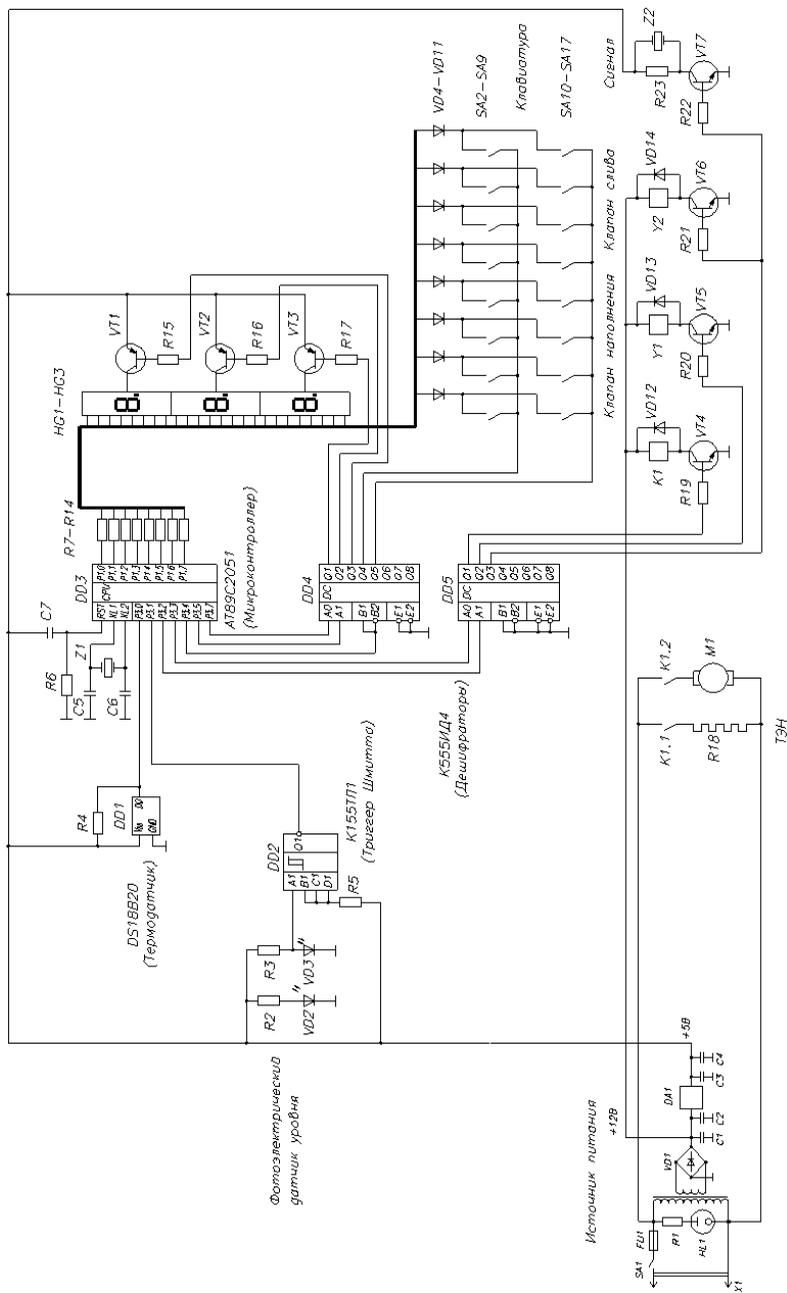


Рис. 4.47. Принципиальная электрическая схема термостата

## 5. АСК НА ОСНОВЕ ПЭВМ

По сравнению с микропроцессорной системой, которая специально разработана для решения конкретных задач, система на основе персональной ЭВМ может оказаться значительно дороже, так как ПЭВМ обладает некоторой избыточностью производительности. Современные компьютеры имеют гораздо большую производительность, которая в большинстве случаев не потребуется. В связи с этим основными областями использования ПЭВМ в автоматизированных системах контроля медико-биологических параметров являются следующие:

1) системы, требующие обработки больших потоков данных в режиме реального времени, в основном это связано с обработкой изображений (примеры – томографы, аппараты УЗИ, рентгеновские аппараты и т. п.);

2) системы, требующие вывода на экран большого количества информации, в том числе графической (примеры – электроэнцефалографы, реоплетизмографы и т. п.);

3) системы для научных исследований и макетные образцы, когда окончательная структура системы неизвестна, а компьютер используется для различных целей.

Системы, построенные на основе ПЭВМ, могут иметь одну из трех конфигураций:

1) системы, работающие только в комплекте с ПЭВМ. Как правило, они почти не имеют органов управления и устройств отображения информации, эти функции выполняет компьютер (пример – реоплетизмограф РПЦ-01);

2) системы, подключаемые к ПЭВМ для расширения функциональных возможностей. Могут работать автономно, но при подключении к компьютеру выполняют дополнительные функции (пример – спектрофотометр РВ-1251, при подключении к компьютеру может автоматически переключать длины волн и строить абсорбционные спектры);

3) системы, подключаемые к ПЭВМ для накопления и передачи данных по сети, в том числе Internet.

На рис. 5.1 показана примерная структура системы на основе ПЭВМ.

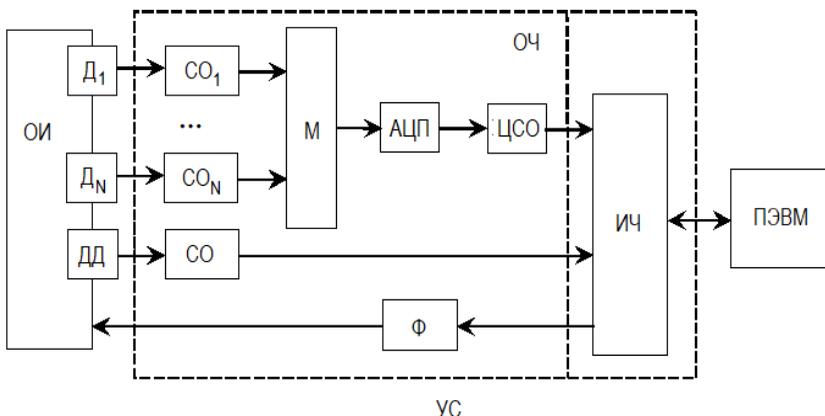


Рис. 5.1. Структура системы на основе ПЭВМ

Элементы системы:

ОИ – объект исследования;

$D_1 \dots D_N$  – аналоговые датчики измеряемых величин;

$СО_1 \dots СО_N$  – схемы обработки сигналов от датчиков;

ДД – дискретные датчики;

М – мультиплексор для поочередного подключения сигналов от датчиков к АЦП;

ЦСО – цифровая схема обработки сигнала;

Ф – формирователь сигналов для воздействия на объект или другие элементы системы.

Часть системы, подключаемая к ПЭВМ, называется устройством сопряжения (УС) и состоит из двух частей – операционной (ОЧ) и интерфейсной (ИЧ). Операционная нужна для выполнения функций, для которых, собственно, и предназначена система. Интерфейсная часть осуществляет взаимодействие между устройством сопряжения и персональным компьютером. Его конструкция зависит от вида выбранного интерфейса. В дальнейшем в этом разделе будут рассматриваться конструкции интерфейсных частей, которые практически одинаковы для различных УС.

## 5.1. Интерфейсы ПЭВМ

Интерфейс – совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных свойств, необходимых для реализации

взаимодействия различных функциональных элементов в системах при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости указанных элементов.

ПЭВМ имеет целый набор интерфейсов, как внешних, т. е. вынесенных на наружную сторону корпуса в виде разъемов, так и внутренних, коннекторы которых расположены на системной плате. Интерфейсы, используемые для подключения устройств сопряжения, показаны на рис. 5.2.

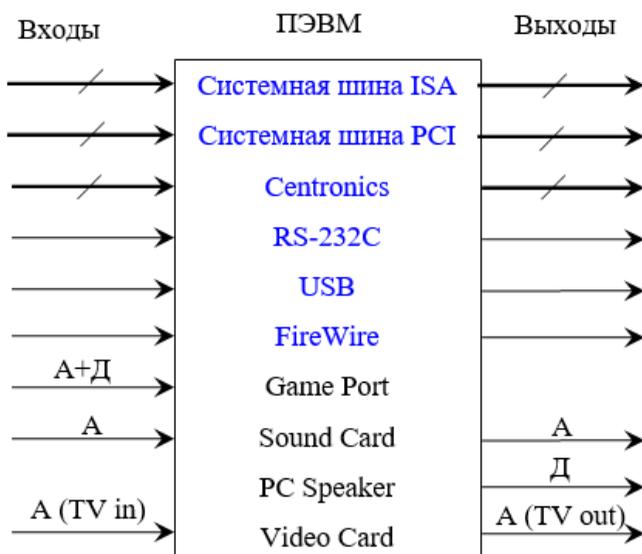


Рис. 5.2. Интерфейсы ПЭВМ

Основные интерфейсы, для которых могут разрабатываться серийно выпускаемые устройства сопряжения: параллельные интерфейсы системных шин, параллельный интерфейс для подключения принтера *Centronics* (последнее время практически не используется), последовательные интерфейсы *RS-232C*, *USB* и иногда *Fire Wire*, который, вообще говоря, имеется не в каждом компьютере. Остальные интерфейсы используются редко, в основном для научно-исследовательских целей и разовых разработок. Часть из них являются аналоговыми (обозначены *A*) – *Game Port* (игровой порт), *Sound Card*

(звуковой контроллер), *Video Card* (видеоконтроллер с ТВ-тюнером); встроенный громкоговоритель (*PC Speaker*) может использоваться для формирования дискретных команд (Д), игровой порт, кроме аналоговых входов, имеет дискретные входные линии для подключения кнопок.

Рассмотрим, как сконструировать УС для основных интерфейсов.

## **5.2. Сопряжение с ПЭВМ через последовательный интерфейс RS-232C**

Наряду с параллельными методами обмена информацией, к которым относятся применение интерфейса *Centronics* и подключение к системной шине, можно использовать и интерфейс последовательного обмена *RS-232C (EIA-232-D)*.

