

## Структура гидро- и пневмопривода с электроуправлением.

Структура гидро- или пневмопривода с электроуправлением практически не отличается от других видов приводов (рис. 1). Особенность заключается только в используемых устройствах.

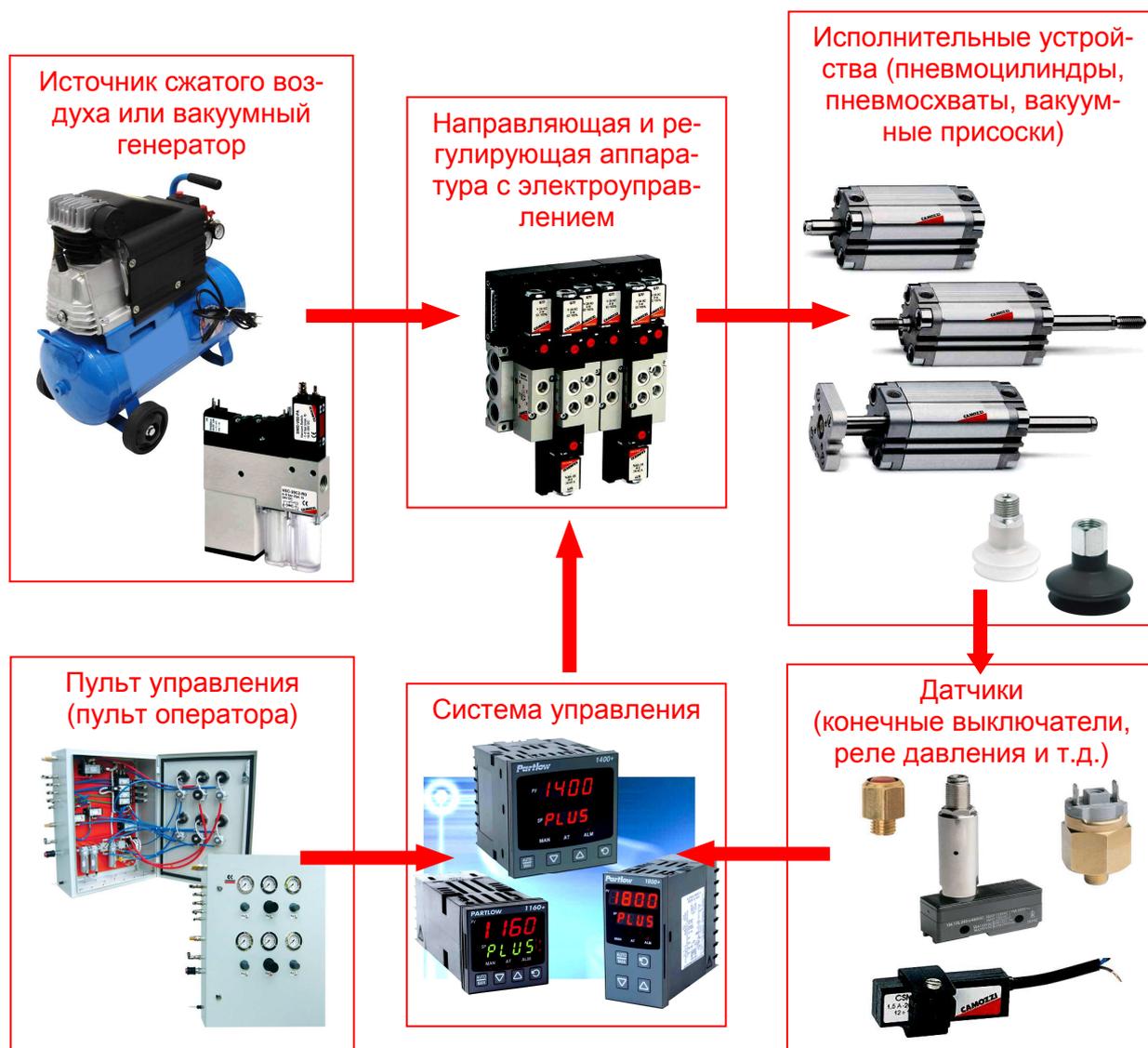


Рисунок 1 – Структура гидро- или пневмопривода с электроуправлением.

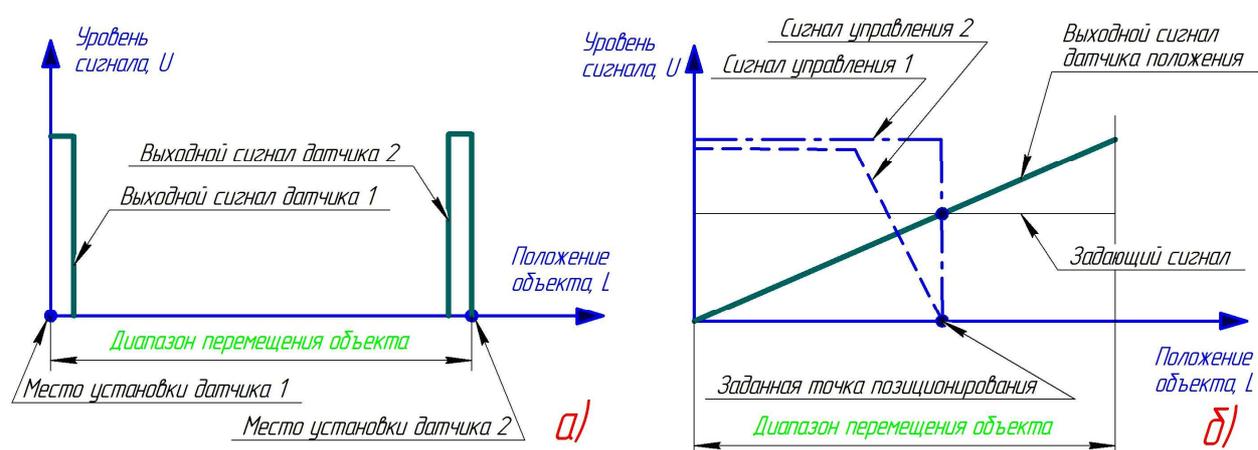
В отличие от пневматического привода, в пневмоприводе (пневмосистеме) с электроуправлением для регулирования рабочих параметров исполнительных устройств применяют направляющую и регулирующую аппаратуру с электроуправлением. В простейшем случае – электропневматический распределитель. Для контроля необходимых параметров используются датчики с электрическим

выходным сигналом. Соответственно устройство управления состоит из различных электронных компонентов.

Применение различных элементов зависит также от решаемых пневмоприводом (пневмосистемой) задач. Наиболее распространённая задача - перемещение какого-либо объекта или рабочего органа оборудования в заданную точку или по заданной траектории. В зависимости от вида перемещения приводы подразделяются на цикловые, позиционные и следящие.

В цикловом приводе количество точек позиционирования объекта или рабочего органа оборудования ограничено несколькими позициями, а точность остановки определяется механическими упорами. Изменение точки позиционирования осуществляется ручным перемещением упора.

Для контроля положения перемещаемого объекта используются датчики положения, называемые конечными (путевыми) выключателями. Такие датчики, как правило, устанавливаются в конечных точках диапазона перемещения и выдают сигнал определённого уровня при попадании объекта или рабочего органа оборудования в заданную позицию (рис. X.2-а). Уровень сигнала зависит от типа датчика и напряжения питания. Такой сигнал и, соответственно, датчик называют дискретным.



**Рисунок X.2** – Выходные сигналы датчиков положения, используемых в цикловом приводе (а) и в позиционном приводе (б).

Система управления циклового привода использует эти сигналы для обеспечения необходимой последовательности действий (цикла). Оператор с помощью

пульта управления осуществляет включение/выключение привода, контроль над ходом цикла и (при необходимости) управление приводом в ручном режиме.

В цикловом пневматическом приводе с электроуправлением в качестве направляющей аппаратуры используют пневмораспределители с электроуправлением, которые переключаются дискретными сигналами. Регулирование скорости движения осуществляется оператором с помощью пневмодросселей. Соответственно система управления также строится с помощью дискретных элементов – электромагнитных и электронных реле, таймеров и счётчиков, программируемых реле (логических модулей), программируемых логических контроллеров.

Позиционный привод должен обеспечить перемещение объекта в любую точку из диапазона перемещения с заданной точностью. Для контроля положения объекта используются датчики положения, у которых уровень выходного сигнала (или код – для цифровых датчиков) пропорционален положению объекта (рис. X.2-б). Каждому положению объекта соответствует определённый уровень сигнала датчика.

Система управления обеспечивает не только заданную последовательность действий, но и останов объекта в заданной позиции. В простейшем случае система управления сравнивает уровень выходного сигнала датчика с уровнем задающего сигнала и при их совпадении в точке позиционирования выключает исполнительное устройство (сигнал управления 1 на рис. X.2-б). Изменение точки позиционирования осуществляется изменением уровня задающего сигнала.

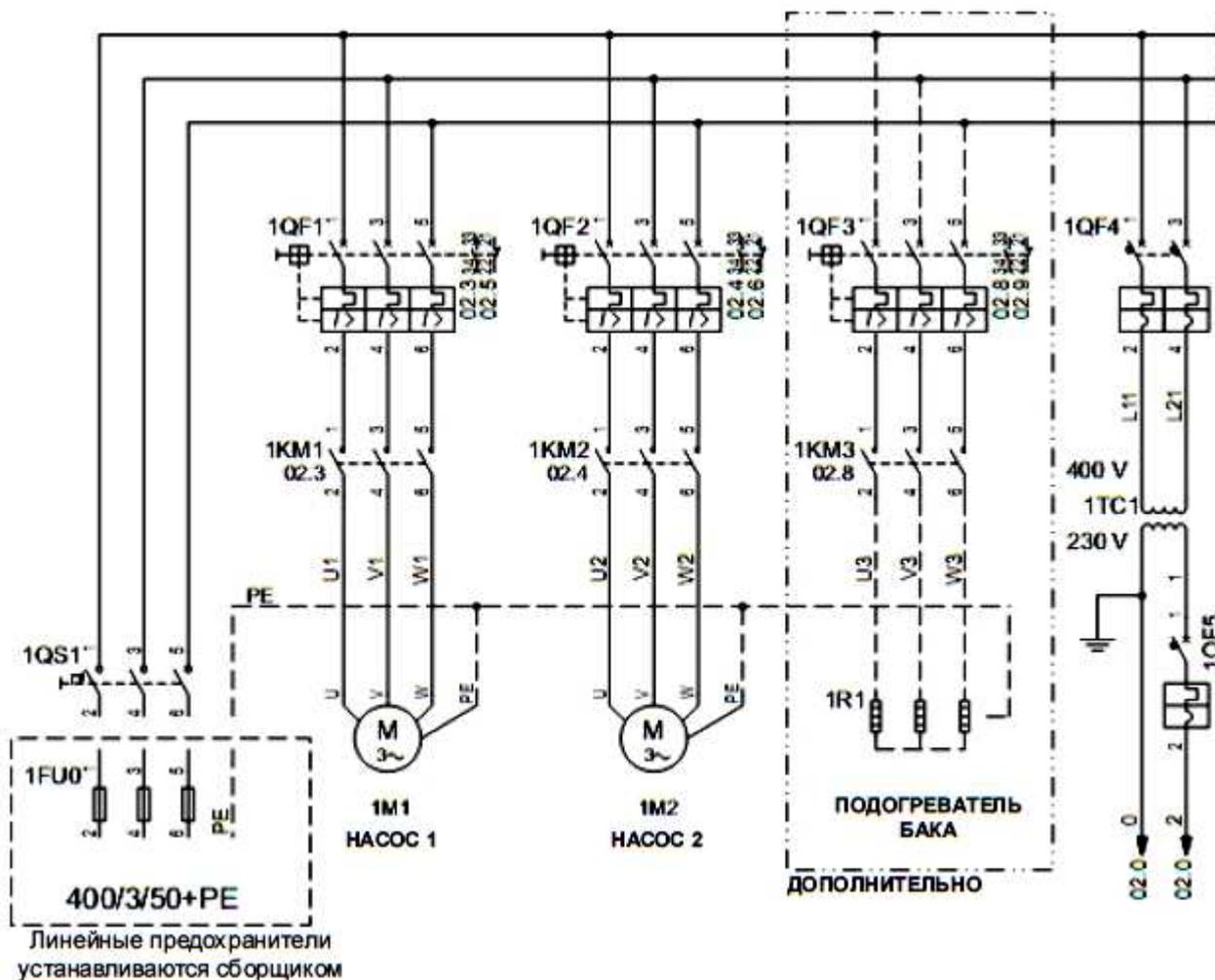
Однако, в таком случае в пневматическом приводе из-за сжимаемости воздуха невозможно получить высокую точность позиционирования. Для обеспечения высокой точности необходимо применять более сложные методы торможения: использовать специальные устройства торможения (например, гидродемпферы) или применять специальные законы торможения. В последнем случае сигнал управления и, соответственно, скорость движения объекта, изменяется по определённому закону, уменьшаясь при приближении к точке позиционирования (сигнал управления 2 на рис. X.2-б).

В позиционных приводах используется пропорциональная аппаратура с электроуправлением, система управления – программируемый логический контроллер с аналоговыми входами и выходами.

Следящий привод во многом похож на позиционный. Отличие заключается в том, что задача позиционного привода – максимально быстрое перемещение объекта из одной позиции в другую, при этом траектория перемещения не важна. Задача следящего привода – перемещение из одной позиции в другую по заданной траектории. Как правило, такое перемещение объекта осуществляется с помощью нескольких исполнительных двигателей, скорость каждого из которых изменяется по заданному алгоритму. В следящих приводах помимо датчиков положения используются и другие датчики (датчики скорости, ускорения, усилия и т.п.) и самые сложные алгоритмы управления.

## Электроавтоматика насосных установок

На рисунке в качестве примера приведён фрагмент электрической схемы насосной установки.