Несмотря на очевидные скоростные преимущества параллельных методов, их применение оказывается затруднительным, а часто и вовсе невозможным, в случаях, когда по ряду причин требуется организовать обмен со сколько-нибудь удаленным внешним устройством. В подобных ситуациях, если интенсивность обмена не слишком высока (предполагается, что разработчик знает основные требования, предъявляемые к системе), применение интерфейса *RS-232C* вполне оправдано, тем более, что персональный компьютер, не имеющий встроенных последовательных каналов ввода-вывода (портов *RS-232C*), встречается в наше время крайне редко.

Таким образом, выбор в пользу применения интерфейса *RS-232C* может быть сделан при наличии следующих требований:

- относительная удаленность объекта обмена информацией (внешнего устройства) от компьютера (стандартом оговорена длина кабеля до 15 м при наличии общего контура заземления, однако во многих практических случаях она может быть существенно увеличена, хотя и с некоторым снижением рабочих скоростей);

- сравнительно (по отношению к параллельным методам и локальным вычислительным сетям) невысокая скорость обмена данными (максимально возможная скорость передачи данных стандартного последовательного порта компьютера составляет 115 200 бит/с, что ограничивает скорость обмена величиной около 10 Кбайт/с);

- применение стандартного интерфейса для подключения к компьютеру без его вскрытия (несмотря на то, что времена, когда

установка любой дополнительной платы в компьютер представлялась кошмаром и вызывала дрожь его хозяина, прошли, применение *RS-232C* для подключения внешних устройств существенно упрощает процесс подключения и повышает оперативность в работе).

Данные в *RS-232C* передаются в последовательном коде побайтно. Формат передаваемых данных показан на рис. 5.3.

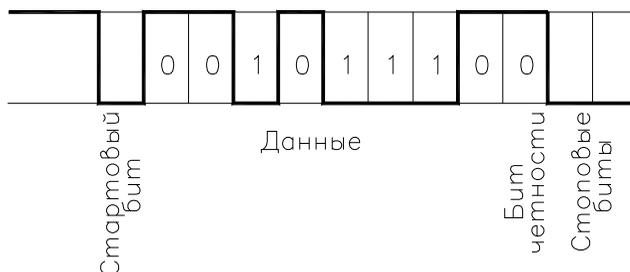


Рис. 5.3. Формат передачи данных

Данные (7 или 8 бит) обрамляются стартовым битом, битом четности (нечетности) и 1 или 2 стоповыми битами. Бит четности служит для проверки правильности приема байта. Если байт содержит четное число битов со значением 1, то бит четности равен 0 и наоборот. Скорость передачи выбирается из ряда 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бод (1 бод = 1 бит/с). Режимы работы (скорость, наличие бита четности или нечетности, число битов данных, число стоповых битов) могут задаваться программно или из командной строки *MS-DOS* командой *MODE*.

Сигналы передаются специально выбранными уровнями, обеспечивающими высокую помехоустойчивость: логический 0 – от +5 до +15 В (передатчик) и от +3 до +25 В (приемник); логическая 1 – от –5 до –15 В (передатчик) и от –3 до –25 В (приемник).

Для подключения устройства сопряжения к компьютеру обычно используют двухпроводную (симплексный режим) или четырехпроводную (дуплексный режим) линию (рис. 5.4), однако можно использовать и другие сигналы интерфейса, перечисленные в табл. 4.4. Сигнальные линии выведены на 9-контактную вилку *DB-9* (рис. 5.5), иногда используется 25-контактная вилка.

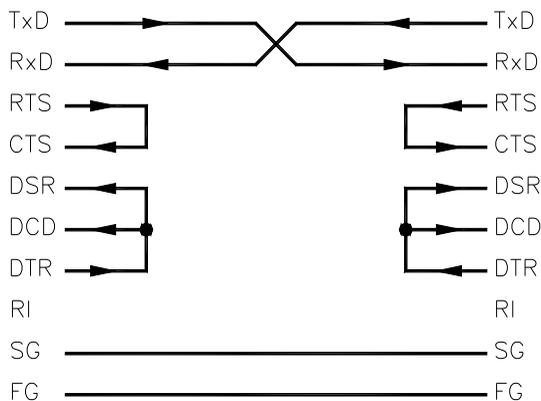


Рис. 5.4. Схема 4-проводной линии связи

Таблица 5.1

### Назначение линий интерфейса

Линия	Контакт	I/O	Назначение
<i>FG</i>	–	–	Защитное заземление (экран)
<i>-TxD</i>	3	<i>O</i>	Данные, передаваемые компьютером
<i>-RxD</i>	2	<i>I</i>	Данные, принимаемые компьютером
<i>RTS</i>	7	<i>O</i>	Сигнал запроса передачи
<i>CTS</i>	8	<i>I</i>	Готовность приемника
<i>DSR</i>	6	<i>I</i>	Готовность данных
<i>SG</i>	5	–	Сигнальное заземление
<i>DCD</i>	1	<i>I</i>	Обнаружение несущей данных
<i>DTR</i>	4	<i>O</i>	Готовность выходных данных
<i>RI</i>	9	<i>I</i>	Индикатор вызова



Рис. 5.5

При использовании интерфейса *RS-232C* задача сопряжения объекта обмена информацией с компьютером обычно формулируется следующим образом: требуется обеспечить связь с удаленным контроллером, обслуживающим технологическую или лабораторную установку. Именно этот контроллер играет в данном случае роль УС.

Этапы преобразования сигналов интерфейса *RS-232C* на пути от компьютера к микропроцессору удаленного контроллера проиллюстрированы на рис. 5.6. Здесь и далее мы считаем, что для сопряжения через *RS-232C* используется наиболее распространенная простейшая 4-проводная линия связи.

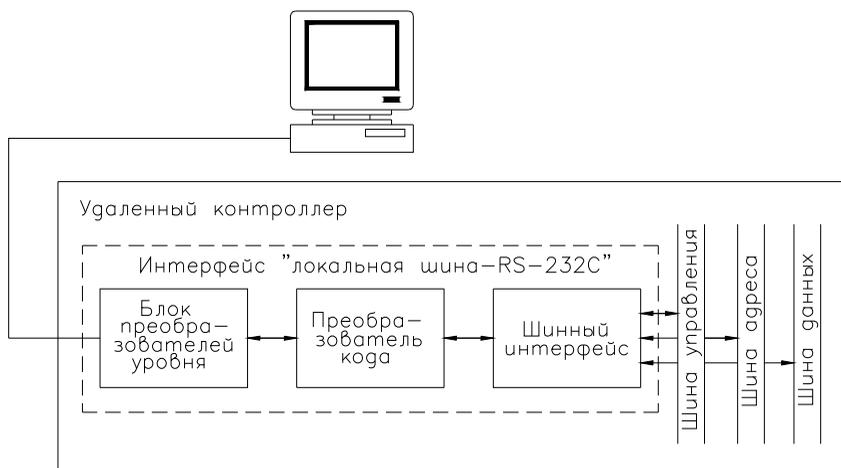


Рис. 5.6. Структура УС удаленного контроллера с ЭВМ по *RS-232C*

Блок преобразователей уровня обеспечивает электрическое согласование уровней сигналов последовательного интерфейса, формируемых контроллером, входящим в состав компьютера ( $\pm 12$  В), с уровнями сигналов, присутствующими в микропроцессорной системе (здесь и далее предполагаем, что в микропроцессорной системе действуют уровни ТТЛ).

Блок преобразователя кода переводит последовательное представление информации в параллельное (и наоборот), осуществляя распознавание начала и конца посылки, синхронизацию приема-

передачи битов кадра, слежение за наличием ошибок, информирование о готовности к выполнению операций и т. п.

Интерфейс шины обеспечивает сопряжение преобразователя кода с локальной магистралью микропроцессорной системы, осуществляя двунаправленную передачу данных в соответствии с алгоритмами и временными соотношениями, принятыми в ней.

УС обычно выполняется на основе микроконтроллера. Если последний имеет встроенный порт *RS-232C*, то интерфейсная часть представляет собой только микросхему преобразователя уровня, например *MAX232A* фирмы *MAXIM* (рис. 5.7). Некоторые АЦП также имеют интерфейс *RS-232C*. Кроме того, микроконтроллер без встроенного *RS-232C* может реализовать этот протокол программно.

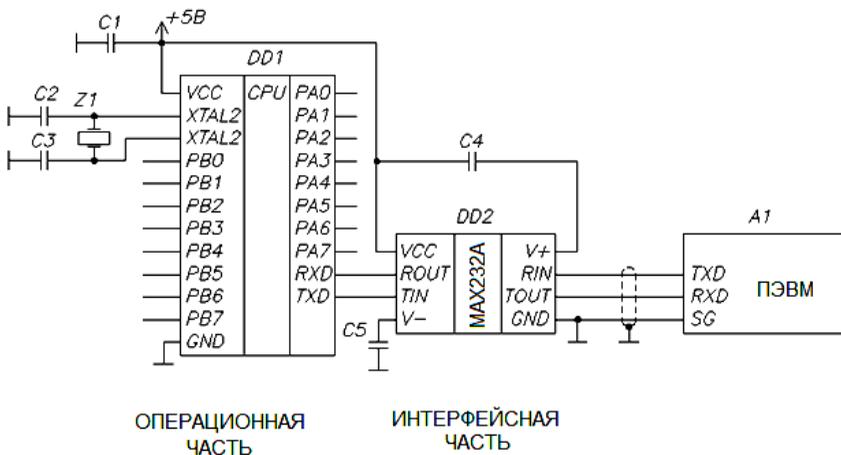


Рис. 5.7

Недостатки интерфейса:

- низкая скорость обмена;
- интерфейс реализует двухточечную схему подключения «компьютер – УС»;
- расстояние между УС и ПЭВМ не должно превышать 15 м;
- необходимость в отдельном корпусе и источнике питания для УС.

### 5.3. Сопряжение через интерфейсы *USB* и *FireWire (IEEE1394)*

В настоящее время последовательный интерфейс *USB* (появился в 1996 году) является самым популярным способом сопряжения внешних устройств с ПЭВМ благодаря нескольким серьезным достоинствам:

- высокая скорость обмена данными;
- возможность «горячего» подключения (УС можно подключать и отключать без выключения компьютера);
- наличие на разъеме выводов источника питания (5В / 0,5А).

К недостаткам можно отнести разве что малую длину кабеля, соединяющего УС и ПЭВМ (до 5 м).

Интерфейс *FireWire* (1995 год) похож на *USB* по характеристикам и по «идеологии». Считалось, что он вытеснит *USB*, но вышло наоборот, и сейчас *FireWire* используется, в основном, для подключения к ПЭВМ источников цифрового видеосигнала. Сравнительные характеристики интерфейсов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Интерфейс	Скорость обмена, Мбит/с	Число подключаемых устройств	Длина кабеля, м
<i>USB 1.1</i>	1,5 ( <i>LS, Low Speed</i> ) 12 ( <i>FS, Full Speed</i> )	127	5 3
<i>USB 2.0</i>	480 ( <i>HS, High Speed</i> )	127	3
<i>USB 3.0</i> ( <i>USB 3.2 Gen 1</i> )	4,8 Гбит/с ( <i>SS, Super Speed</i> )	127	3
<i>USB 3.1</i> ( <i>USB 3.2 Gen 2</i> )	10 Гбит/с ( <i>SS, Super Speed+</i> )	127	2
<i>USB 3.2</i> ( <i>USB 3.2 Gen 2x2</i> )	20 Гбит/с ( <i>SS, Super Speed++</i> )	127	1
<i>USB4</i>	40 Гбит/с ( <i>Thunderbolt</i> )	127	2
<i>FireWire</i> ( <i>IEEE1394</i> )	100 200 400	63	4,5 (витая пара)
<i>FireWire</i> ( <i>IEEE1394b</i> )	800 1600 3200	63	100 (оптоволокно)

*Примечание.* Каждая новая версия *USB* поддерживает скоростные режимы предыдущих версий

Данные передаются посылками по 8, 16, 32 или 64 бита. Устройства, подключаемые к интерфейсу *USB*, могут иметь две разновидности – хаб (*hub*) и функция (*function*). Функция предназначена для выполнения каких-либо операций, хаб дополнительно позволяет подключать другие устройства, образуя сеть из семи уровней (на последнем уровне хабы отсутствуют), что проиллюстрировано схемой на рис. 5.8. Для *FireWire* аналогичные устройства называются *branch* (ветвь) и *leaf* (лист).

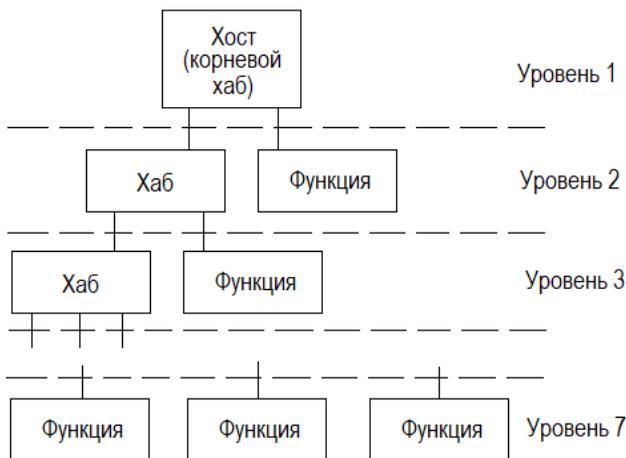


Рис. 5.8. Сеть на основе *USB*

Для подключения используется четырехпроводный экранированный кабель типа «витая пара» (+5В, *D+*, *D-*, *GND*).

Интерфейсная часть УС представляет собой микроконтроллер с встроенным *USB*-хабом или функцией, например микроконтроллеры фирмы *Atmel AT89C5131* (функция) или *AT43320A* (четырёхпортовый хаб). Также используют микросхемы преобразователей интерфейсов *RS-232C* в *USB* или *Centronics* в *USB*, например микросхемы фирмы *FTDI FT232AM* и *FT245AM*.

#### 5.4. Сопряжение с ПЭВМ через системную шину

Системная шина (*system bus*) или магистраль – набор проводников, по которым осуществляется обмен данными всех подключенных устройств с микропроцессором компьютера.

Все внешние (по отношению к микропроцессору) устройства подключены параллельно к одним и тем же линиям системной шины, поэтому в каждый момент времени микропроцессор может обмениваться данными только с одним устройством. Остальные устройства в это время должны быть отключены. Поясним, как осуществляется обмен данными с помощью схемы на рис. 5.9 [16]. Здесь показан наиболее распространенный вариант архитектуры системной шины, которая состоит из трех частей – **шины данных (D)**, **шины адреса (A)** и **шины управления (C)**.

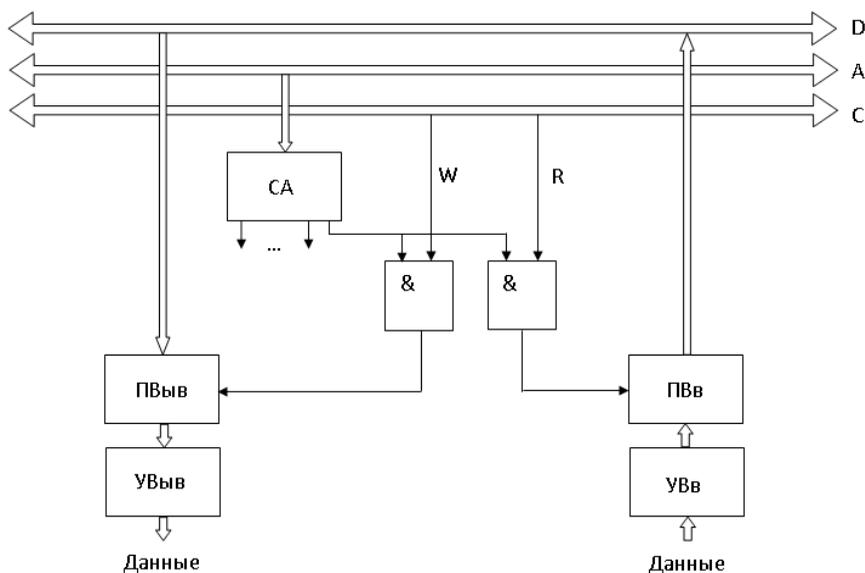


Рис. 5.9. Обмен данными по системной шине

Каждому устройству, подключенному к шине, соответствует уникальный адрес – двоичная комбинация для обращения к устройству. Количество возможных адресов, а значит и подключаемых устройств равно  $2^N - 1$ , где  $N$  – число разрядов адресной комбинации.

В начальный момент времени порт ввода (ПВв) и порт вывода (ПВыв) отключены от системной шины. Для этого устройства, на которых построены порты, должны иметь возможность переключения в состояние с высоким импедансом ( $Z$ -состояние). Обмен данными осуществляется в следующей последовательности:

1) на шине адреса устанавливается комбинация, соответствующая адресу порта, с которым микропроцессор будет обмениваться данными. Эта комбинация поступает на вход селектора адреса (СА), на одном из выходов которого появится сигнал логической «1». На остальных выходах, рассчитанных на адреса других портов, будет сигнал логического «0». Сигнал с выхода дешифратора поступает на входы логических элементов «ИЛИ» (&);

2) по шине управления передается сигнал, соответствующий требуемому виду работы – чтению данных из порта ввода или запись данных в порт вывода. В первом случае на линии *R* устанавливается сигнал «1», на линии *W* сигнал «0», во втором случае – наоборот. Эти сигналы поступают на входы логических элементов «ИЛИ». Если требуемый режим – чтение, сигнал «1» установится на выходе правого по рисунку элемента, если запись – левого;

3) сигнал «1» с выхода логического элемента поступает на управляющий вход соответствующего порта и переводит его из *Z*-состояния в рабочее. Данные с устройства ввода УВв поступают на шину данных и далее в регистры микропроцессора (чтение) или с шины данных на устройство вывода УВыв (запись);

4) после чтения или записи двоичной комбинации данных с шины адреса снимается адресная комбинация, и на всех выходах селектора адреса устанавливаются сигналы «0». Такие же сигналы поступают на управляющие входы портов ввода и вывода и переводят их в *Z*-состояние. Система готова к работе с другим или тем же устройством.

Приведенная последовательность действий называется шинным циклом и может быть инициирована программой или устройством ввода-вывода, которое при готовности к обмену передает на одну из специальных линий системной шины сигнал готовности (он называется сигналом прерывания).

**Системные шины** могут быть:

– *параллельными* (данные передаются в параллельном формате, число проводов соответствует числу разрядов двоичной комбинации) и *последовательными* (все разряды двоичной комбинации передаются поочередно по одному проводу). Первые обеспечивают более высокую скорость, вторые требуют меньшего количества проводов, что существенно в распределенных системах;

– *демультиплексированными* (имеются отдельные шины данных, адреса и управления) и *мультиплексированными* (адрес, данные

и сигналы управления передаются поочередно по одним и тем же линиям). Первые обеспечивают более высокую скорость и меньшую сложность подключения устройств ввода-вывода, вторые требуют меньшего количества проводов;

– **однонаправленные** (обеспечивают передачу сигналов только в одном направлении) и **двунаправленные** (обеспечивают передачу сигналов в двух направлениях). Например, шина адреса однонаправленная, а шины данных и управления двунаправленные.

Разновидность системной шины зависит от используемых микропроцессора и системного контроллера.

Основные характеристики шин:

1) **разрядность** – количество разрядов в двоичной комбинации данных, адреса или количество сигналов управления. Для шины данных обычно кратно восьми битам (1 байту);

2) **тактовая частота** – частота выполнения команд машинного цикла. Задается тактовым генератором или контроллером шины и может быть примерно от 2 МГц (комплект К580) до 33 МГц (компьютерная шина *PCI*) и более;

3) **скорость обмена данными**. Измеряется в бит/с и представляет собой произведение разрядности и тактовой частоты.