В состав насосной установки входят следующие основные элементы электроавтоматики:

- Электромоторы (как правило, асинхронные) -1М1, 1М2 осуществляют вращение вала гидронасоса;
- Контакторы (мощные реле) – 1КМ1...1КМ3, предназначены для включения/выключения электропитания;
- Автоматические выключатели – 1QF1...1QF3, предназначены для защиты электрооборудования от токов короткого замыкания. Часто они также содержат встроенную функцию теплового реле – защиту от длительных небольших перегрузок по току;
- Отдельные тепловые реле – 1QF4, 1QF5.

В отдельных случаях, насосная установка также может включать устройства защитного отключения (УЗО) для защиты персонала от поражения электрическим током; реле контроля напряжения для защиты от перенапряжения в сети; реле контроля последовательности фаз; устройство плавного пуска и торможения (для мощных насосов).

Контакторы, автоматические выключатели и тепловые реле часто объединены в одном устройстве – пускателе.

**Пускатель электромагнитный** общепромышленного назначения – коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором непосредственным подключением обмоток статора к сети и разрывом тока в них без предварительного ввода в цепь дополнительных сопротивлений.

С учетом используемых на практике схем на электромагнитные пускатели возлагают дополнительные функции:

- реверсирование направления вращения двигателя путем изменения последовательности подключения фаз сети к обмоткам;
- изменение схемы включения обмоток двигателя Y/D;
- защита двигателя от перегрузок и перегрева, снижения сопротивления изоляции и т.п.

Учитывая требования к пускателю, как элементу схемы автоматического управления, на него часто возлагают ряд вспомогательных функций:

- электрическое и механическое блокирование возможности одновременного включения контакторов в реверсивных схемах;
- создания цепей для местного и дистанционного управления пускателем;
- защита от нежелательных режимов работы;
- контроль и сигнализация о состоянии силовых цепей и цепей управления.

Выпускаемые промышленностью магнитные пускатели рассчитаны на применение в разных климатических поясах, размещение в разных условиях.

В соответствии с ГОСТ 2491-82 электромагнитные пускатели предназначаются для работы в категории применения АС-3 (прямой пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся электродвигателей) и

должны допускать работу в категории применения АС-4 (пуск, отключение и торможение противовключением электродвигателей с короткозамкнутым ротором).

Коммутационная износостойкость аппаратов в этих категориях проверяется в условиях, моделирующих включение и отключение асинхронного двигателя, соответствующего по параметрам номинальным данным пускателя, в режимах, определенных категорией применения пускателя.

Как к элементу систем автоматического управления к электромагнитным пускателям предъявляются высокие требования по износостойкости. Пускатели выпускаются в трех классах коммутационной износостойкости (А, Б и В).

Пускатели главным образом предназначены для применения в стационарных установках дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до 380 и 660В переменного тока частотой 50Гц.

При наличии тепловых реле пускатели осуществляют защиту управляемых электродвигателей от перегрузки недопустимой продолжительности. Пускатели с ограничителями перенапряжений пригодны для работы в системах управления с применением полупроводниковой техники.

### **Классификация:**

Пускатели классифицируются по:

- виду схемы включения нагрузки (как правило электродвигателя) нереверсивный или реверсивный;
- по номинальному напряжению главной цепи;
- по категории размещения;
- по наличию кнопочного поста на корпусе пускателя - кнопок «пуск» и «стоп» (п+с) на нереверсивных пускателях, или кнопок «пуск вперед», «пуск назад» и «стоп» (ппс) реверсивных пускателях. Некоторые модификации пускателей предусматривают наличие на корпусе сигнальной лампы «включено»;
- по наличию дополнительных (сигнальных, блокировочных) контактов, могут быть замыкающими (з) или размыкающими (р) в разных комбинациях;

- по числу дополнительные контакты могут быть встроены в пускатель или изготовлены в виде отдельной приставки. Часть дополнительных контактов может быть использована в схеме пускателя, например, в реверсивном пускателе - для осуществления - по роду тока и по напряжению втягивающей катушки - переменного тока на различные напряжения из стандартного ряда - по наличию теплового реле.

Тепловые реле характеризуются номинальным током несрабатывания на средней установке и, как правило, допускают регулировку тока несрабатывания в пределах  $\pm 15\%$  от номинального значения.

Пускатели могут комплектоваться ограничителями перенапряжений, различными установочными изделиями и т.д.

### **Нормируемые технические характеристики**

К важнейшим характеристикам пускателя относятся:

- Максимально допустимый ток главной цепи в амперах. Нормируется для режима работы пускателя АС-1, АС-3 или АС-4 отдельно для каждого из значений напряжения главной цепи, т.е. рабочего напряжения пускателя;
- Максимально допустимое напряжение главной цепи (В);
- Напряжение питания втягивающей катушки (В). Может быть выбрано из ряда 24, 36, 42, 110, 220, 380В переменного тока. Некоторые типы пускателей изготавливаются с магнитной системой с питанием катушки управления постоянным током, при этом их включают в цепь переменного тока через выпрямитель.
- Коммутационная износостойкость. Исчисляется в миллионах циклов включения-выключения. Для определения коммутационной износостойкости необходимо задать режим работы пускателя, напряжение главной цепи, ток главной цепи (или мощность управляемого двигателя) и, по соответствующей номограмме, приведенной в техническом описании пускателя, определить гарантированное число включений-отключений. При этом необходимо учесть, что режим работы пускателя учитывает частоту его включений-отключений в час.
- Максимально допустимый ток вспомогательных контактов. Исчисляется в амперах при заданном напряжении на контактах.
- Мощность, потребляемая втягивающей катушкой (указывается в ваттах)

При выборе пускателя широко применяется термин «величина пускателя».

Термин этот условный и характеризует допустимый ток контактов главной цепи пускателя. При этом подразумевается, что напряжение главной цепи составляет 380В и пускатель работает в режиме АС-3.

Максимальный ток главной цепи составляет:

для нулевой величины 6,3А

для первой величины 10А

для второй величины 25А

для третьей величины 40А

для четвертой величины 63А

для пятой величины 100А

для шестой величины 160А

Допустимый ток контактов главной цепи отличается от приведенных выше в зависимости от:

- категории применения - АС-1, АС-3 или АС-4: АС-1 - нагрузка пускателя чисто активная или мало индуктивная;

АС-3 - режим прямого пуска двигателя с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся электродвигателей;

АС-4 - пуск электродвигателя с короткозамкнутым ротором, отключение неподвижных или медленно вращающихся электродвигателей, торможение противотоком. С увеличением номера категории применения допустимый ток контактов главной цепи, при равных параметрах по коммутационной износостойкости, уменьшается;

- напряжения на контактах главной цепи. При увеличении напряжения допустимый ток контактов падает.

Для некоторых типов пускателей величина пускателя указывается при напряжении главных контактов, отличном от 380В.

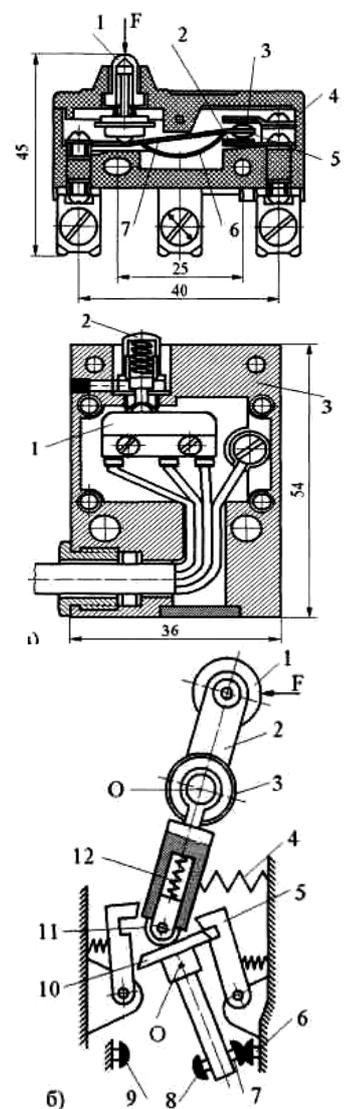
## Конечные выключатели

**Электроконтактные датчики с механическим воздействием** применяются в системах последовательного управления, когда команда на работу последующего звена автоматизированного оборудования дается либо в середине, либо в конце работы (перемещения) предыдущего звена, например штока пневмоцилиндра. В силу этого, такие датчики получают название **путевых датчиков** или **конечных выключателей**.

Они могут быть подразделены на **кнопочные** или **рычажные**.

Для позиционирования рабочих органов с точностью 0,3...0,7 мм применяются **моментные конечные выключатели** (микропереключатели), работающие в режиме переключателя. Неподвижные контакты 2 и 3 укреплены в пластмассовом корпусе 4 с отверстиями для закрепления на технологическом оборудовании, расположенными друг от друга на расстоянии 25 мм. Подвижный контакт 5 укреплен на конце распорной пружины, состоящей из плоской 7 и фигурной 6 частей. При воздействии рабочего органа на шток 1 происходит деформация пружины и изменяется направление сил, действующих на распорную пружину, в результате чего контакт 5 перебрасывается в нижнее положение за время 0,01...0,02 с, обеспечивая тем самым надежную коммутацию электрических цепей. Ход штока 1 составляет десятые доли миллиметра.

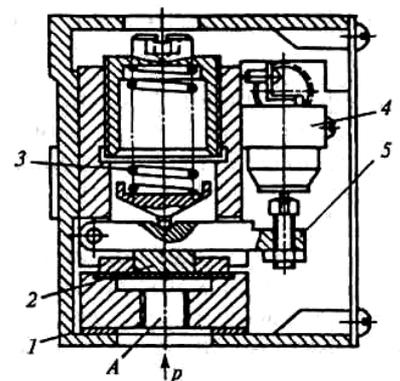
Микропереключатель 1, закрепленный в корпусе 3 является основой конструкций как кнопочных, так и рычажных путевых датчиков. Связь приводного штока микропереключателя осуществляется через шток 2, имеющий в своем составе компенсационную пружину сжатия, предохраняющую микропереключатель от поломки при чрезмерных угловых перемещениях рычагов.



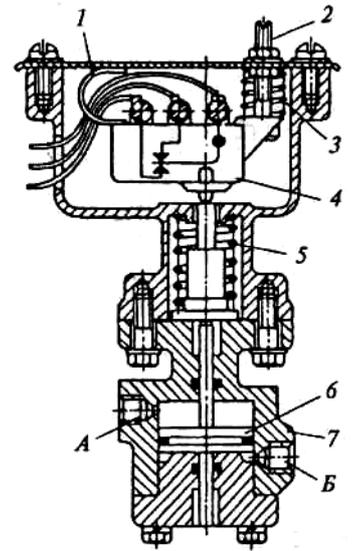
Рычажные путевые датчики с ломающимся рычагом срабатывают только при нажатии в одном направлении. При перемещении рабочего органа справа налево его воздействие на ролик 1 приводит к повороту рычага 2 против часовой стрелки вокруг оси  $O$ , в результате чего подпружиненный ролик 11 переместится по полке 10 качающегося рычага с подвижными контактами 7 и 8 и изменит направление действия силы, создаваемой пружиной 12, по отношению к оси качания рычага. Поворот рычага с подвижными контактами вокруг оси  $O$  произойдет лишь после того, как приводной рычаг 2 переместится на несколько большую величину и отведет собачку 5 от полки 10 качающегося рычага. Освободившийся рычаг под действием пружины 12 быстро повернется, разомкнет контакты 6 и 7 и замкнет контакты 8 и 9, а также зафиксируется другой собачкой. После снятия усилия, приложенного к ролику 1, рычаг 2 под действием пружины 4 возвращается в исходное положение и происходит обратное перемещение контактов. Кольцевые пружины 3, введенные в состав рычага 2, обеспечивают компенсацию перебега рабочего органа, воздействующего на ролик 1, а при движении рабочего органа слева направо обеспечивают «ломку» рычага, способствующую свободному его перемещению (возврату) без срабатывания датчика.

Сведения об уровне давления дают аппараты, называемые **реле давления**. Они нашли широкое применение из-за своей простоты и возможности автоматизировать работу гидропневмопривода.

Входное отверстие  $A$  в корпусе 7 реле подсоединяется к тому рабочему каналу гидросистемы, о давлении в котором необходимо получить информацию. Если давление рабочей жидкости достигает уровня, настроенного путем изменения натяга пружины 5, то оно, воздействуя через мембрану на поршень 2, создает силу, поворачивающую рычаг 5. При этом происходит замыкание (или размыкание) электрических контактов в контактной группе 4, и появляется электрический сигнал о том, что давление в этом канале достигло необходимого уровня. Появившийся сигнал подается в систему управления для подключения других гидравлических устройств или аппаратов или осуществления других действий гидросистемы. Аналогично работают и реле давления пневматических систем.

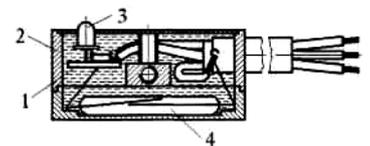


Имеются реле давления дифференциального типа, которые срабатывают при достижении необходимой разности давлений в двух каких-либо каналах привода. К отверстию А в корпусе 7 подсоединяется канал с низким давлением, а к отверстию Б канал с высоким давлением. Таким образом, на поршень 6 действует давление сверху и снизу. При достижении заданной разности этих давлений создается сила, достаточная для преодоления силы пружины 5. Тогда перемещение поршня вверх передается на штифт микропереключателя 4, связанного с пружинами 1 и 3, и тем самым осуществляется замыкание или размыкание контактов. Разность давления, при которой срабатывает реле, настраивается изменением натяга пружины 3 винтом 2.

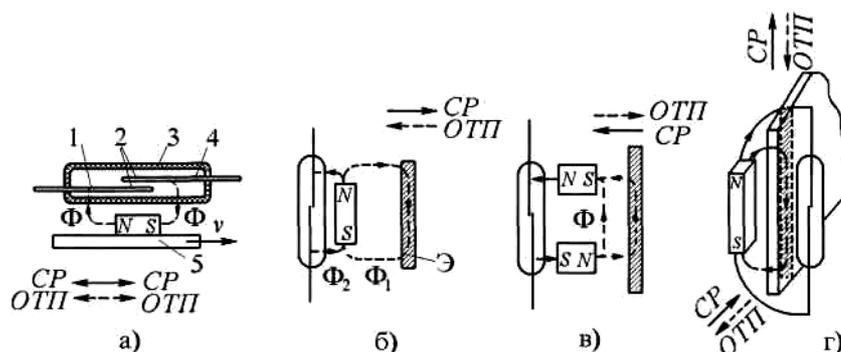


**Электроконтактные датчики с магнитным воздействием** применяются в электропневматических системах последовательного управления в тех случаях, когда необходимо избежать прямого механического воздействия исполнительных органов технологического оборудования на их чувствительные элементы. Они могут выполнять функции как путевых датчиков, так и конечных выключателей.