Устройство сопряжения через системную шину представляет собой одноплатную конструкцию, которая втыкается одной стороной с так называемым ножевым разъемом в гнездо (слот расширения) на системной плате компьютера. Для этого системный блок, естественно, потребует вскрыть.

На современных системных платах можно обнаружить только слоты шины *PCI*; шина *ISA* из-за низкой производительности уже вышла из употребления. Однако она до сих пор используется в промышленных компьютерах очень распространенного форм-фактора *PC/104*, поэтому разработка устройств сопряжения для нее все еще актуальна. Рассмотрим характеристики шин [13].

Шина *ISA (Industry Sdandard Architecture)*: параллельная, демультиплексированная, разрядность шины данных – 8 или 16 бит (8 по стандарту, 16 – расширенный вариант, в котором слот состоит из двух блоков, основного восьмиразрядного и дополнительного); разрядность шины адреса – 24 бит (для устройств ввода-вывода используется 10); тактовая частота 8 МГц; скорость обмена данными

(произведение разрядности шины данных и тактовой частоты) 16 Мбайт/с\*.

Шина *PCI* (*Peripheral Component Interconnect*): параллельная, мультиплексированная (совмещены шины адреса, данных и часть шины управления), разрядность шины данных – 32 или 64 бит (64 – расширенный серверный вариант); разрядность шины адреса – 32 бит; тактовая частота 33 МГц; скорость обмена данными 132 Мбайт/с (для 32-разрядной шины).

Достоинства интерфейса системной шины:

- 1) высокая скорость обмена;
- 2) отсутствие необходимости в отдельном корпусе и источнике питания (выводы питания 5 и 12 В имеются непосредственно в слоте расширения).

Недостатки:

- 1) низкая помехозащищенность из-за соседства с высокочастотными цифровыми узлами компьютера;
- 2) сложность устройства сопряжения ограничивается размером платы (для шины *ISA* показана на рис. 5.10, для *PCI* на рис. 5.11);
- 3) для подключения устройства сопряжения требуется вскрытие системного блока компьютера.

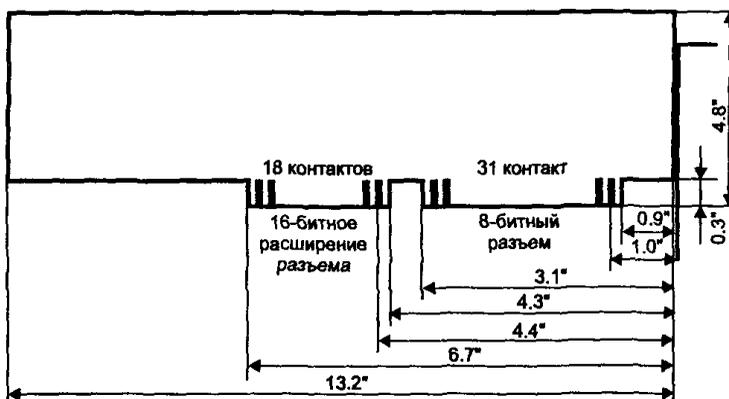


Рис. 5.10. Плата для УС через шину *ISA*

\* Значение скорости обмена, полученное таким способом, является теоретически возможным пределом. Реальная скорость будет раза в два ниже из-за системных прерываний, регенерации памяти и других служебных операций.



Рис. 5.11. Плата для УС через шину PCI

Устройство сопряжения через системную шину может работать в двух режимах:

1) асинхронный обмен – система работает в том темпе, который позволяет медленное по сравнению с компьютером УС, обмен данными производится по мере их готовности;

2) обмен по прерываниям – обмен данными производится по мере их готовности, в промежутках между обменом компьютер может выполнять другие задачи.

Структура УС через шину ISA при асинхронном обмене выглядит, как показано на рис. 5.12 [12].

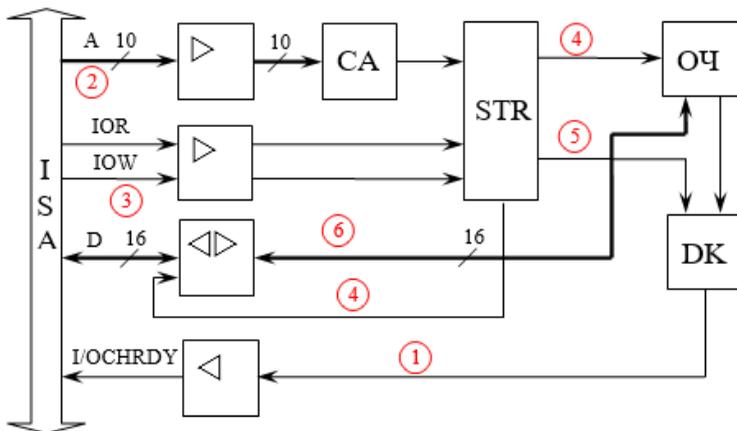


Рис. 5.12. Структура УС для асинхронного обмена по ISA

На рисунке показаны только элементы и сигналы, необходимые для понимания процедуры обмена. Используются следующие обозначения элементов:  $\triangleright$ ,  $\triangleleft$  и  $\triangleleft\triangleright$  – шинные буферы для согласования электрических параметров сигналов на шине и в УС; *CA* – селектор адреса, имеет то же назначение, что и в микропроцессорной системе; *STR* – устройство для выработки внутренних стробов, вырабатывает сигналы управления элементами УС; *DK* – формирователь сигнала готовности операционной части к обмену информацией; *ОЧ* – операционная часть устройства сопряжения.

Асинхронный обмен данными производится в следующем порядке:

1) операционная часть через формирователь *DK* подает на линию шины управления *I/OCHRDY* (*Input/Output Check Ready* – проверка готовности к операциям ввода-вывода) сигнал готовности к обмену (флаг готовности);

2) при обнаружении этого сигнала (в результате постоянного опроса состояния шины) компьютер передает адрес устройства сопряжения;

3) передается сигнал, соответствующий роду работы: *IOR* – чтение или *IOW* – запись;

4) на основании сигналов адреса и рода работы устройство *STR* формирует сигнал, открывающий буфер обмена (обозначен  $\triangleleft\triangleright$ ) в нужную сторону;

5) флаг готовности сбрасывается в исходное состояние;

6) выполняется передача данных в нужном направлении, после чего цикл заканчивается.

Интерфейсная часть УС для *PCI* будет гораздо сложнее, так как требуется демультиплексирование шины. Его упрощенная структура показана на рис. 5.13.

Здесь в состав ИЧ входят демультиплексоры ДМ для разделения сигналов адреса и данных и сигналов рода работы.

Асинхронный обмен данными производится в следующем порядке:

1) компьютер формирует на шине управления сигнал начала обмена *FRAME*;

2) компьютер передает адрес устройства сопряжения;

3) компьютер передает по линиям *C/BE* сигнал рода работы (чтение или запись);

4) операционная часть через формирователь *DK* подает на линию шины управления *DEVCEL* сигнал готовности к обмену (флаг готовности);

5) компьютер отвечает сигналом *IRDY*;

6) устройство сопряжения подтверждает готовность сигналом *TRDY*;

7) выполняется передача данных в нужном направлении, после чего цикл заканчивается.

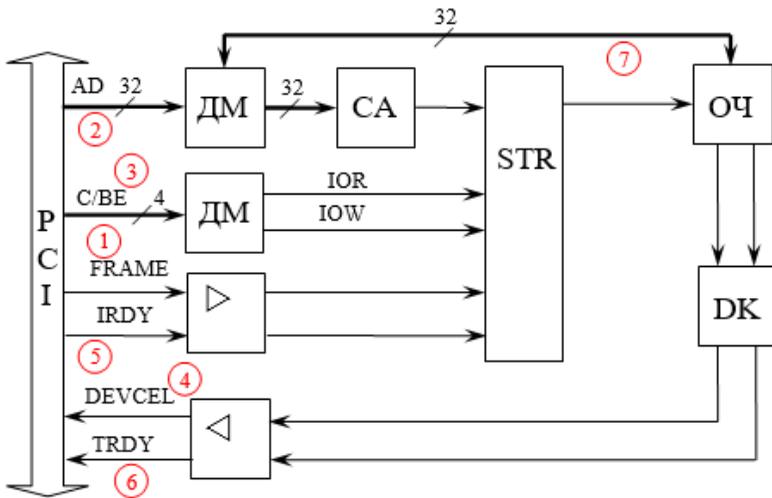


Рис. 5.13. Структура УС для асинхронного обмена по *PCI*

На самом деле цикл обмена сложнее, так же, как и структура УС, однако для понимания принципа работы достаточно и такого упрощенного описания.

Недостаток асинхронного обмена заключается в необходимости постоянного опроса шины управления для проверки флага готовности. Если УС обменивается данными с ПЭВМ эпизодически, то компьютер большую часть времени «простаивает», занимаясь циклическим опросом флага готовности. В это время его можно загрузить выполнением других задач (то есть реализовать многозадачный режим), но при этом УС должно сообщать о своей готовности к обмену не с помощью флага, а специальным сигналом – прерыванием.

Прерывание – сигнал для процессора, после которого он приостанавливает работу над текущей задачей, сохраняет в памяти промежуточные данные и переходит к программе обработки прерывания, то есть в нашем случае к работе с УС. После обработки прерывания компьютер возвращается к прежней задаче. Это можно изобразить в виде графика, как показано на рис. 5.14.

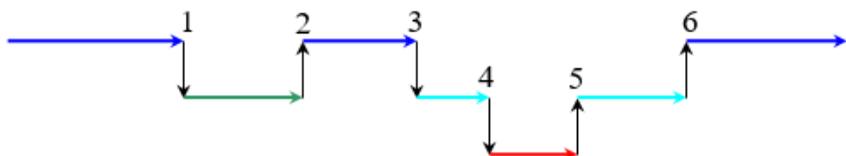


Рис. 5.14. Работа по прерываниям

На графике процессор ПЭВМ обрабатывает первую задачу. В момент времени 1 он получает сигнал прерывания и переходит ко второй задаче. В момент времени 2 работа над второй задачей заканчивается, и процессор возвращается к первой задаче. В момент времени 3 он получает новое прерывание и переходит к выполнению третьей задачи. В момент времени 4 работа над третьей задачей еще не закончена, но процессор получает новое прерывание, имеющее более высокий приоритет по сравнению с предыдущим, поэтому выполняется переход к четвертой задаче. Возврат к третьей задаче произойдет в момент времени 5, а в момент времени 6 – снова к первой задаче.

Прерывания могут быть **программными** и **аппаратными**. Программные создаются программно, аппаратные – в виде сигнала, подаваемого от УС на одну из линий *IRQ* (*Interrupt ReQuest* – запрос на прерывание) шины управления. Прерывания имеют статус, называемый приоритетом. Если одновременно поступают запросы на прерывание от двух устройств, выполняется то, которое поступает на линию с наивысшим приоритетом. Таких линий 16 – *IRQ0...IRQ15*. Из них свободны *IRQ10*, *IRQ11*, *IRQ12*, *IRQ15* (условно свободны *IRQ3*, *IRQ5*). Приоритет тем выше, чем меньше номер линии. УС обычно формируют аппаратное прерывание.

Интерфейсная часть УС для *ISA* может быть построена на дискретных элементах, подобно аналогичным элементам микропроцессорных систем. Для *PCI* это практически невозможно из-за высокой

сложности, поэтому на практике интерфейсную часть выполняют на ПЛМ (программируемая логическая матрица) или используют специальные микросхемы межинтерфейсных мостов *PCI-DSP Bridge Controller* или *ISA-DSP Bridge Controller*.

### 5.5. Выбор интерфейса для сопряжения с ПЭВМ

Основными параметрами интерфейса, в соответствии с которыми производится выбор, являются его разрядность и скорость обмена данными. Выбор осуществляется по следующему алгоритму:

1) в соответствии с заданной точностью определяется разрядность аналого-цифрового преобразования. Погрешность преобразования равна половине дискретности, то есть при опорном напряжении 5 В для 8-разрядного АЦП  $\delta = 5/2(2^8 - 1) = 9,8$  мВ (0,2 % при максимальном входном сигнале), для 12-разрядного  $\delta = 0,6$  мВ (0,012 %), для 16-разрядного  $\delta = 38$  мкВ (0,0008 %), для 24-разрядного  $\delta = 0,15$  мкВ (0,000003 %). Следует учитывать, что указанные значения погрешностей являются только одной из составляющих общей погрешности;

2) в соответствии с верхней границей спектра аналогового сигнала выбирается минимально допустимая частота дискретизации. По теореме Котельникова  $f_d = 2f_{\max}$ , на практике обычно выбирают  $f_d = 10f_{\max}$ . Для некоторых медико-биологических сигналов максимальные частоты спектра приведены в табл. 5.3 [17];

3) требуемая скорость обмена определяется как произведение разрядности и частоты дискретизации:  $C_0 = Nf_d$ .

Таблица 5.3

Характеристики медико-биологических сигналов

Наименование	Полоса частот, Гц
Электрокардиограмма	0,3...100
Электроэнцефалограмма	1...100
Электромиограмма	10...500
Электрогастрограмма	0,05...0,2
Электроретинограмма	0,3...100
Электроокулограмма	0,5...15
Кожные потенциалы	0...0,5

Наименование	Полоса частот, Гц
Электропроводность кожи	0...0,5
Реокардиограмма	0,1...100
Реопневмограмма	0...50
Температура тела	0...1
Пневмограмма грудной клетки	0...50
Спирограмма	0...100
Частота дыхания	0,1...2
Сфигмограмма	0,1...20
Артериальная тахоосциллография	0,1...20
Скорость пульсовой волны	10...500
Артериальное давление	0...100
Частота сердечных сокращений	0,5...5
Плетизмограмма	0...5
Скорость кровотока	0...100
Фонокардиограмма	16...500
Кинетокардиограмма	5...50

По полученным данным выбирается интерфейс. Следует учитывать, что, если разрядность интерфейса меньше разрядности АЦП, данные передаются в два или более этапов, что во столько же раз снижает частоту дискретизации.

*Пример.* Разрабатываемым устройством сопряжения является прибор для снятия ЭКГ, для чего используется 16-разрядный АЦП. Верхняя граница спектра сигнала  $f_{\max} = 100$  Гц. Частота дискретизации  $f_d = 10f_{\max} = 1000$  Гц. Требуемая скорость обмена  $C_0 = 16 \cdot 1000 = 16\,000$  бит/с. В данном случае подойдет практически любой интерфейс, однако с точки зрения простоты подключения может быть выбран RS-232C. Учитывая, что на 8 бит данных приходится 4 служебных бита (стартовый, два стоповых и бит четности), требуемая скорость обмена возрастает в полтора раза и составляет 24 000 бит/с. RS-232C обеспечивает скорость обмена 115200 бит/с и, следовательно, пригоден для разрабатываемого УС.

## 6. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ

### 6.1. Биотелеметрические системы (БТС)

Биологической телеметрией называется измерение медико-биологических параметров с передачей данных на расстояние [17].

История биотелеметрии начинается, как принято считать, с передачи тонов сердца через корабельную радиостанцию американцем Уинтерсом в 1921 году, хотя еще в 1905 году в Швеции В. Эйтховеном была осуществлена передача сигнала электрокардиограммы по телефонным линиям.

В СССР в 1932 году А. А. Ющенко и Л. А. Чернавкиным была осуществлена передача данных о слюнной секреции у свободно перемещающейся собаки с помощью расположенного на ней радиопередатчика.

Развитие авиационной биотелеметрии начинается с эксперимента швейцарских ученых Дж. Б. Смита и Л. Е. Лэмба в 1952 году по передаче ЭКГ летчика с самолета на землю.

Космическая биотелеметрия родилась 3 ноября 1957 года. С борта второго искусственного спутника Земли осуществлялась передача четырех физиологических показателей (ЭКГ, пневмограмма, АД и двигательная активность) собаки Лайки.

22 апреля 1961 года впервые был осуществлен полет в космос человека – Ю. А. Гагарина. В процессе полета осуществлялся радиотелеметрический контроль работы сердечно-сосудистой системы и органов дыхания космонавта.

18 марта 1965 года летчик-космонавт А. Л. Леонов вышел в открытый космос. Во время выхода на Землю передавались ЭКГ, сейсмокардиограмма и пневмограмма космонавта.

В настоящее время биотелеметрия активно развивается на основе цифровых средств. В основном используются высокочастотные радиоканалы.

Структура биотелеметрической системы (БТС) практически совпадает со структурой системы связи, предложенной Шенноном. Она показана на рис. 6.1.

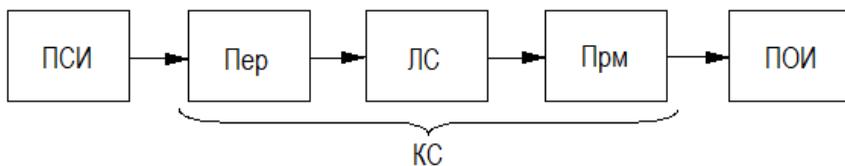


Рис. 6.1. Структура биотелеметрической системы

Основные элементы БТС:

ПСИ – подсистема сбора информации, совокупность датчиков и схем обработки сигналов;

ПОИ – подсистема обработки информации, комплекс устройств для обработки, анализа и представления информации;

КС – канал связи, комплекс устройств для передачи информации на расстояние, в нем можно выделить три основных узла: передатчик (Пер), линия связи (ЛС) и приемник (Прм).

Передатчик предназначен для преобразования сигнала с выхода ПСИ (так называемый полезный сигнал) в форму, удобную для передачи по линии связи. Обычно это осуществляется с помощью модуляции высокочастотной несущей низкочастотным полезным сигналом.

Линия связи – тракт для передачи модулированного сигнала. Может быть проводной (механическая, электрическая, волоконно-оптическая) и беспроводной (радио, оптическая). Наиболее часто используются радиолинии.

Приемник предназначен для выделения из модулированного сигнала полезной составляющей и связанных с этим операций (усиление, фильтрация помех и т. п.).

## 6.2. Классификация БТС

1. По назначению:

- системы передачи функциональных показателей объекта;
- системы для отслеживания и регистрации биообъектов (системы телепеленгации, постепенно вытесняются GPS);
- комбинированные системы.

2. По взаимному расположению объекта исследования и передатчика:

- стационарные – объект исследования неподвижен, находится на расстоянии от неподвижного передатчика и соединен с ним

проводами. Пример – устройства длительного наблюдения за тяжелобольными;

- транспортируемые – разновидность стационарных, когда объект и передатчик расположены на транспортном средстве;

- динамические – передатчик закреплен на объекте исследования и вместе с ним перемещается относительно приемника. Пример – системы для исследования физиологии труда и спорта;

- вживляемые – передатчик находится внутри объекта (внутримышечно, внутрисполостно или подкожно) и вместе с ним перемещается относительно приемника. Пример – системы для исследования физиологии и миграций животных;

- вводимые (эндорадиозонды) – передатчик находится внутри объекта и перемещается относительно его органов. Объект чаще всего неподвижен относительно приемника. Пример – исследование желудочно-кишечного тракта с использованием радиокапсул.

3. По количеству каналов связи:

- одноканальные – используются для измерения одного показателя объекта, имеют один канал связи;

- многоканальные – системы с частотным или временным разделением каналов для измерения нескольких показателей объекта (см. ниже).

4. По виду обработки информации:

- с предварительной обработкой – обработка сигнала осуществляется на передающей стороне, передаются только готовые результаты. Достоинства – высокая помехоустойчивость, сниженные требования к каналу связи. Недостатки – сложность передатчика и, следовательно, большие его габариты, затрудняющие использование в динамических и вживляемых системах;

- с обработкой на приемной стороне – передается «сырая» информация, обрабатываемая на приемной стороне. Достоинства – простота конструкции и малые габариты передатчика. Недостатки – высокие требования к каналу связи, сложность выделения сигнала на фоне сильных помех.