Датчик состоит из разъемного корпуса 2, внутри которого размещены геркон 4 и плата 1 с индикатором срабатывания (включения) в виде желтого светодиода 3, залитые искусственной смолой. Геркон представляет собой герметичный контакт, помещенный в стеклянный баллон, заполненный инертным газом.



На рисунке представлены схемы управления герконами, входящими в состав путевых датчиков.



В схеме а) на перемещающейся детали 5 устройства устанавливается постоянный магнит. При подходе к геркону 3 поток  $\Phi$  от постоянного магнита замыкается через ферромагнитные пластины 1 и 4, в результате чего замыкаются контакты 2 геркона за счет магнитного притяжения. Когда постоянный магнит отходит от геркона, магнитный поток исчезает, и контакты 2 расходятся под действием упругих сил плоских контактных пружин 1 и 4.

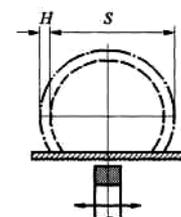
Управление герконами может осуществляться за счет перемещения ферромагнитного экрана. Геркон срабатывает при удалении экрана Э, ранее шунтирующего магнитный поток, от постоянного магнита, т.к. магнитный поток  $\Phi$  становится меньше магнитного потока  $\Phi_2$ .

На рис. в) геркон срабатывает при приближении к постоянным магнитам экрана вследствие возрастания магнитного потока  $\Phi$ , который замыкается не через воздух, магнитная проводимость которого меньше магнитной проводимости металла, а через ферромагнитный экран.

На рис. г) геркон срабатывает при удалении экрана из зазора между герконом и постоянным магнитом вследствие того, что весь магнитный поток, создаваемый постоянным магнитом, будет замыкаться через контактные пластины геркона, создавая соответствующее усилие срабатывания.

Примером практического использования таких электроконтактных датчиков в качестве концевых выключателей может служить их установка на гильзе магнитного цилиндра.

Максимальная скорость  $V_{\text{тах}}$  зависит от пути срабатывания перемещения  $S$  соответствующих типов пневмоцилиндров, а также от времени срабатывания подключенных к датчику элементов ( $H$  – гистерезис).



Датчики могут быть **2-х и 3-х проводными**.

Основными характеристиками герконов являются максимальная коммутируемая мощность ( $P_{\text{мах}} = 0,3 \dots 80$  Вт); максимальный коммутируемый ток ( $I_{\text{мах}} = 0,01 \dots 3$  А); максимальное коммутируемое напряжение ( $U_{\text{мах}} = 30 \dots 250$  В). Иногда эти данные приводятся в виде **графика эффективной нагрузки**. Кроме того к

основным параметрам относятся максимальное время срабатывания ( $t_{ср\text{аб}} = 1 \dots 10$  мс) и максимальное время отпущения ( $t_{отп} = 0,3 \dots 8$  мс).

Параметры коммутируемых цепей приводятся для чисто активной нагрузки. При смешанной нагрузке  $RL$  коммутационная способность геркона ухудшается и должна оговариваться заводом-изготовителем для данного значения постоянной времени нагрузки  $T=L/R$ . Если заданы параметры только для активной нагрузки, а цепь имеет смешанный характер, то для облегчения работы (устранения эрозии контакта геркона) следует применять защитные схемы.

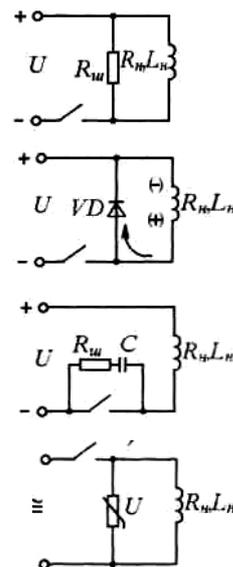
Например, нагрузка  $R_H, L_H$  может быть шунтирована резистором  $R_{ш}$ . При размыкании контакта ток протекает через резистор  $R_{ш}$  и вся электромагнитная энергия переходит в тепловую, выделяемую в сопротивлении нагрузки  $R_H$  и резисторе  $R_{ш}$ . Наличие резистора  $R_{ш}$  увеличивает токовую нагрузку контактов, что является недостатком схемы.

От этого недостатка свободна схема с использованием диода. В этой схеме контакты нагружаются только током  $U/R_H$  и обратным током диода  $VD$ . При включении цепи через диод  $VD$  протекает только небольшой обратный ток. При отключении поток в магнитной цепи нагрузки начинает спадать и на ней появляется ЭДС самоиндукции с полярностью, обозначенной в скобках. Для этой полярности диод  $VD$  открыт и закорачивает нагрузку. Вся электромагнитная энергия нагрузки выделяется в сопротивлении  $R_H$  и прямом сопротивлении диода.

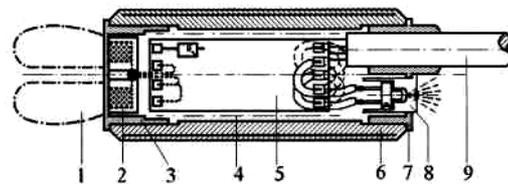
Контакт может быть шунтирован цепочкой  $R_{ш}C$ . Наличие конденсатора  $C$  снижает скорость нарастания напряжения на контактах, что облегчает процесс отключения. При замыкании цепи возможна сильная электрическая эрозия за счет разряда конденсатора. Для ограничения тока разряда служит резистор  $R_{ш}$ .

Весьма эффективными для снижения перенапряжения являются варисторы, ток утечки которых возрастает лишь при превышении номинального напряжения. Они пригодны для схем с постоянным и переменным напряжением.

**Индуктивные датчики** сигналов (команд) позволяют бесконтактно регистрировать функциональные движения исполнительных органов технологического

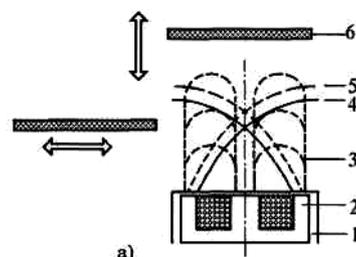


оборудования или объектов производства, выполненных из магнитных материалов. Датчик сконструирован по принципу трехпроводного переключателя постоянного напряжения с отдельным контуром для напряжения питания. Переменное магнитное поле 1 созда-



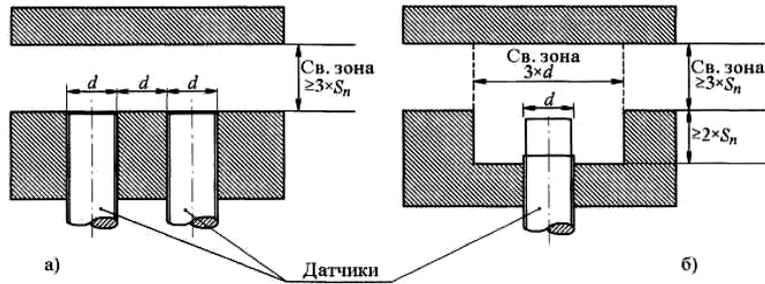
ется катушкой 2 с ферритовым полусферическим сердечником, установленной в резьбовом металлическом корпусе 6 с помощью защитного экрана 3. Преобразователь 5 выполнен по гибридной интегральной схеме и изолирован от корпуса капроновой пленкой 4. Световой индикатор срабатывания (светодиод) 8 и соединительный кабель 9 установлены в крышке 7. Для герметизации полость датчика заполнена специальным компаундом.

Кривые срабатывания датчика расположены кругами над активной (рабочей) поверхностью датчика в зоне действия высокочастотного переменного магнитного поля 3, создаваемого катушкой 2, размещенной в корпусе 1 датчика. Они состоят из кривых включения 4 и выключения 5, разность между которыми есть гистерезис, отнесенный к входному сигналу датчика. Срабатывание происходит при введении в активное пространство объекта измерения 6.

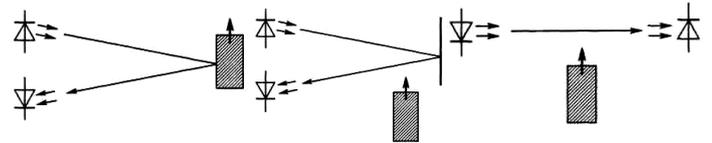


**Коммутационным расстоянием  $S_n$**  называется расстояние, на котором измерительная пластина из стали ST37 (аналог — сталь 35), приближающаяся к рабочей поверхности датчика диаметром  $d$ , вызывает изменение выходного сигнала. Измерительная стальная пластина имеет форму квадрата со стороной  $m$ , равной диаметру  $d$  рабочей поверхности датчика. Толщина пластины — 1 мм. При выполнении измерительной пластины из других металлов рабочие коммутационные расстояния будут отличаться.

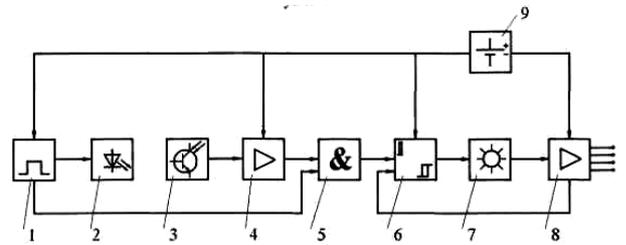
Индуктивные датчики могут быть установлены в металлических держателях или деталях технологического оборудования. При последовательном монтаже между ними следует соблюдать расстояние, равное диаметру  $d$  датчика. При монтаже в полости металлического держателя или детали технологического оборудования следует выдерживать размер свободной зоны в пределах  $3...5 S_n$ .



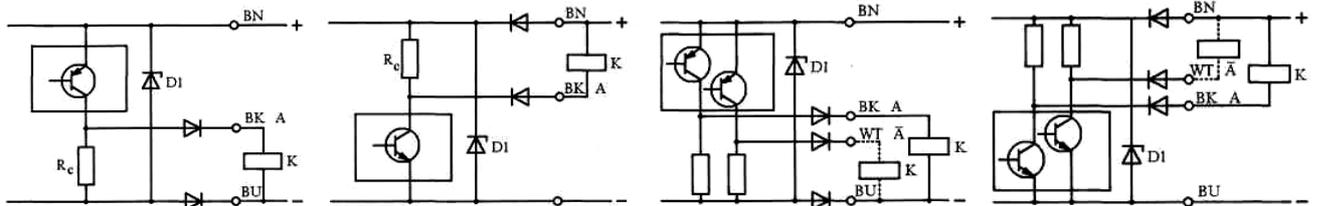
Оптоэлектронные датчики состоят из двух основных узлов: передатчика и приемника. Передатчик и приемник помещаются либо в один корпус (отражающие зонды и отражающие световые затворы) или они размещаются в отдельных корпусах (односторонние световые затворы).



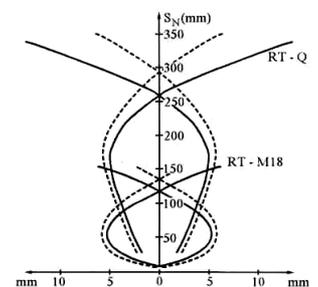
В блок-схему зонда входят источник постоянного напряжения 9 величиной 10...30 В, осциллятор 1, передатчик 2 и приемник 3 излучения, предусилитель 4,



сумматор 5, импульсно-уровневый преобразователь 6, индикаторный светодиод 7 и выходной элемент 8 с защитной проводкой. Выходной элемент может выполнять функции замыкающего, размыкающего или переключающего контакта:



На рис. приведены типичные кривые пуска и выключения с учетом гистерезиса. Гистерезис находится на осевом пусковом направлении ниже на 20% номинальной дальности включения  $S_N$ . Сплошные линии соответствуют состоянию включения датчика, пунктирные — выключению.

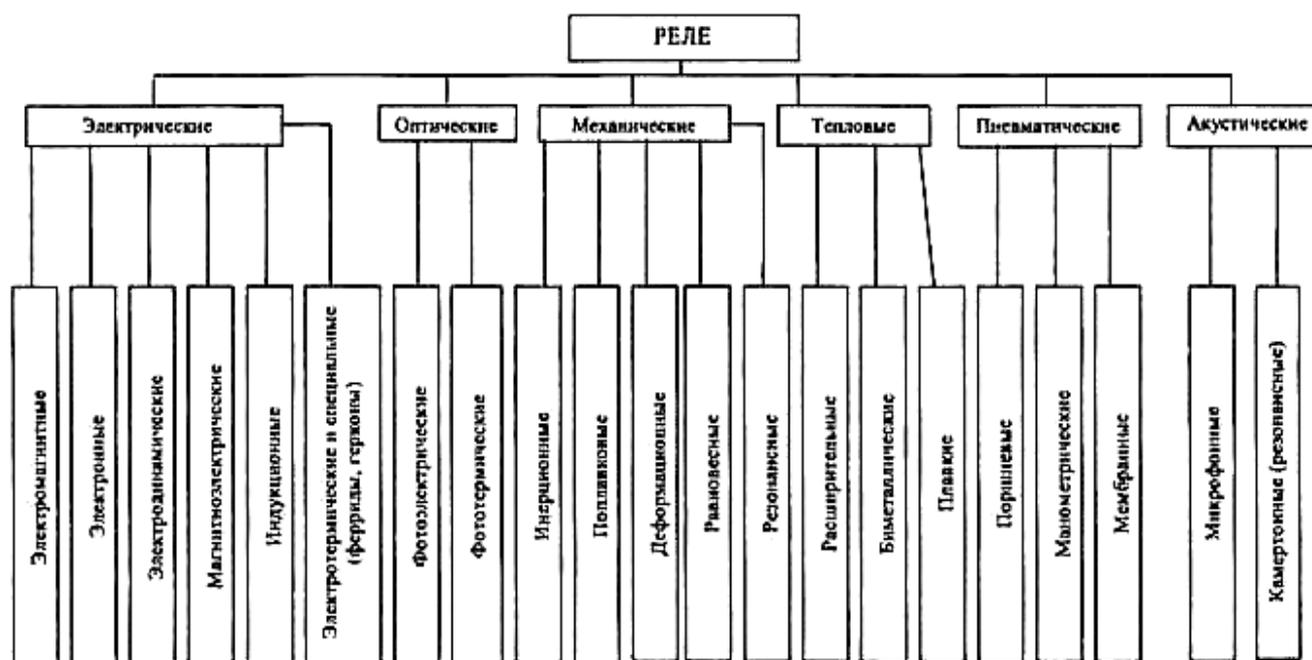


Оптоэлектронные датчики могут быть выполнены с цилиндрическими или прямоугольными корпусами и иметь кабельное или штеккерное подключение.