5. По параметрам источника питания:

- с автономным питанием (от батарей);

- с внешним питанием (от сети).

- с индуктивным питанием – используется внешний генератор, наводящий ЭДС индукции в катушках схемы системы (передатчика);

– с пассивным питанием – строятся по принципу поглощения или переизлучения подводимой энергии резонансным контуром, частота которого зависит от измеряемого параметра;

– с биологическим питанием – используется энергия объекта (температура, энергия движения).

### 6.3. Многоканальные БТС

При одновременном измерении нескольких параметров для каждого из них формируется свой канал связи. Эти каналы образуются в одной линии связи, поэтому требуются методы разделения каналов на приемной стороне. Используют два метода разделения каналов – частотный и временной.

При частотном разделении каждому каналу выделяется своя полоса частот, на приемной стороне каналы разделяются с помощью полосовых фильтров. Схема частотного разделения каналов показана на рис. 6.2.

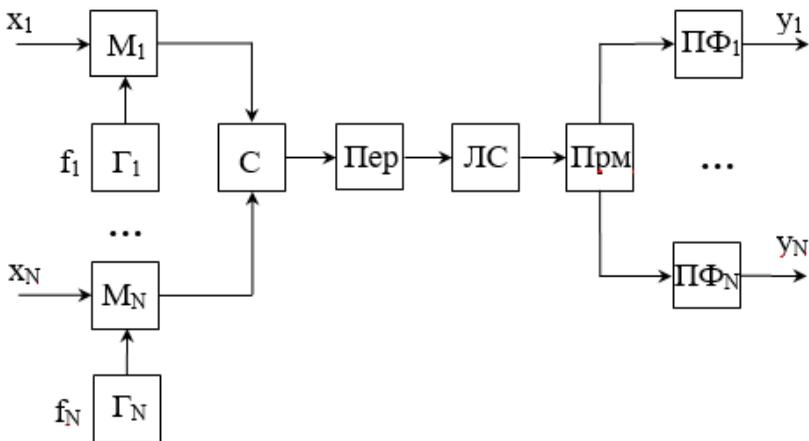


Рис. 6.2. Частотное разделение каналов

Для каждого полезного сигнала  $x_1 \dots x_N$  используется своя частота несущей  $f_1 \dots f_N$  (при многоканальной связи она называется поднесущей), получаемая от генераторов  $\Gamma_1 \dots \Gamma_N$ . Модулированные сигналы с выходов модуляторов  $M_1 \dots M_N$  суммируются сумматором  $C$

и передаются по линии связи. Спектр сигнала в линии связи показан на рис. 6.3.

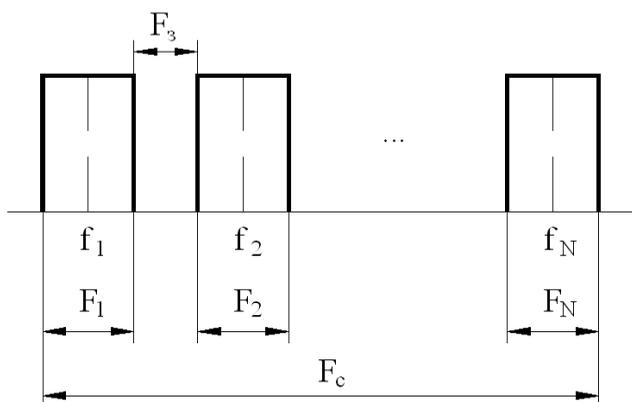


Рис. 6.3. Спектр сигнала в линии связи при частотном разделении каналов

Полоса частот, занимаемая сигналом:

$$F_c = \sum_{i=1}^N F_i + F_3 (N - 1), \quad (6.1)$$

где  $F_i$  – полоса частот, занимаемая  $i$ -м каналом;

$F_3$  – защитные полосы частот для исключения влияния каналов друг на друга.

На приемной стороне сигналы разделяются полосовыми фильтрами ПФ<sub>1</sub>...ПФ<sub>N</sub>.

При временном разделении каждому каналу выделяется определенное время передачи, то есть источник и соответствующий получатель сигнала поочередно с другими источниками и получателями подключаются к линии связи. Схема временного разделения каналов показана на рис. 6.4.

Для поочередного подключения источников и получателей к линии связи используются распределители Р, переключаемые генератором синхронизации ГС. Команды синхронизации для приемного распределителя передаются по той же линии связи.

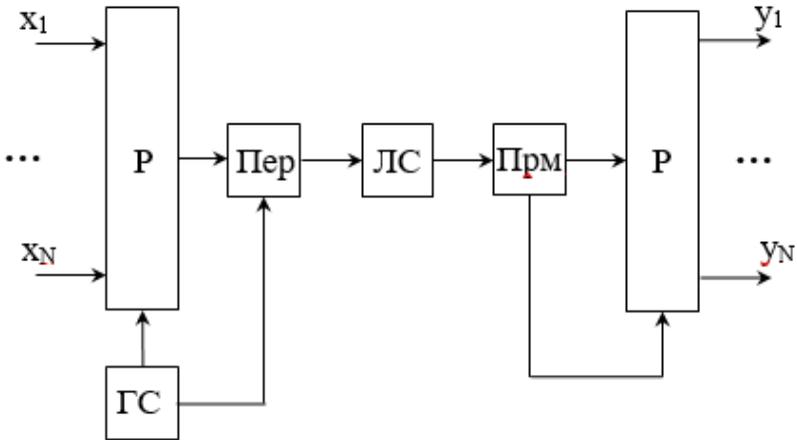


Рис. 6.4. Временное разделение сигналов

Передача ведется циклично. Цикл показан на рис. 6.5. Время цикла:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^N (T_i + T_3), \quad (6.2)$$

где  $T_i$  – время работы  $i$ -го канала;

$T_3$  – защитные интервалы времени для исключения влияния каналов друг на друга из-за искажений и погрешностей синхронизации.

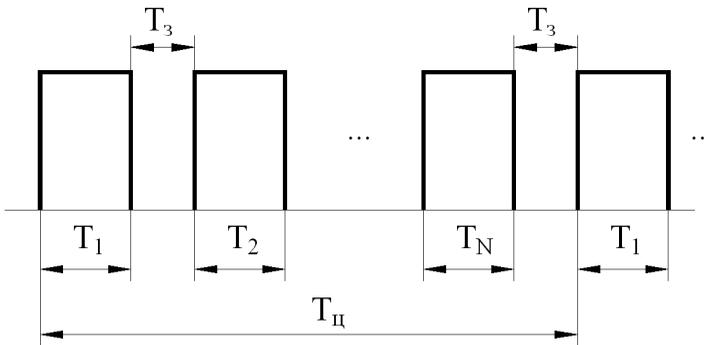


Рис. 6.5. Цикл при временном разделении сигналов

Следует учитывать, что сигналы при временном разделении подвергаются дополнительной дискретизации с частотой  $f_d = 1/T_c$ .

Вариантом временного разделения каналов является кодовое разделение, когда цикличность передачи не соблюдается, а вместо синхронизации перед передачей информации передается адрес канала.

## 6.4. Элементы БТС

Все элементы БТС можно разделить на несколько групп:

- элементы подсистемы сбора информации;
- передатчики;
- приемники;
- антенные устройства (входят в состав приемников и передатчиков).

### *Элементы подсистемы сбора информации*

Включают датчики и схемы обработки сигналов. Основные требования к ним:

- 1) малое потребление энергии;
- 2) высокая чувствительность;
- 3) небольшие размеры.

### *Передатчики*

Предназначены для преобразования полезного сигнала в форму, удобную для передачи по линии связи, в случае радиоканала – для излучения антенной.

Основные характеристики передатчика:

- диапазон частот;
- выходная мощность.

Диапазон частот зависит от количества каналов и занимаемой каждым из них частотной полосы. Обычно используется УКВ диапазон (от 30 МГц). Высокие частоты выгодно использовать по следующим причинам [17]:

- 1) с увеличением частоты увеличивается КПД излучения;
- 2) в высокочастотной области можно разместить большее количество каналов;
- 3) размеры антенн и других узлов уменьшаются с увеличением частоты;
- 4) более высокие частоты более помехоустойчивы.

Повышение частоты ограничивается следующими соображениями [17]:

1) при повышении частоты падает КПД передатчика (из-за переизлучения сигнала элементами передатчика) и растут его размеры и масса (за счет экранирующих элементов);

2) чем больше частота, тем больше влияние излучения на организм человека (или другого биообъекта).

Исходя из вышесказанного, для передатчиков, находящихся в непосредственном контакте с биообъектом (например, внутри него) используют частоты 40...50 МГц. Если контакта с организмом нет, используют более высокие частоты (стандартные значения 418 МГц, 433 МГц, 2,4 ГГц).

Выходная мощность зависит от требуемой дальности передачи. При работе на небольших расстояниях (до нескольких км) используют передатчики мощностью до 1 Вт (часто используемые значения 5...10 мВт). Во многих случаях мощность измеряют в дБм ( $dBm$ ) как  $10\lg(P/P_0)$ , где за нулевой уровень принято значение  $P_0 = 1$  мВт. Например, если в паспортных данных передатчика указана мощность +27  $dBm$ , это значит, что абсолютное значение мощности 0,5 Вт.

### *Приемники*

Предназначены для приема сигнала из линии связи и выделения из него полезной составляющей.

Основные характеристики радиоприемников:

– диапазон частот;

– чувствительность – минимальный уровень сигнала в антенне, который может быть обработан приемным трактом. Измеряется в мкВ. Чувствительность приемника для телеметрии должна быть не хуже 20 мкВ. Для сравнения: чувствительность приемника армейской переносной радиостанции Р-126 не более 2 мкВ, чувствительность бытового радиоприемника «Океан» около 40 мкВ. Во многих случаях чувствительность измеряют в относительных единицах: дБм ( $dBm$ ) или дБмкВ ( $dB\mu$ ) как  $20\lg(U/U_0)$ , где за нулевой уровень принят уровень сигнала 0,22 В ( $dBm$ ) или 1 мкВ ( $dB\mu$ ).

– избирательность – способность приемника выделять нужный сигнал на фоне посторонних сигналов в той же частотной области. Измеряется в дБ как относительный уровень основного сигнала и смещенного относительно него на  $\pm 250$  кГц (в случае ЧМ).

Избирательность приемника для телеметрии должна быть не менее 20...60 дБ (в зависимости от назначения). Для сравнения: избирательность приемника армейской переносной радиостанции Р-126 не менее 120 дБ, бытового радиоприемника «Океан» – около 40 дБ.

На практике часто используются передатчики и приемники в интегральном исполнении или в виде микросборок. Например, передатчик *RT-4* (*Telecontrolli*, Италия) – микросборка размером 10,16 × 17,78 мм, работает на частотах 303,8...433,92 МГц, выходная мощность +7...+10 *dBm* (5...10 мВт); приемник *RR-30* (*Telecontrolli*, Италия) – микросборка размером 8,9 × 25,4 мм, принимает сигнал на частотах 300...450 МГц, чувствительность –105 *dBm* (1,26 мкВ), избирательность 65 дБ; приемопередатчик *ADF7020* фирмы *Analog Devices* – микросхема для приема-передачи цифровых данных в формате *RS-232C* на частотах 433...464 МГц и 862...928 МГц, выходная мощность передатчика до +13 *dBm* (20 мВт), чувствительность приемника –106,5 *dBm* (1 мкВ).

#### *Расчет канала связи*

Для обеспечения качественного радиоканала следует обеспечить потенциал линии (*Lm*, *Line margin*) не менее 10...20 дБ:

$$Lm = Tx - Rx + Ant - PL \geq 10 \dots 20 \text{ дБ}, \quad (6.3)$$

где *Tx* – мощность передатчика, *dBm*;

*Rx* – чувствительность приемника, *dBm*;

*Ant* – коэффициент усиления антенны, дБ;

*PL* (*Path Loss*) – потери сигнала, дБ.

$$PL = 20 \lg(4\pi d/\lambda) + PLb, \quad (6.4)$$

где *d* – расстояние между приемником и передатчиком, м;

$\lambda$  – длина волны, м;

*PLb* – затухание сигнала на препятствиях, дБ.

Затухание на типовых препятствиях (строительные конструкции) составляет: кирпич 89 мм – 3,5 дБ; кирпич 178 мм – 5 дБ; железобетон 89 мм – 27 дБ.

*Примеры.*

1. Приемопередатчик *ADF7020*,  $f = 928$  МГц ( $\lambda = 0,32$  м);  $T_x = +13$  dBm;  $R_x = -106,5$  dBm;  $Ant = 2$  дБ; препятствие – ЖБ стена ( $PLb = 27$  дБ).

Для обеспечения потенциала линии  $PL = 20$  дБ получим дальность связи  $d = 135$  м.

2. Приемопередатчик *ADF7020*,  $f = 433$  МГц ( $\lambda = 0,69$  м);  $T_x = +13$  dBm;  $R_x = -106,5$  dBm;  $Ant = 2$  дБ; препятствие – ЖБ стена ( $PLb = 27$  дБ).

Для обеспечения потенциала линии  $PL = 20$  дБ получим дальность связи  $d = 291$  м.

3. Приемопередатчик *ADF7020*,  $f = 928$  МГц ( $\lambda = 0,32$  м);  $T_x = +13$  dBm;  $R_x = -106,5$  dBm;  $Ant = 2$  дБ; препятствие отсутствует.

Для обеспечения потенциала линии  $PL = 20$  дБ получим дальность связи  $d = 3028$  м.

## 6.5. Телеметрия в гастроэнтерологии

Пациенту вводится в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) капсула (эндорадиозонд), в которой находятся датчики измеряемых величин и радиопередатчик. Капсула движется по ЖКТ и передает информацию о его состоянии. Выводится из организма естественным путем. Обычно измеряются:

- температура (полупроводниковыми терморезисторами);
- давление газов (мембранными емкостными или индуктивными датчиками);
- уровень  $pH$  (обычная схема с двумя электродами).

Передатчик работает на частотах 2...10 МГц, так как более высокие частоты поглощаются тканями организма. Для минимизации размеров капсулы передатчик выполняется в виде генератора, задающий элемент которого ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) является датчиком измеряемой величины. В результате данные передаются с частотной модуляцией. Амплитудная модуляция в данном случае непригодна из-за постоянной смены положения капсулы в ЖКТ, в результате чего изменяется уровень излучения направленной антенной (в качестве антенны используется катушка задающего генератора).

Источник питания капсулы должен обеспечивать емкость порядка 20...30 мА·ч для работы в течение 2...3 суток. Такой источник

имеет значительные габариты, поэтому часто используют пассивные капсулы, впервые предложенные Дж. Т. Феррером, Ч. Беркли и В. К. Зворыкиным в 1960 г. Контур передатчика возбуждается внешним генератором, затем генератор отключают, и некоторое время передатчик излучает постепенно затухающий сигнал с частотной модуляцией. После затухания излучения генератор снова включают. Работа передатчика иллюстрируется диаграммой на рис. 6.6. Здесь  $T_{\Gamma}$  – время работы генератора,  $T_{\Pi}$  – время приема затухающего ЧМ-сигнала,  $T_{\text{ц}}$  – время цикла,  $U_{\Gamma}$  – напряжение на выходе генератора;  $U_{\Pi}$  – сигнал в антенне приемника.

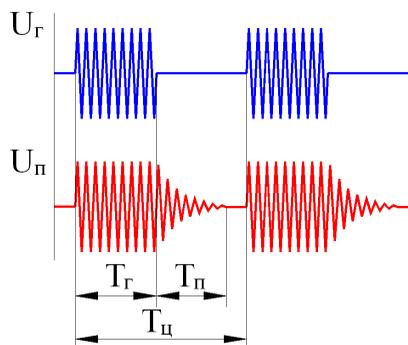


Рис. 6.6. Диаграмма работы пассивного передатчика

## 7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основой биохимических анализаторов является спектрофотометр. Автоматизация биохимических исследований в мировой лабораторной практике началась с середины 50-х годов. Основные этапы:

- 1) создание фотометров и спектрофотометров с контролируемой температурой кюветы: это позволило выполнять наряду с конечноточечными кинетические исследования;
- 2) автоматизированный перевод значений абсорбции в показатели концентрации или активности ферментов;
- 3) использование проточной кюветы, что исключило ошибки, обусловленные установкой кюветы в измерительный модуль и ее термостатированием. Кроме того, применение проточной кюветы позволяет экономнее расходовать реактивы, поскольку при толщи-

не поглощающего слоя 1 см объем кюветы составляет до 100 мкл. С учетом объемов подводящих трубок и необходимости несколько раз сменять реакционную смесь в кювете до начала измерения, необходимый для проведения лабораторного анализа объем не превышает 0,5–1 мл;

4) появление многоканальных анализаторов, позволяющих измерять одновременно большое количество проб, что существенно ускоряет процесс измерения;

5) появление автоанализаторов. Главной отличительной особенностью автоматических фотометров (спектрофотометров) от автоанализаторов является необходимость вручную смешивать анализируемый образец с реактивами. Если укомплектовать автоматический фотометр устройством, автоматически смешивающим определенный объем пробы с требуемым объемом реактива, то полученный комплекс может рассматриваться как автоанализатор.

Если пробоотборник в автоматизированном устройстве отсутствует, прибор рассматривается не как полный биохимический автоанализатор, а как полуавтоанализатор, процесс эксплуатации которого требует постоянного участия оператора: при этом лаборант практически не может отойти от прибора.

### *Классификация автоанализаторов*

Биохимические автоанализаторы по назначению могут быть подразделены на три основных типа:

1) одноцелевые, с помощью которых в анализируемой пробе определяется лишь один компонент биологической жидкости и ткани;

2) автоанализаторы для определения так называемых родственных компонентов (например, автоанализатор аминокислот);

3) многоцелевые биохимические автоматические устройства, предназначенные для установления содержания в биологических жидкостях большого количества различных по химической природе компонентов.

По способу транспортировки пробы различают анализаторы «поточного» или «дискретного» действия.

Впервые поточный принцип действия автоанализатора был предложен Л. Скеггсом в 1954 году. Вскоре после этого (1957) он был положен в основу созданного фирмой «*Technicon Instrument Corp.*» (1957) одноканального биохимического автоанализатора.

Все химические реакции в процессе осуществления анализа проводятся в потоке транспортируемых по трубкам и разделенных воздушными прослойками проб. Воспроизводимость результатов обеспечивается тем, что на каждый этап исследования всегда отводится один и тот же, притом строго определенный, промежуток времени. Результат анализа рассчитывается путем сопоставления показателей исследования опытной, контрольной и стандартной проб.

В автоанализаторах Скеггса поток жидкости, проходящий через трубчатый реактор, фрагментируется пузырьками воздуха, что обеспечивает эффективное перемешивание растворов и в то же время снижает гидродинамические размывание и взаимозагрязнение соседних проб. Однако перед поступлением жидкости в детектор она должна быть дегазирована (отделена от воздуха) с помощью специальных устройств.

В дальнейшем Я. Ружичка, Э. Хансен и К. Стюарт была предложена новая разновидность непрерывного проточного анализа, а именно: проточно-инжекционный анализ (ПИА), характеризующийся большей производительностью и экономичностью исследования.

Особенностью ПИА является введение (инъекция) определенного объема образца в непрерывный поток носителя. При большой его скорости, малом объеме анализируемой жидкости и достаточно узкой (капиллярной) трубке отдельные пробы не смешиваются друг с другом, а лишь немного разбавляются жидкостью-носителем. Это позволяет отказаться от разделения (сегментирования) жидкой зоны пузырьками воздуха (технологический принцип, используемый в автоанализаторах Скеггса). Специальный насос обеспечивает постоянное течение носителя и реагентов. При этом компоненты реакционной смеси смешиваются путем слияния потоков образца и реагентов, что приводит к еще большему размыванию зоны образца в потоке жидкости и протеканию химической реакции.