## Электрические и электронные модули управления

Реле — устройство, реагирующее под воздействием электрического тока, давления жидкости или газа, температуры и др. замыканием или размыканием своих контактов.

Реле классифицируются по различным признакам. По принципу действия реле подразделяются на электрические, (электромагнитные, электронные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные, электротермические и специальные), тепловые, оптические, механические, пневматические и акустические.



по назначению — управления, защиты и сигнализации;

по принципу действия — электромеханические (электромагнитные нейтральные и поляризованные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные, электротермические), магнитные бесконтактные, электронные, фотоэлектронные, ионные;

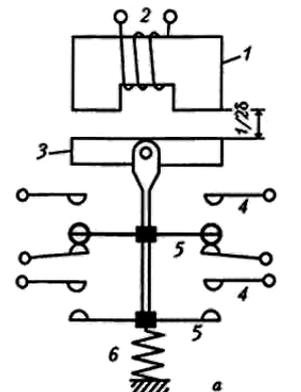
по регистрируемой величине — электрические (тока, напряжения, мощности, сопротивления, частоты, коэффициента мощности), механические (силы, давления, скорости, перемещения, уровня, объема и др.), тепловые (температуры, количества тепла), оптические, акустические, физических величин (времени, вязкости и др.);

по мощности управления — маломощные  $P_{п} < 1 \text{ Вт}$ , средней мощности  $P = 1-10 \text{ Вт}$ , мощные  $P_{п} > 10 \text{ Вт}$ ;

по времени срабатывания — безынерционные  $t_c < 1 \text{ мс}$ , быстродействующие  $t_{cp} = 1-50 \text{ мс}$ , замедленные  $t_Q = 0,15-1 \text{ с}$ , реле времени  $t_c > 1 \text{ с}$ .

Наиболее распространенными являются электромагнитные реле. По роду используемого тока они делятся на реле *постоянного* и *переменного* тока. Реле постоянного тока подразделяются на *нейтральные* и *поляризованные*. Нейтральные реле одинаково реагируют на постоянный ток обоих направлений, протекающий по его обмотке (т.е. положение якоря не зависит от направления тока в обмотке), поляризованное реле реагирует на полярность.

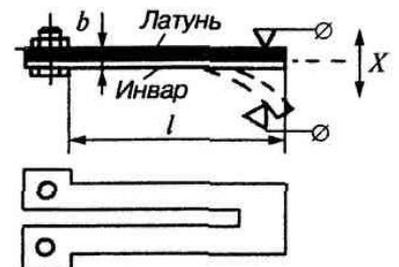
Принцип действия реле: при подаче тока в обмотку создается магнитный поток, который, проходя через сердечник, якорь и воздушный зазор, создает магнитное усилие, притягивающее якорь к сердечнику. При этом якорь замыкает или размыкает контакты управляемой цепи. При выключении тока якорь под действием пружины возвращается в исходное положение.



1 - сердечник;  
2 - катушка; 3 - якорь;  
4 - неподвижные контакты;  
5 - подвижные контакты;

**Электротермические реле** (температурные преобразователи) основаны на изменении объемов твердых, жидких и газообразных тел при изменении температуры. Механическое перемещение, вызванное нагреванием тел, приводит к замыканию или размыканию контактов управляемой цепи.

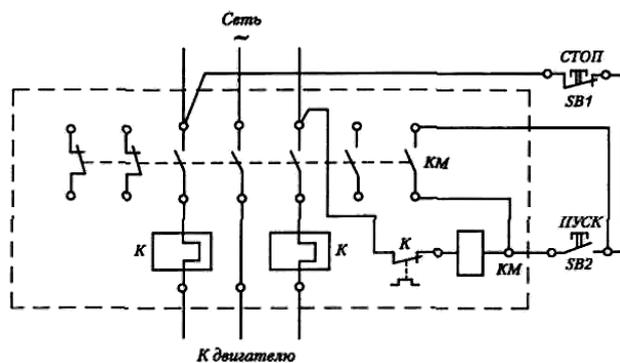
Широкое распространение в схемах автоматики получили *биметаллические тепловые реле*. Принцип их работы основан на тепловом действии электрического тока. Эти реле применяются главным образом в магнитных



пускателях для автоматического отключения электродвигателей при перегрузках (тепловая защита), а также как реле времени. Основной частью реле является биметаллическая пластина, которая состоит из двух скрепленных (сваркой или спайкой) полос из металлов, имеющих разные температурные коэффициенты теплового расширения, например, латуни и инвара (сплав стали с никелем), у кото-

рых один коэффициент больше другого почти в 20 раз. Такая полоса при нагреве прогибается в сторону металла с меньшим коэффициентом теплового расширения, причем прогиб на конце может достигать нескольких миллиметров. Тепловое реле с биметаллической пластинкой обладает значительной инерцией при срабатывании. Поэтому такое реле может быть использовано как реле времени с выдержкой времени от нескольких секунд до нескольких минут.

**Магнитный пускатель** представляет собой контактор, расположенный на панели или в металлическом кожухе вместе с тепловым реле (или без него), который предназначен для коммутации электрических цепей различной мощности.



Реле, выполняющие функцию контроля напряжения в какой-либо части схемы, называется **реле напряжения**. Оно должно срабатывать при достижении определенного уровня напряжения или отпускать при понижении напряжения до определенного значения. Аналогично реле тока контролирует ток в каком-либо участке цепи, но в отличие от реле напряжения имеет катушку с малым числом витков, включаемую последовательно с потребителем, например с обмоткой возбуждения двигателя постоянного тока.

Если реле контролирует верхний предел напряжения или тока, его называют реле максимального напряжения (РМН) или реле максимального тока (РМТ). Если контролируется нижний предел, то соответственно — реле минимального напряжения, в частности реле нулевого напряжения (РНН), или реле минимального тока, в частности реле нулевого тока (РНТ).

Настройка реле на определенное значение напряжения или тока срабатывания, напряжения или тока отпускания (изменение уставки реле) производится путем изменения силы натяжения пружины, а также путем изменения максимального и минимального зазоров между сердечником и якорем.

При помощи реле также можно реализовывать различные логические функции (И, ИЛИ, НЕ, ПАМЯТЬ).

## Твердотельные реле (Solid state relays - SSR)

большинства фирм выпускаются примерно в одинаковых, хорошо узнаваемых прямоугольных корпусах размером со спичечную коробку. В разговорном английском языке их иногда называют "hockey puck relays", а в русском – «таблетка».



В SSR в качестве силовых полупроводниковых ключей могут использоваться как симисторы (triac), так и, что предпочтительнее, тиристоры (SCR), включенные встречно-параллельно.

Симисторные SSR как правило имеют более низкую стоимость и предназначены в основном только для коммутации резистивной нагрузки. В мощных твердотельных реле используются только тиристоры. SSR включают и выключают нагрузку только в точке перехода синусоидальной волны тока через ноль, таким образом значительно снижая броски тока и импульсные помехи при коммутации. Так как твердотельные реле не имеют механических контактов, они могут иметь неограниченное количество и большую частоту включений/выключений. SSR могут быть идеальным продуктом с точки зрения надежности, работоспособности и долговечности, если при их применении внимательно отнестись к трем важным моментам. А именно, отсутствию перенапряжений, перегрузок по току, и превышения температуры. Далее будет рассказано о том, как избежать этих факторов.

Твердотельные реле часто используются в промышленных системах управления электронагревателями (совместно с регуляторами температуры), для пуска электродвигателей (благодаря хорошей способности выдерживать кратковременные пусковые токи), в компьютерных системах управления (благодаря минимальному управляющему сигналу), включение/выключение ламп освещения (коммутация при переходе тока через ноль увеличивает срок службы ламп) и для других задач управления нагрузкой различного типа. При использовании SSR в системах управления температурой, они могут обеспечить короткий цикл вкл/выкл, что значительно повышает точность регулирования и увеличивает ресурс нагревателей за счет сокращения теплового удара. Например, для нагрева на 25% можно задать такой цикл: 0.05 сек вкл, 0.15 сек выкл, 0.05 вкл, .... Это соответствует тому, что 3 периода напряжения вкл, 9 периодов напряжения выкл, 3 вкл, 9 выкл, ....

Таким образом пропуская полные периоды напряжения и коммутируя нагрузку при переходе тока через ноль, помехи не генерируются, а мощность плавно нарастает благодаря инерции тепловых процессов. Нагрев происходит стабильно без колебаний, при низком тепловом напряжении, что благоприятно сказывается на сроке службы нагревательного элемента.

### **Счетчики**

Счетчики представляют собой современные модули автоматики и могут применяться в системах управления автоматическими линиями, станками и т.д.

Счетчики предназначены для прямого, обратного и реверсивного счета импульсов и включение/выключение цепей управления внешними объектами по достижении заданного количества импульсов.

Счетчики имеют на передней панели знакосинтезирующий индикатор и кнопки управления.

Конструкция счетчиков рассчитана на установку в переднюю панель шкафов управления.

Подключение внешних цепей осуществляется к клеммнику на тыльной стороне корпуса счетчика.

### **Принцип работы счетчиков**

Счетчики работают следующим образом: с помощью кнопок на лицевой панели задается уставка счета, которая высвечивается на индикаторе, и запоминается заданное значение в энергонезависимой памяти. Подача внешнего импульса на вход **СЧЕТ** увеличивает/уменьшает значение счетчика на **1**. На индикатор выводится сосчитанное значение. При совпадении заданного значения с сосчитанным происходит срабатывание встроенного реле и переключение его контактов. При подаче сигнала на вход **СБРОС** происходит обнуление счетчика и обратное переключение реле. У реверсивных и обратных счетчиков происходит счет от заданной уставки до **0**. Некоторые типы счетчиков не имеют отдельного входа для сброса, поскольку обнуление происходит автоматически по совпадению сосчитанного значения с уставкой. При этом происходит срабатывание выхода счетчика и переключение контактов на заданное время. Имеются также комбинированные счетчики, рассчитанные на прямой и обратный счет, причем направление счета определяется фазировкой входных импульсов, что позволяет, например, применять счетчик в намоточных станках для определения количества витков.

Ввод уставки счета производится следующим образом: нажатие кнопки **ПРОСМОТР** переводит счетчик в режим ввода уставки (или выводит из него), при этом начинает мигать младший разряд уставки. Нажатием кнопки **ВЫБОР** можно выбрать для изменения любой разряд уставки (выделяется миганием). Кнопкой **УСТАВКА** можно установить требуемое значение разряда уставки.

#### **Классификация счетчиков**

Счетчики классифицируются по следующим параметрам:

- Напряжение питания
- Напряжение входных сигналов
- Быстродействие
- Разрядность
- Управление счетом
- Количество устройств в одном корпусе
- Прямой счет/ обратный счет/реверсивный счет
- функция выхода
- Тип выхода
- Тип корпуса

#### **Подключение счетчиков**

Питание счетчиков (в зависимости от выбранного типа) может осуществляться:

- Постоянным/переменным напряжением 18...36В
- Постоянным/переменным напряжением 85...240В

Входными сигналами (в зависимости от выбранного типа) могут быть:

- Постоянное/переменное напряжение 18...36В
- Постоянное/переменное напряжение 85...240В

Выход счетчика – “сухой” контакт, коммутирующий постоянный/переменный ток до 3А напряжением до 250В. Исключение составляют быстродействующие счетчики, выход которых представляет собой транзисторный ключ **рпр** или **прп** типа.

Некоторые типы счетчиков имеют встроенный источник питания =24В, которое выведено на клеммник счетчика и предназначено для питания оптических/индуктивных и других выключателей (датчиков), используемых в качестве источников входного сигнала для самого счетчика.

## **Таймеры**

Таймеры (реле времени) представляют собой современные модули автоматики и могут применяться в системах управления автоматическими линиями, станками и т.д.

Таймеры предназначены для прямого или обратного отсчета времени и включение/выключение цепей управления внешними объектами по прошествии заданного интервала времени.

Таймеры имеют на передней панели знакосинтезирующий индикатор и кнопки управления.

Конструкция таймеров рассчитана на установку в переднюю панель шкафов управления.

Подключение внешних цепей осуществляется к клеммнику на тыльной стороне корпуса таймера.

### **Принцип работы таймеров**

Таймеры работают следующим образом: с помощью кнопок на лицевой панели задается уставка времени, которая высвечивается на индикаторе, и запоминается заданное значение в энергонезависимой памяти. Подача внешнего импульса на вход **СТАРТ** запускает отсчет времени. На индикатор выводится значение **времени**. При совпадении заданного значения с отсчитанным происходит срабатывание встроенного реле и переключение его контактов. При подаче сигнала на вход **СБРОС** происходит обнуление таймера и обратное переключение реле. У реверсивных таймеров происходит обратный счет времени. Некоторые типы таймеров не имеют отдельного входа для сброса, поскольку обнуление происходит автоматически по совпадению измеренного значения времени с уставкой. При этом происходит срабатывание выхода таймера и переключение контактов на заданное время. В зависимости от типа таймера сигнал на входе **СТАРТ** может запускать отсчет времени либо по передним фронтом - триггерный пуск, либо по факту наличия сигнала - комбинированный пуск (отсчет возможен только при наличии входного сигнала). Имеются также таймеры, имеющие отдельный вход разрешения отсчета времени.

Ввод уставки времени аналогичен вводу у счетчиков.

## Программируемые контроллеры

Программируемые логические контроллеры представляет собой конечный (дискретный) автомат, имеющий конечное количество входов и выходов, подключенных посредством датчиков, ключей, исполнительных механизмов к объекту управления, и предназначенный для работы в режимах реального времени (рис. 2.1).

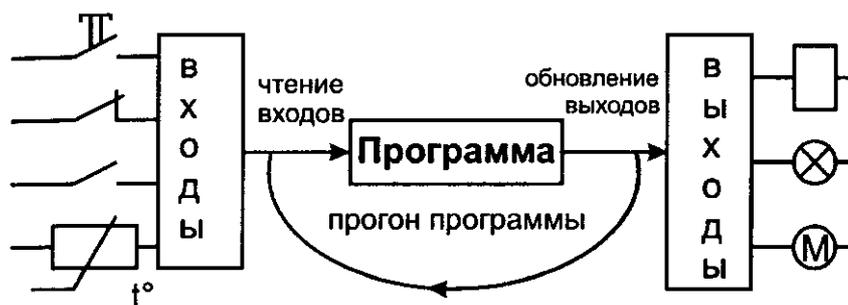


Рис. 2.1. Структура ПЛК

Конструктивно ПЛК выполняется как в моноблочном исполнении, так и в модульном. В первом варианте, так называемом мини-ПЛК, с небольшим количеством входов/выходов все собрано в одном корпусе. Модульные ПЛК имеют отдельные блоки (модули) ввода и вывода, которые могут находиться порой на значительном удалении от центральной части, т. е. установлены в непосредственной близости к управляемому объекту и «общаться» с микропроцессором по сети. В общем случае, все модули могут быть сосредоточены в одном месте на специальных стойках или каркасах.

Моноблочные ПЛК также имеют возможность подключаться к удаленным блокам ввода/вывода по цифровой сети. При этом сами клеммы входных и выходных плат ПЛК останутся свободными.

Например, самый простой моноблочный ПЛК 100 фирмы ОВЕН можно непосредственно соединить с входными цепями и исполнительными механизмами, а также по сети (рис. 2.2).

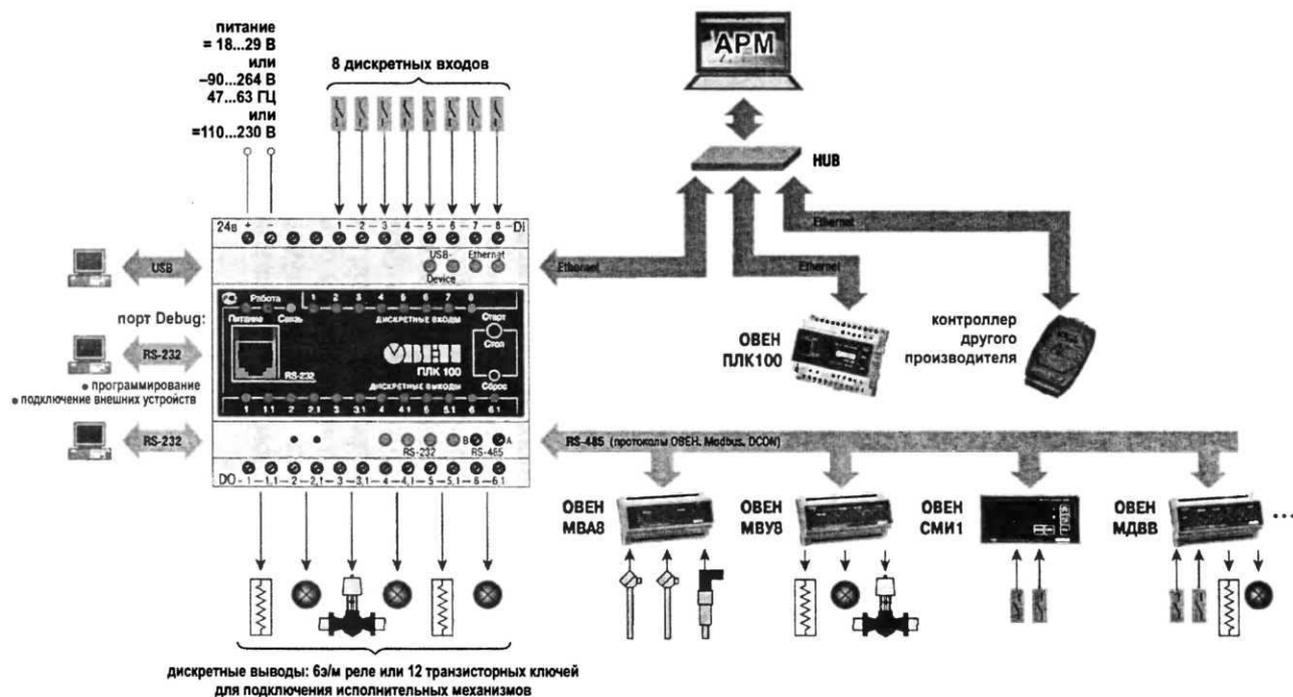


Рис. 2.2. Подключение ПЛК 100 ОВЕН: МВА 8 – модуль ввода аналоговый; МВУ 8 – модуль ввода управляющий; СМІ 1 – панель оператора; МДВВ – модуль дискретного ввода-вывода

В этой схеме необходимо выполнить настройку (конфигурирование) модуля МВА 8 на выдачу *дискретного* сигнала при достижении аналоговым сигналом от какого-то датчика порогового значения (уставки), т. к. этот ПЛК работает только с бинарными переменными.

ПЛК обычно применяются для управления *последовательными* процессами, используя дискретные входы и выходы для определения состояния объекта и выдачи управляющих воздействий.

Например, при управлении электрокалорифером оператор вручную нажимает кнопку «Пуск». Первым должен включиться двигатель вентилятора и через 5 с - нагревательные элементы. При нажатии на кнопку «Стоп» первыми отключаются нагревательные элементы и через 8 с - вентилятор. Можно предусмотреть включение и отключение с помощью контактов какого-то реле времени с суточной программой или использовать сигналы от датчика температуры воздуха в обогреваемом помещении. Скорее всего, следует предусмотреть какие-то средства защиты электрокалорифера (да и обслуживающего персонала). С этой целью потребуются еще ряд дискретных сигналов от датчиков, реагирующих на потерю фазы,

перегрев или заклинивание двигателя, разрушение нагревательного элемента и т.д.

В каждом случае контроллеру необходимо опрашивать состояние входных элементов (кнопок, датчиков) и, соблюдая определенную временную последовательность, выдавать управляющие сигналы.

ПЛК также может управлять *непрерывными* процессами, т. е. получать и выдавать аналоговые сигналы.

Естественно, выходные аналоговые сигналы в ПЛК преобразуются с помощью АЦП в дискретную, т. е. в цифровую форму.

Учитывая широкое распространение в системах контроля металлических термосопротивлений и термопар, в некоторых ПЛК могут быть предусмотрены специализированные входы для подобных датчиков.

Большинство ПЛК работают циклически, т. е. производится сканирование или периодический опрос входных данных, выполнение пользовательской программы и обновление выходных данных.

Такая последовательность действий называется *прогоном* программы, а период цикла - временем прогона.

В начале прогона ПЛК «читает» состояние *всех* входов и фиксирует их значение в памяти. Изменение состояния каких-либо входных сигналов в течение прогона программы будет воспринято ПЛК только в следующем цикле.

Также ведут себя и выходные данные, которые обновляются *одновременно* в конце прогона программы.

Время цикла, т. е. время сканирования, влияет на скорость реакции ПЛК при изменении входного сигнала. В общем случае, входной сигнал должен иметь длительность не меньше, чем время прогона программы, составляющего обычно от единиц до десятков миллисекунд.

Если изменение состояния входного сигнала произошло как раз в начале прогона, то реакция ПЛК проявится по завершении цикла.

Если же этот сигнал немного «запоздал», то потребуется еще один прогон программы для ответных действий ПЛК.

Различают системы *жесткого* и *мягкого* реального времени. В первом случае выдвигается технологическое требование в отношении временного порога, превышение которого может создать аварийную ситуацию. В системах мягкого реального времени последствия такой задержки в реакции ПЛК практически неощутимы.

Системное программное обеспечение ПЛК доступно только их изготовителям. Прикладное программное обеспечение возлагается на пользователя ПЛК. Код прикладной или пользовательской программы размещается в энергонезависимой памяти и может многократно изменяться по мере необходимости.

Сейчас редко встречаются ПЛК, программирование которых выполняется с встроенного или выносного пульта. Современные ПЛК универсального назначения, поддерживающие стандарт МЭК 61131-3, программируются на ПК с помощью специализированных комплексов, среди которых наиболее популярным является CoDeSys, разработанный фирмой 3S (Smart Software Solutions). Этот универсальный инструмент программирования будет рассмотрен в следующей главе.

Прикладная программа становится переносимой, т. е. ее можно использовать в любом ПЛК, отвечающем требованиям стандарта МЭК.

Простейшее и наиболее популярное применение ПЛК - это создание автономной системы управления каким-либо технологическим процессом. В случае проектирования автоматизированной системы управления производством (АСУП) или разветвленным технологическим процессом (АСУТП) на ПЛК возлагаются функции нижнего звена в обработке входных сигналов и выработке управляющих воздействий в пределах каждого локального участника.

Используя стандартные протоколы обмена данными, среди которых обычно отдают предпочтение технологии OPC (OLE for Process Control), можно войти в SCADA - систему.

## **Язык релейно-контактных схем (РКС) или лестничных диаграмм (LAD)**

Рассмотрим язык РКС на примере контроллеров компании Delta Electronics.

Программируемые логические контроллеры (далее по тексту ПЛК) серии DVP являются идеальным средством для построения высокоэффективных систем автоматического управления при минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы.

ПЛК работают следующим образом:

шаг 1: чтение состояния внешних входных устройств (переключатели, датчики, клавиатура);

шаг 2: обработка процессором предварительно заданной программы и установка нового состояния выходов.

Программа состоит из последовательности отдельных управляющих инструкций, которые определяют функции управления. ПЛК обрабатывает инструкции последовательно, т.е. одну за другой. Общий проход программы непрерывно повторяется.

Время, необходимое для прохода программы называется временем цикла, а проходы программы – циклическим сканированием.

Контроллеры способны работать в реальном масштабе времени и могут быть использованы как для построения узлов локальной автоматики, так и систем распределенного ввода-вывода с организацией обмена данными по RS-485 интерфейсу.

Для удобства отладки и написания программ разработчики предусмотрели пакет программирования, который не требует существенных ресурсов компьютера и является простым инструментом для всех категорий специалистов. Используются три языка программирования: LAD (релейно-контактная логика или лестничные диаграммы), IL (список инструкций), SFC (последовательные функциональные диаграммы).

Информация по установке, монтажу, вводу в эксплуатацию, обслуживанию и устранению ошибок есть в соответствующих руководствах по эксплуатации.

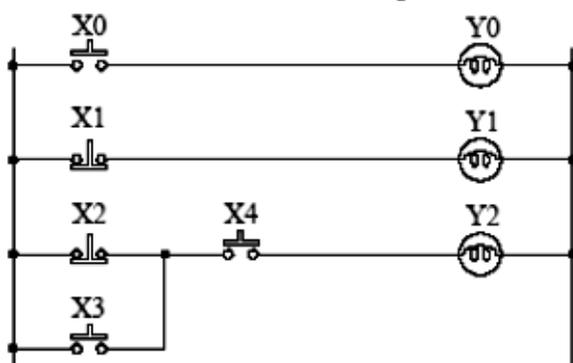
## Принципы работы релейно-контактных схем в ПЛК

Язык релейно-контактной логики в ПЛК (или лестничные диаграммы) является производной от релейно-контактной принципиальной электросхемы в упрощенном представлении. Релейно-контактные схемы в ПЛК имеют набор базовых компонентов, таких как нормально-открытый контакт, нормально-закрытый контакт, катушка (выход), таймер, счетчик и т.д., а также прикладные инструкции: математические функции, команды передачи, обработки данных и большое количество специальных функций и команд. Можно считать, что ПЛК - это сотни или тысячи отдельных реле, счетчиков, таймеров и память. Все эти счетчики, таймеры, и т.д. физически не существуют, а моделируются процессором и предназначены для обмена данными между встроенными функциями, счетчиками, таймерами и др.

Язык релейно-контактной логики в ПЛК по используемой символике очень похож на принципиальные релейно-контактные электросхемы. В релейно-контактных схемах могут быть два типа логики: комбинационная, т.е. схема, состоящая из независимых друг от друга фрагментов, и последовательная логика, когда все шаги программы взаимосвязаны и схема не поддается распараллеливанию.

### 1. Комбинационная логика:

Релейно-контактная электросхема



Релейно-контактная логика в ПЛК

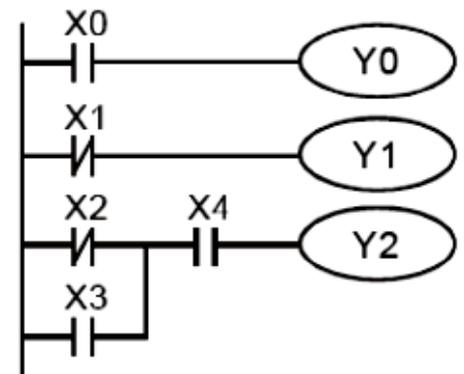


Схема 1 состоит из одного нормально-открытого контакта X0 и катушки Y0, определяющей состояние выхода Y0. При разомкнутом состоянии (логический "0") контакта X0, выход Y0 также будет разомкнут (логический "0"). При замыкании контакта X0 выход Y0 также изменит свое состояние на замкнутое (логическая "1").

Схема 2 состоит из одного нормально-закрытого контакта X1 и катушки Y1, определяющей состояние выхода Y1. В нормальном состоянии контакта X1, выход Y1 будет замкнут (логическая "1"). При изменении состояния контакта X1 на разомкнутое, выход Y1 также изменит свое состояние на разомкнутое.