По сравнению с непрерывным проточным анализом ПИА позволяет получить информацию не только о концентрации исследуемого образца, но и о кинетике протекаемой реакции, а также значительно уменьшить объем биопробы и реагентов.

Автоанализаторы, использующие дискретный принцип работы, применяются в клинико-лабораторной практике с начала 60-х годов. Согласно этой, наиболее часто применяемой в клинико-лаборатор-

ной практике технологии, все химические реакции осуществляются в отдельных для каждой пробы емкостях.

Основными узлами дискретных автоанализаторов являются:

1. Карусели (картриджи) с исследуемым биологическим материалом и реагентами.
2. Дозаторы (манипуляторы).
3. Блок измерения концентрации определяемого компонента.
4. Регистрирующее устройство.
5. Система управления комплексом перечисленных модулей.

В дискретных автоанализаторах вместо центрифугирования и диализа (процедуры предварительного отделения белков в «мануальном» – ручном анализе) используется большое разбавление проб, при котором помехи от присутствия белков в большинстве реакций становятся ничтожно малыми.

Своеобразным «компромиссом», объединяющим проточный и дискретный принципы автоматизированного исследования, является ротационная система, особенность которой состоит в использовании процесса центрифугирования. При этом смешивание проб с реактивами, термостатирование и измерение величины оптической плотности осуществляются в период вращения ротора центрифуги: в процессе центрифугирования жидкость перемещается по радиальным каналам ротора в соответствующие кюветы, вращающиеся совместно с ним.

## **8. АВТОМАТИЗАЦИЯ КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

### **8.1. Системы диагностики сердечно-сосудистой системы**

Современные электрокардиографы построены по двум основным схемам:

1) на основе ПЭВМ – относительно простая схема на микроконтроллере выполняет основные операции по обработке сигнала, а ПЭВМ осуществляет вывод ЭКГ на экран и программным путем выделяет из сигнала ЭКГ диагностические параметры;

2) на основе специализированной МПС – все операции выполняет специализированный компьютер на основе микропроцессора или микроконтроллера.

Первая схема выгодна, когда уже имеется персональный компьютер, также используемый для других целей, обычно в небольших медицинских учреждениях. Пример такого кардиографа показан на рис. 8.1 и 8.2 [20]. В схеме на рис. 8.1 основные операции по формированию сигнала осуществляются аналоговыми элементами, в схеме на рис. 8.2 процедуры фильтрации осуществляются микроконвертером.

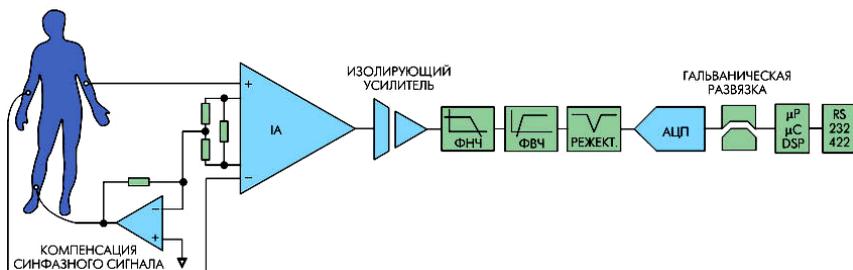


Рис. 8.1. Структурная схема кардиографа

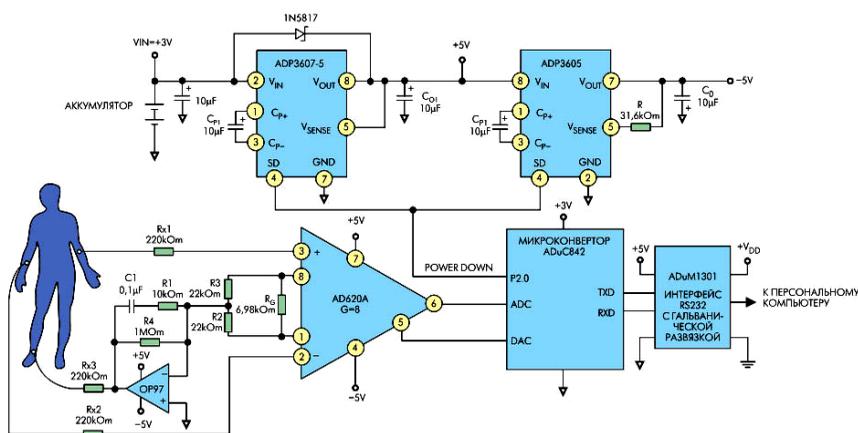


Рис. 8.2. Принципиальная схема кардиографа

Основным направлением в автоматизации диагностики сердечно-сосудистой системы является автоматизация обработки полученных данных (ЭКГ и др.), то есть выделение из полученного сигнала диаг-

ностических параметров. Для этих целей разрабатываются различные способы, которые комбинируют программные и аппаратные методы.

## 8.2. Системы для измерения температуры

При автоматизации измерения температуры контактным методом обычно ограничиваются цифровым отсчетом показаний. Некоторые модели цифровых термометров имеют звуковую сигнализацию окончания процесса измерения, в некоторых имеется интерфейс Bluetooth для передачи данных в ПЭВМ.

Более сложными являются системы для бесконтактного измерения температуры (тепловизоры). Обычно медицинский тепловизор представляет собой микропроцессорную систему, подключаемую к ПЭВМ для обработки и вывода изображений на печать.

## 8.3. Системы рентгенодиагностики

Основные направления автоматизации в этой области следующие:

1) автоматизация отдельных операций, в первую очередь – получения и обработки изображений, достигается внедрением автоматических рабочих мест (АРМ) рентгенолога;

2) снижение дозы облучения при выполнении рентгеновский исследований, достигается внедрением полупроводниковых детекторов, в том числе линейных, для прямого преобразования рентгеновского излучения в цифровой сигнал;

3) получение объемных изображений (компьютерная томография).

Для АРМ рентгенолога используются аппараты, позволяющие представить снимок в цифровом виде для работы и использования в системе *PACS (Picture Archiving and Communication System*, система хранения и передачи изображений) в соответствии со стандартом *DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)*. Используемые типы (модальности) изображений:

– *CR (Computed Radiography)* – используются запоминающие экраны с фотостимулируемым люминофором и считыватели (дигитайзеры) для преобразования изображения в цифровую форму;

– *DX, DR (Digital Radiography)* – используется прямое преобразование рентгеновского излучения в электрический цифровой сигнал;

– *RF (Radiofluorосcopy)* – изображение объекта получают на светящемся (флюоресцентном) экране, после чего преобразуют в цифровую форму;

– *SC (Secondary Capture)* – преобразование изображений, полученных традиционными способами, в цифровую форму.

### **8.5. Системы для измерения механических величин**

К ним в первую очередь относятся весы. Основным направлением автоматизации в медицинском весоизмерительном оборудовании является накопление данных, их статистическая обработка и определение дополнительных параметров (доля жира, воды и т. п.).

## Список использованных источников

1. Измерения в промышленности : справочное издание : в 3 кн. Кн. 1. Теоретические основы. – М. : Металлургия, 1990.
2. Белов, А. В. Конструирование устройств на микроконтроллерах / А. В. Белов. – СПб. : Наука и техника, 2006. – 256 с.
3. Ан, Пей. Сопряжение ПК с внешними устройствами / Пей Ан. – М. : ДМК Пресс, 2001. – 320 с.
4. Белов, А. В. Создаем устройства на микроконтроллерах / А. В. Белов. – СПб. : Наука и техника, 2007. – 304 с.
5. Леонтьев, А. Г. Микропроцессорные электромеханические системы : учебное пособие – СПбГТУ (электронное издание).
6. Ридико, Л. И. Раз шажок, два шажок... / Л. И. Ридико / Схемотехника, 2001. – № 6–9.
7. Компенсация холодного спая в практике применения термоэлектрических преобразователей / «Новости электроники». – 2007. – № 15. – С. 28–32.
8. Дискретные средства преобразования и сбора измерительной информации / А. А. Абдулаев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 144 с.
9. Фрунзе, А. В. Микроконтроллеры? Это же просто! / А. В. Фрунзе : в 3 т. Т. 1. – М. : ООО «ИД СКИМЕН», 2002. – 336 с.
10. Лапин, А. А. Интерфейсы. Выбор и реализация / А. А. Лапин. – М. : Техносфера, 2005. – 168 с.
11. Карпенко, Е. Возможности CAN-протокола / Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 4. – С. 16–20.
12. Новиков, Ю. В. Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа *IBM PC* / Ю. В. Новиков, О. А. Калашников, С. Э. Гуляев. – М. : ЭКОМ, 1998. – 224 с.
13. Гук, М. Интерфейсы ПК : справочник / М. Гук. – СПб. : ЗАО «Издательство «Питер», 1999. – 416 с.
14. *USB//Wikipedia* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/USB>. – Дата доступа : 21.09.2022.
15. *USB//Wikipedia* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/FireWire>. – Дата доступа : 21.09.2022.
16. Микропроцессорные автоматические системы регулирования. Основы теории и элементы : учебное пособие / В. В. Солодовников

[и др.] ; под ред. В. В. Солодовникова. – М. : Высшая школа, 1991. – 255 с.

17. Биологическая телеметрия / под общ. ред. В. В. Парина. – М. : Медицина, 1971. – 264 с.

18. Ильин, В. А. Телеуправление и телеизмерение : учебное пособие для вузов / В. А. Ильин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 560 с.

19. Клиническая лабораторная диагностика (методы и трактовка лабораторных исследований) / под ред. проф. В. С. Камышникова. – 2-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2017. – 720 с.

20. Компании-Бош, Э. Электрокардиограф на базе микроконвертора / Компоненты и технологии / Э. Компании-Бош, Э. Хартманн. – 2004. – № 6. – С. 104–108.

Учебное издание

**САВЧЕНКО** Андрей Леонидович  
**МИНЧЕНЯ** Владимир Тимофеевич  
**АХАТОВ** Акмал Рустамович

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ  
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-38 02 02  
«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»

Редактор *А. В. Кочемарова*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 17.10.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 3,97. Тираж 100. Заказ 548.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.