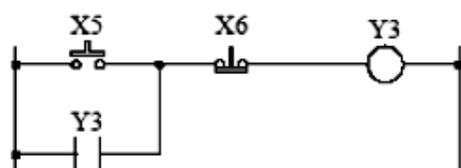
На схеме 3 состояние выхода Y2 зависит от комбинации состояний трех входных контактов X2, X3 и X4. Выход Y2 будет замкнут, когда X2 выключен и X4 включен или когда X3 и X4 включены.

Общая схема является комбинацией трех схем, работающих независимо друг от друга.

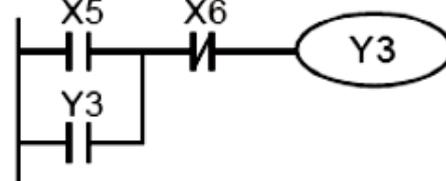
## 2. Последовательная логика:

В схемах с последовательной логикой результат выполнения предыдущего шага является начальным условием для последующего шага, т.е. выход в предыдущем шаге является входом в следующем шаге.

Релейно-контактная электросхема



Релейно-контактная логика в ПЛК

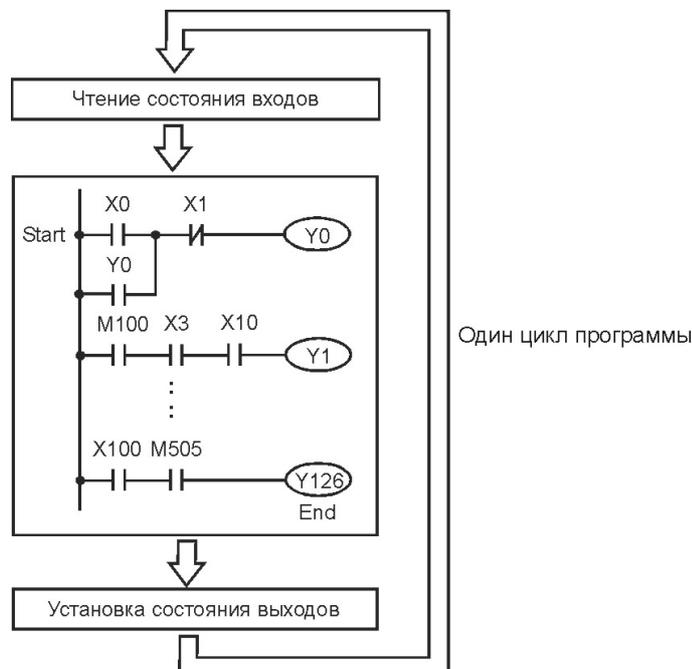


При замыкании контакта X5, выход Y3 изменит свое состояние на замкнутое, однако при размыкании контакта X5, выход Y3 сохранит свое замкнутое состояние до тех пор, пока не будет включен вход X6. Контакт Y3 является самоблокировочным.

## Различия между релейно-контактной логикой в ПЛК и физическими релейно-контактными электросхемами

В обычных релейно-контактных электросхемах все задаваемые управляющие процессы выполняются одновременно (параллельно). Каждое изменение состояний входных сигналов сразу же действует на изменение состояния выходных сигналов.

При управлении от ПЛК изменение состояния входных сигналов, произошедшее во время текущего прохода программы, опознается только на следующем цикле программы.



Этот недостаток ПЛК сглаживается только благодаря очень короткому времени цикла.

Время выполнения одного цикла программы зависит от количества выполняемых инструкций в программе и от типа используемых инструкций.

В процессе работы ПЛК непрерывно опрашивает текущее состояние входов и в соответствии с требованиями к производственному процессу изменяет состояние выходов (Вкл./Выкл).

1. Проверка текущего состояния входов: ПЛК проверяет текущее состояние входов и в зависимости от значения(Вкл./Выкл) выполняет последовательные действия. Состояние любого из входов сохраняется в памяти (в области данных).

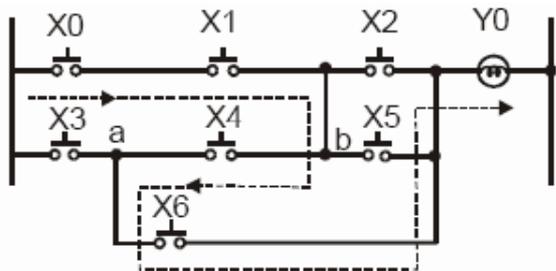
2. Выполнение программы: Будем считать, что в ходе технологического процесса вход X0 переключился с выключено на включено, и в соответствии с технологическим процессом нам необходимо изменить текущее состояние выхода(Y0) с выключено на включено. Так как ЦП опросил текущее состояния всех входов и хранит их текущее состояние в памяти, то выбор последующего действия обусловлен только ходом технологического процесса.

3. Изменение текущего состояния выхода. ПЛК - изменяет текущее состояние выходов в зависимости от того, какие входы являются выключенными, а какие включенными исходов из хода вашей программы. То есть контроллер, физи-

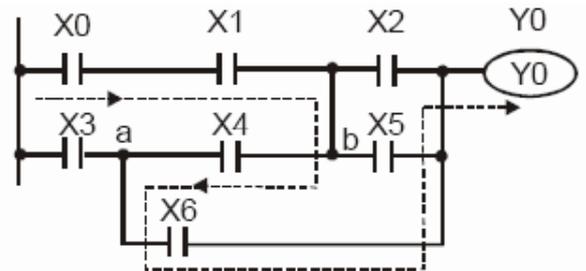
чески переключил выход (Y0) и включились исполнительные механизмы лампочка, двигатель и т.д. После этого следует возврат на первый шаг.

Еще одним отличием релейно-контактной логики ПЛК от обычных релейно-контактных электросхем заключается в том, что выполнение программ в строках идет только слева на право, а схема с "реверсивным направлением тока" (участок a-b на рис.) при компиляции вызовет ошибку (ошибка в строке 3).

*Релейно-контактная электросхема*



*Релейно-контактная логика в ПЛК*



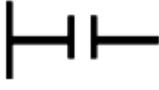
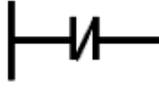
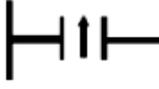
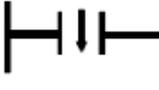
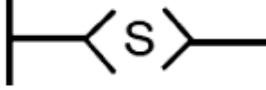
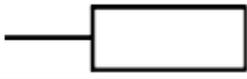
### Операнды

Все внутренние объекты ПЛК, или операнды, подразделяются на различные типы и имеют адреса. Каждый тип имеет свое обозначение и свой формат, который определяет количество занимаемого места в памяти контроллера. Так, например, входные реле обозначаются "X" имеют однобитный формат, а регистры данных общего назначения обозначаются "D" и имеют 16-ти битный (1 слово) или 32-х битный (2 слова) формат.

При указании операнда определяется, с какой операцией (инструкцией) производится работа.

Релейно-контактная схема состоит из одной вертикальной линии, расположенной слева и горизонтальных линий, отходящих вправо. Вертикальная линия называется шиной, а горизонтальная – командной линией или ступенькой. На командной линии располагаются символы условий, ведущие к командам (инструкциям), расположенным справа. Логические комбинации этих условий определяют, когда и как выполняются правосторонние команды. Командные линии могут разветвляться и снова соединяться.

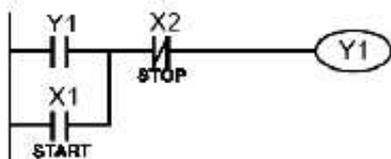
В релейно-контактных схемах в основном применяется следующая символика:

Символ	Пояснение	Команда	Операнд
	Символ для входного сигнала (нормально-открытого контакта а)	LD	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного сигнала (нормально-закрытого контакта б)	LDI	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного импульсного сигнала. (с опросом по переднему фронту)	LDP	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного импульсного сигнала. (с опросом по заднему фронту)	LDF	X, Y, M, S, T, C
	Символ для входного сигнала (шаговый управляющий контакт)	STL	S
	Символ для выходного сигнала (катушки)	OUT	Y, M, S
	Символ для прикладных инструкций	см. главы 3, 5	см. главы 3, 5
	Символ логической инверсии	INV	нет

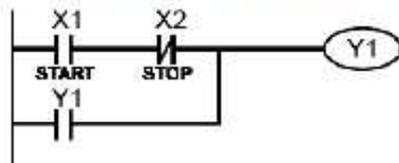
## Примеры написания программ:

Часто бывает необходимо использовать для старта и стопа кнопки без фиксации, но с самоблокировкой выхода. Примеры реализации таких схем представлены ниже:

Пример 1: Самоблокировка выхода с приоритетом Стопа



Пример 2: Самоблокировка выхода с приоритетом Старта

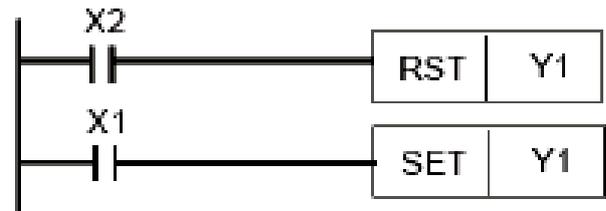


Пример 3: Самоблокировка выхода с использованием команд SET и RESET

ПЛК выполняет программу сверху вниз, и следовательно приоритетом будет обладать команда расположенная ниже.

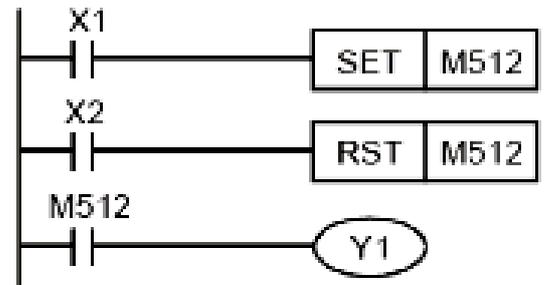


Если одновременно замкнуты оба контакта X1 и X2, то в верхней схеме выход Y1=0, а в нижней - Y1=1.



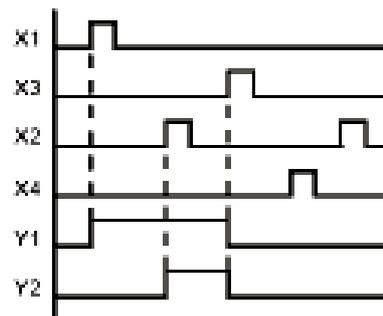
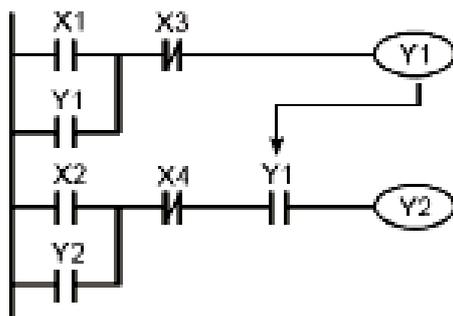
**Пример 4: Энергонезависимая самоблокировка выхода**

Внутреннее реле M512 является энергонезависимым (см. руководство по эксплуатации), и, следовательно, выход Y1 после включения ПЛК сохранит состояние, которое было до отключения питания.



• Схемы общего применения

**Пример 5: Условное управление**



Контакты X1 и X3 включают/выключают выход Y1 автономно, а X2 и X4 могут управлять состоянием выхода Y1 только при условии, что Y1 включен, т.е. выход Y1 является последовательным контактом (логическим И) для нижней схемы.

**Пример 6: Схема с взаимоблокировкой**

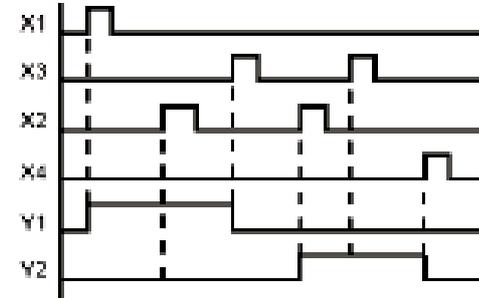
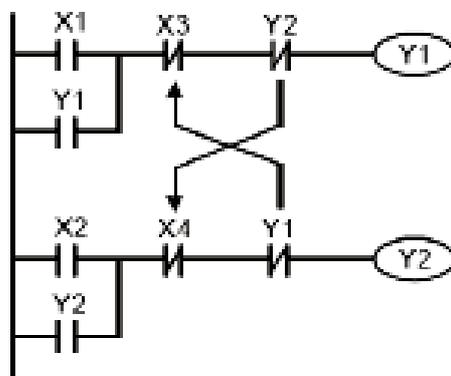
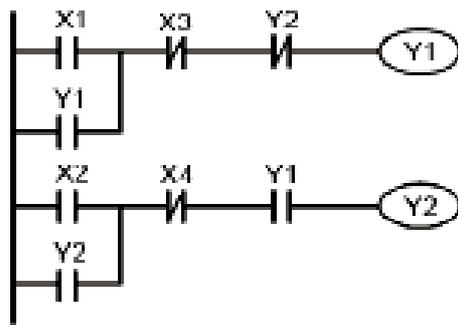


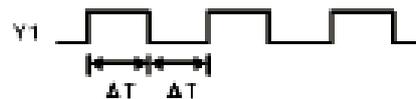
Схема исключает одновременное включение двух выходов. Когда включен один выход, второй будет заблокирован. При одновременном замыкании контактов X1 и X2 приоритет будет иметь Y1.

### Пример 7: Последовательное управление



Выход Y2 может быть включен, только если включен Y1, однако при включении Y2 выход Y1 будет отключен.

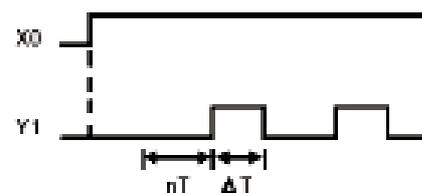
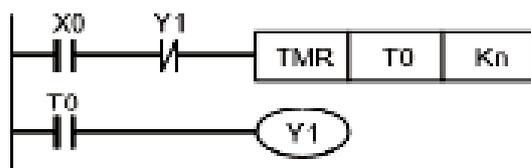
### Пример 8: Колебательные схемы



$\Delta T$  – время сканирования (время выполнения одного цикла программы)

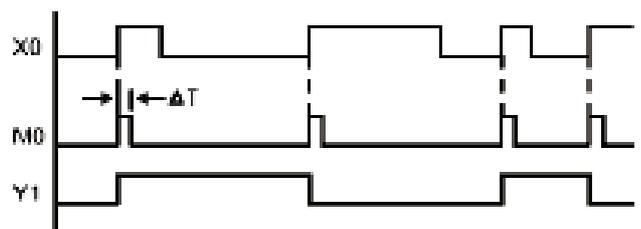
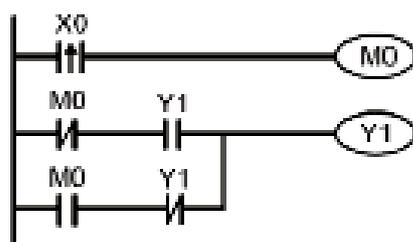
В первом цикле сканирования выход Y1 будет включен, а во втором – выключен, и т.д.

Период колебаний =  $\Delta T + \Delta T$



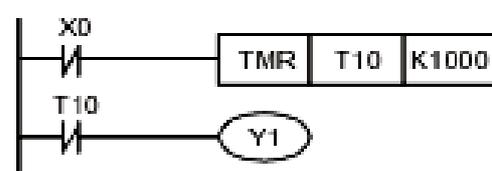
Период колебаний =  $nT + \Delta T$

### Пример 9: Триггерная схема

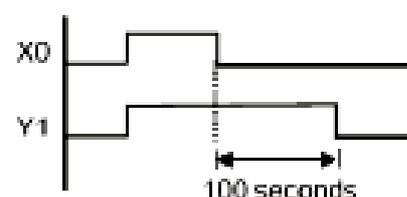


Каждое замыкание контакта X0 изменяет состояние выхода Y1 на противоположное. Эта схема еще называется импульсным реле.

### Пример 9: Таймер с задержкой на выключение

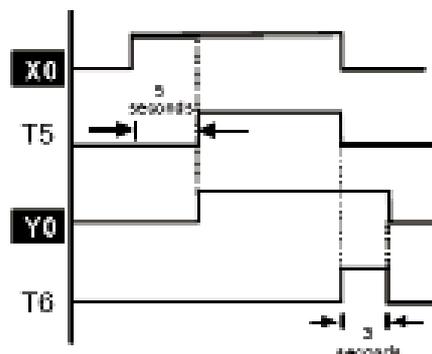
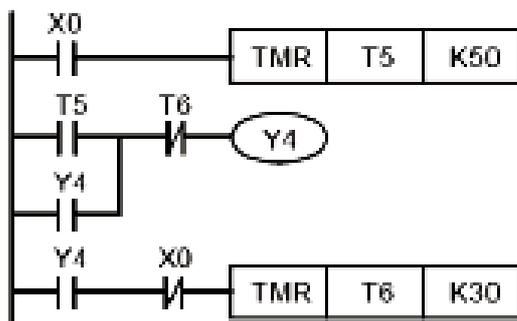


TB = 0.1 sec

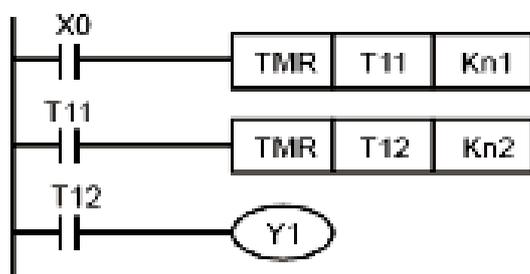


Когда  $X0 = 1$ , выход  $Y1$  включен. При выключении  $X0$ , выход  $Y1$  выключится через 100 секунд, т.к. операнд заданного значения таймера  $T0$  имеет дискретность 0.1 сек, т.е.  $K1000 = 100$  сек.

**Пример 9: Таймер с задержкой на включение и выключение**

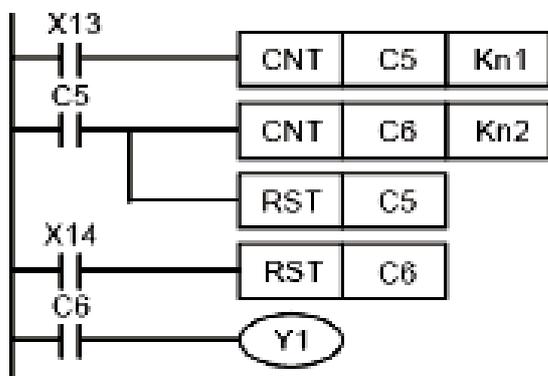


**Пример 10: Таймер с 2-х ступенчатой задержкой на включение**



Выход  $Y1$  будет включен через время  $n1+n2$  после замыкания контакта  $X0$ .

**Пример 11: Расширение диапазона счетчика**



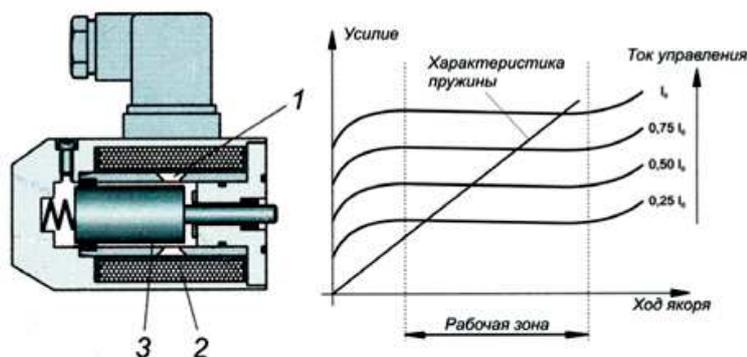
Диапазон 16-ти битного счетчика равен:  $0 \dots 32768$ . Применение второго счетчика позволит увеличить общий диапазон счета, который будет равен произведению операндов  $n1 \times n2$ .

## Пропорциональное управление гидроаппаратурой

Для дистанционного управления перемещением рабочих органов в гидроприводах находят применение гидрораспределители (ГР) с дискретными (включено-выключено) электромагнитами и дросселирующие гидрораспределители (ДГР). Выполняя по существу подобные функции реверса и остановки движения гидродвигателей (ДГР дополнительно с функцией регулирования скорости), эти аппараты имеют кардинальные различия.

Первые отличаются предельной простотой конструкции и, соответственно, низкой стоимостью, способны работать при повышенной степени загрязненности рабочей жидкости, однако для регулирования скорости необходима дополнительная установка дросселей или регуляторов расхода. Вторые отличаются превосходными точностными и динамическими характеристиками, однако они значительно сложнее, требуют сверхпрецизионного изготовления основных деталей и наивысшего качества очистки рабочей жидкости, что многократно увеличивает их стоимость и снижает надежность при эксплуатации.

Естественно возникает вопрос: а нельзя ли создать некоторое промежуточное конструкторское решение, позволяющее объединить преимущества ГР и ДГР, и, возможно исключить присущие им недостатки? Основой для такого решения явилось изобретение пропорционального электромагнита. В этом устройстве (рис. 1) в отличие от дискретных электромагнитов постоянного тока предусмотрена конусная вставка 1 из немагнитного материала, изменяющая форму линий магнитного поля.



**Рис. 1.** Принцип действия пропорционального электромагнита.

В результате управляющий ток в катушке 2 создает электромагнитное поле, вызывающее продольное смещение ферромагнитного якоря 3 с силой, пропорциональной силе тока. Якорь взаимодействует с подпружиненным запорно-регулирующим элементом гидроаппарата (золотником, конусом предохранительного клапана, втулкой дросселя), причем наложение линейной характеристики пружины на силовую характеристику магнита показывает, что осевое смещение (ход) якоря пропорционально току управления.

Далее простейшим вариантом является установка пропорционального электромагнита на обычный ГР. В результате мы получаем дополнительную возможность "приоткрывания" золотника, т. е. регулирования скорости движения гидродвигателя, однако практика показывает, что это регулирование очень низкого качества. Причины - недостаточная точность позиционирования, нестабильность расходной характеристики из-за неточности осевого расположения рабочих кромок золотника, повышенный гистерезис в результате сухого трения в подвижных элементах, зависимость расхода от перепада давлений, ограниченные динамические возможности аппарата. Вся последующая история пропорциональной электрогидравлики направлена на борьбу с этими недостатками путем дальнейшего усовершенствования пропорциональных электромагнитов и управляющей электроники, установки дополнительных датчиков обратной связи (ДОС), повышения точности изготовления золотниковой пары, использования ДГР в первом каскаде усиления, введения компенсаторов перепада давлений на рабочих кромках.

При этом пределом целесообразности соответствующих усложнений является сохранение конкурентоспособности по сравнению с ДГР.

Аппараты с пропорциональным электроуправлением применяются в основном для дистанционного управления параметрами гидропривода, возможно также их использование в качестве звеньев замкнутых систем автоматического регулирования. В комплект поставки обычно входит встроенный или расположенный отдельно электронный блок, обеспечивающий согласование с ДОС, стабильность тока управления в обмотке магнита независимо от ее нагрева и колебаний напряжения в сети, пропорциональную зависимость тока управления от входного сигнала, согласование с маломощными управляющими устройствами и стандартны-

ми полевыми шинами (CAN-bus, Profibus и др.), возможность линейного нарастания тока управления за время 0,1...5 с при ступенчатом входном сигнале (рампа), регулирования амплитуды осцилляции и установки начального тока (настройка нуля), а также прямого подключения задающих резисторов.

Интенсивное сращивание гидроприводов с электронными системами управления, применение "интеллектуальных" гидрокомпонентов со встроенной электроникой и специальных коммутационных средств (полевых шин) с открытой структурой позволяют успешно сочетать исключительные силовые и динамические качества гидравлики с быстроразвивающимися возможностями микроэлектроники и комплексных систем управления. При этом удастся легко выполнить индивидуальные требования заказчика ("припасовку" гидропривода под конкретное техническое решение), открываются перспективы существенного повышения быстродействия, снижения затрат на кабели, повышения помехозащищенности, упрощения калибровки и обеспечения диагностики неисправностей. В электрогидравлических приводах растёт использование цифровых электронных устройств, обеспечивающих быструю обработку данных, простое программирование, повышенную надежность, числовое задание настроек и возможность длительного сохранения информации. Хорошие перспективы и у так называемых ШИМ-усилителей, в которых изменение выходного сигнала достигается за счет широтно-импульсной модуляции. В результате амплитуда и частота генерируемых усилителем импульсов остаются постоянными, а ширина импульса определяется величиной входного сигнала управления.

При этом пульсирующий характер сигнала, поступающего в обмотку пропорционального электромагнита, вызывает соответствующие колебания якоря и, возможно, золотника гидрораспределителя, что позволяет существенно снизить трение и улучшить характеристики аппарата в целом.

Большое значение, особенно в мобильной технике, приобретает существенное уменьшение количества и упрощение трассировки гидролиний. Если при ручном управлении в кабине располагались рукоятки всех гидрораспределителей, соединенных с гидродвигателями (цилиндрами и моторами) многочисленными трубопроводами, то в пропорциональной версии управляющая гидроаппаратура раз-

мещена в удобном месте вблизи от соответствующих гидродвигателей, а связь с пультом оператора реализуется электрическими шинами.

Рассмотрим типовые конструктивные решения элементной базы.

На рис. 2 показан двухкаскадный гидрораспределитель с пропорциональным электроуправлением мод. DPZO фирмы Atos, состоящий из гидрораспределителей 3 и 1 первого и второго каскадов, основного золотника 2, позиционных датчиков обратной связи 4 и 5, встроенного микропроцессорного блока управления 6, а также кабелей 8 силового электропитания и 7 - связи с системой управления.

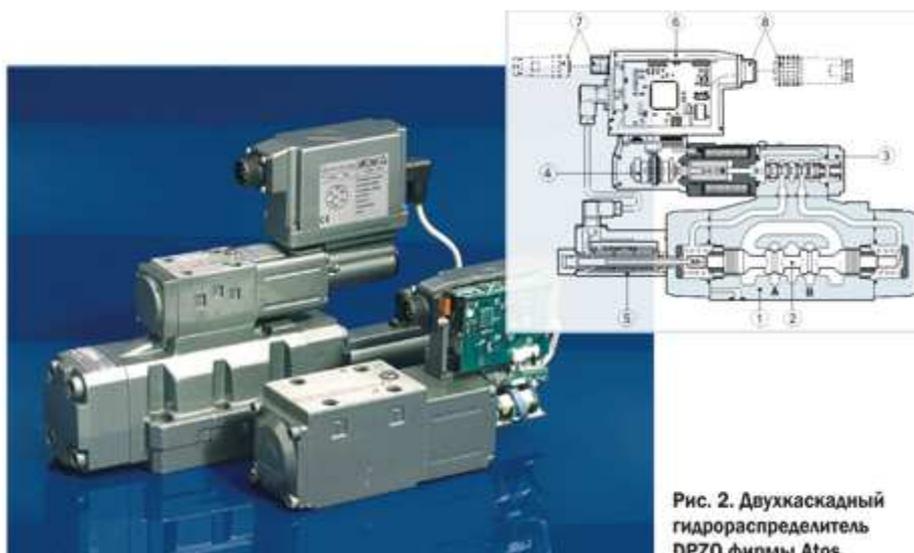


Рис. 2. Двухкаскадный гидрораспределитель DPZO фирмы Atos.

Аппарат рассчитан на управление гидроцилиндрами, имеющими равные площади рабочих камер. Существуют специальные исполнения для несимметричных цилиндров, например, РПГП (РУП "ГСКТБ ГА", г. Гомель, Беларусь). Плодотворно работает над созданием пропорциональной техники и ульяновское ОАО "Гидроаппарат".

Поскольку расход рабочей жидкости через пропорциональный распределитель зависит от проходного сечения дросселирующих кромок золотника и перепада давлений  $\Delta p$  на этих кромках, распределители могут комплектоваться модульными приставками (компенсаторами), поддерживающими постоянство  $\Delta p$ . Типовая схема компенсатора показана на рис. 3.

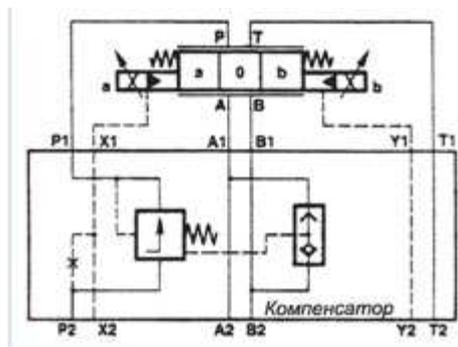


Рис. 3. Типовая схема компенсатора Bosch Rexroth.

В распределителях с одним пропорциональным электромагнитом могут возникнуть опасные ситуации при отказе системы управления.

Для повышения безопасности в ряде случаев применяют аппараты, в которых пружина в случае отказа устанавливает золотник в крайнюю позицию, обеспечивающую блокировку всех гидролиний.

На рынке появляются пропорциональные гидрораспределители, в том числе вставного и ввёртного монтажа, с высочайшими характеристиками.

В ряде случаев якорь пропорционального электромагнита может непосредственно воздействовать на запорно-регулирующий элемент гидроаппарата. Такое решение используется в первом каскаде усиления предохранительного клапана непрямого действия типа DBEVE [1] (рис. 5), рассчитанного на давление 35 МПа и максимальный расход до 800 л/мин.

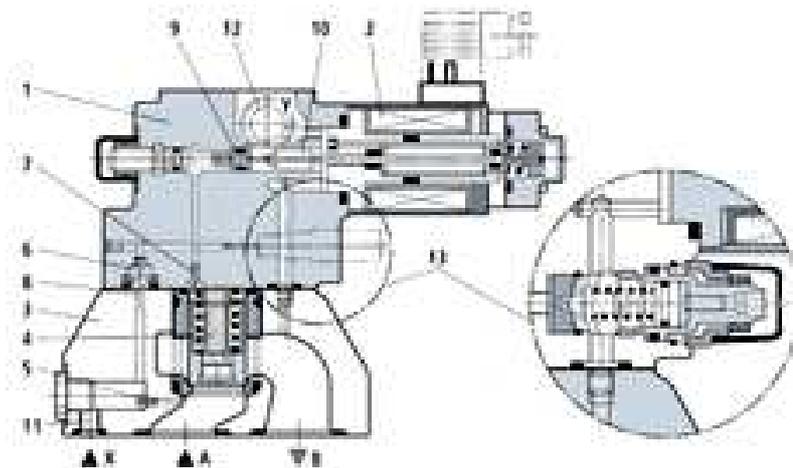
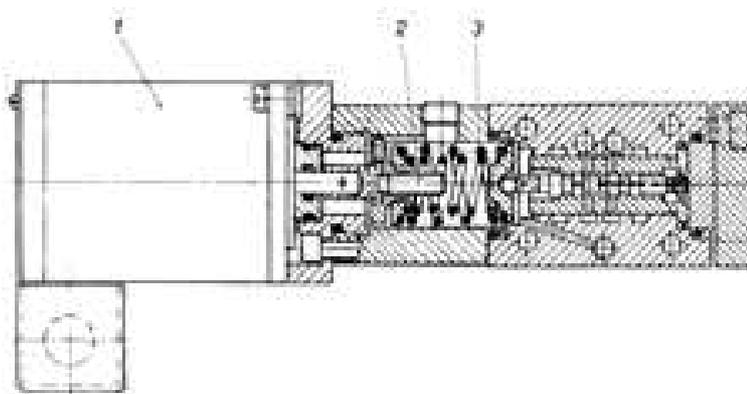


Рис. 5. Предохранительный клапан непрямого действия DBEVE фирмы Bosch Rexroth.

На рисунке обозначены: 1 – корпус первого каскада; 2 – пропорциональный электро-магнит; 3 – корпус второго каскада; 4 – надклапанная полость; 5...7 – жиклеры системы управления; 8 – канал управления; 9 – втулка; 10 – запорно-

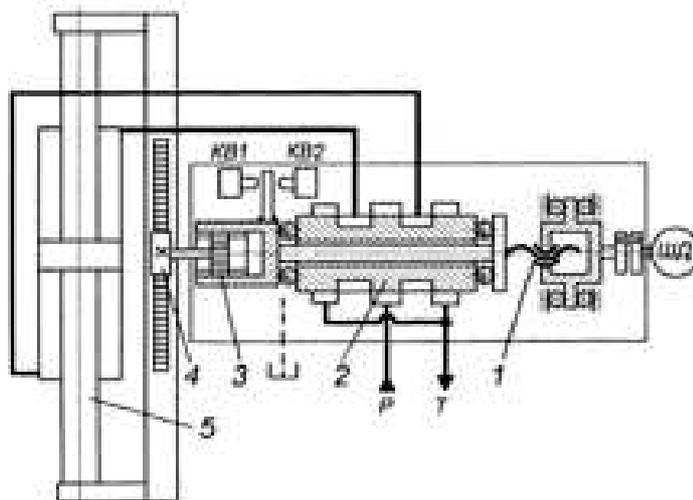
регулирующий элемент (конус); 11 – линия разгрузки; 12 – линия слива управления; 13 – сервоклапан предельного давления (защищает систему от перегрузки при отказе управляющих устройств). Одним из возможных направлений развития пропорциональной техники являются аппараты с управлением от шаговых электродвигателей.

В качестве примера на рис. 6 показан разработанный в ЭНИМСе модульный трехлинейный редуциционный клапан прямого действия, в котором в качестве задающего устройства использованы шаговый электродвигатель 1, винтовая пара 2 и пружины 3.



**Рис. 6. Модульный трехлинейный редуциционный клапан ЭНИМС с задающим ШД.**

В линейных электрогидравлических приводах стендов для испытаний гидравлических гасителей колебаний транспортных средств (рис. 7) шаговый электродвигатель ШД через винтовую пару 1 обеспечивает осевое смещение золотника 2, в результате чего шток гидроцилиндра 5 движется в соответствующем направлении и через рейку 4, шлицевое соединение 3 и винтовую пару возвращает золотник в нейтральное положение, после чего движение останавливается.



**Рис. 7. Схема линейного электрогидравлического привода ЭНИМС.**

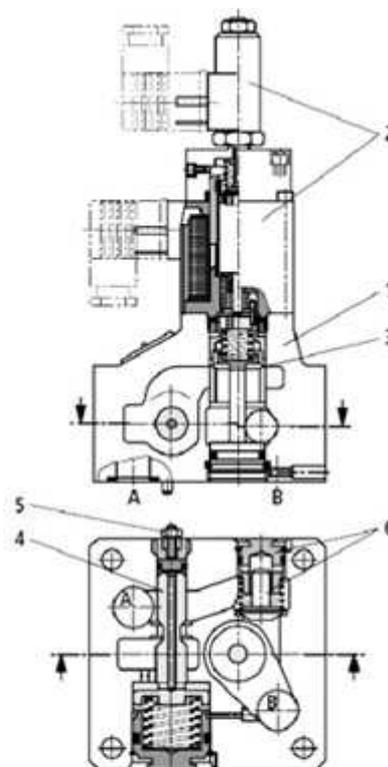
Конечные выключатели KB1 и KB2 выдают в систему управления аварийный сигнал при чрезмерном увеличении рассогласования между заданным и фактически отработанным перемещениями штока. В данном случае применение механической обратной связи позволяет существенно упростить систему и обеспечить ее ремонтпригодность в условиях железнодорожных депо.

Типичная конструкция двухлинейного регулятора расхода с пропорциональным электроуправлением мод 2FRE [1] ( $p = 31,5$  МПа,  $Q = 160$  л/мин) представлена на рис. 8.

Основные детали и узлы: 1 – корпус; 2 – пропорциональный электромагнит с позиционным ДЭС; 3 – втулка-дрозсель; 4 – регулятор; 5 – винт ограничения хода; 6 – обратный клапан.

В последние годы появились комбинированные аппараты, обеспечивающие высокоточное пропорциональное регулирование давления и расхода рабочей жидкости. В качестве примера можно указать клапан 4WREQ ( $p = 31,5$  МПа,  $Q = 180$  л/мин) со встроенной электронной системой управления IAS-P и датчиками давлений в линиях А и В.

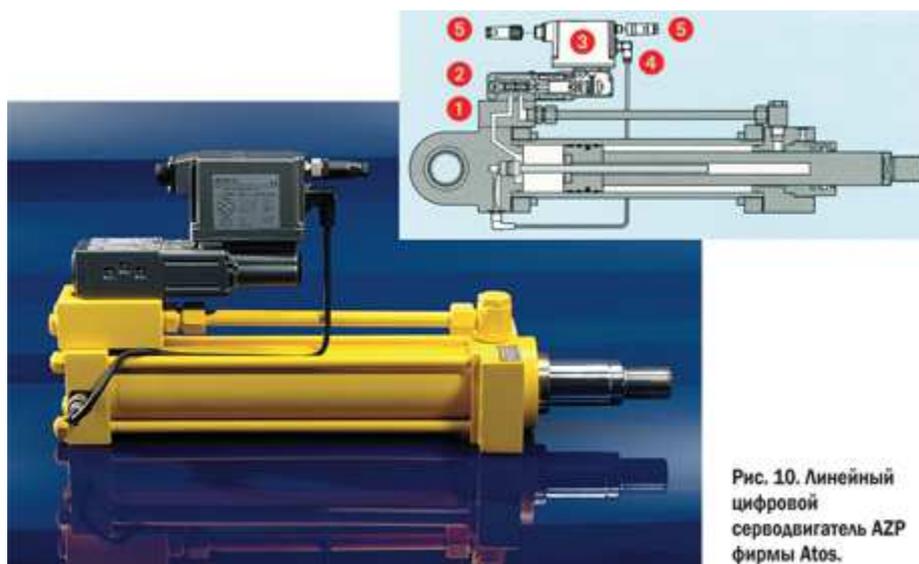
Магниты имеют быстросменные катушки; предусмотрены возможность быстрого подключения к РС с



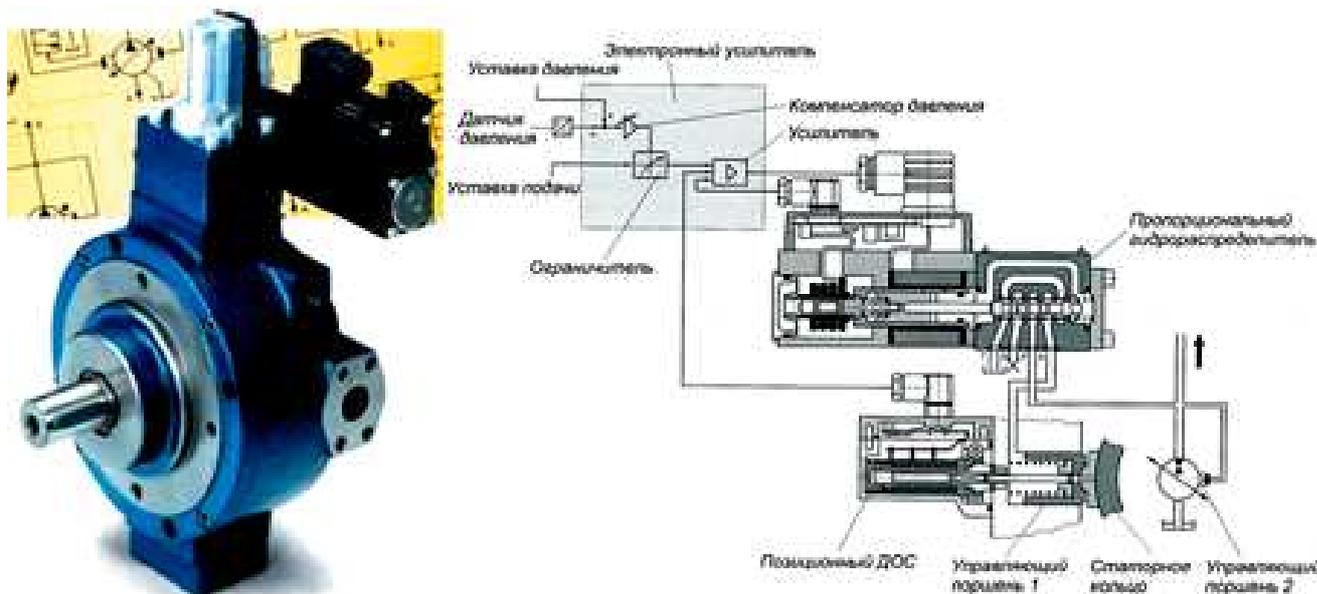
**Рис. 8. Двухлинейный регулятор расхода 2FRE фирмы Bosch Rexroth.**

помощью программного продукта WINPED, а также управление от шин CANopen или Profibus. Аналогичные функции способен выполнять регулятор расхода и давления RPCE07 фирмы Duplomatic ( $p = 25$  МПа,  $Q = 150$  л/мин).

Линейный цифровой серводвигатель (линейная ось) AZP фирмы Atos (рис. 10) содержит сервоцилиндр 1 со встроенным позиционным датчиком, пропорциональный гидрораспределитель 2, цифровой блок управления 3, канал 4 обратной связи по положению штока; разъемы 5 соединения с источником питания, системой управления и сетевой шиной.



Большое влияние развитие техники пропорционального управления оказывает и на современные регулируемые насосы. Одной из новинок фирмы Parker является регулируемый насос с электрогидравлическим  $p/Q$ -управлением, в котором регулирование рабочего объема реализовано с помощью встроенного пропорционального распределителя с датчиком обратной связи по положению наклонного диска. В качестве компенсатора давления используется устанавливаемый отдельно предохранительный клапан с пропорциональным электроуправлением. Система управления имеет высокие надежность и быстродействие, она позволяет реализовать управление по давлению, а также электронное ограничение потребляемой мощности. Схема  $p/Q$ -управления радиально-поршневым насосом серии RKP фирмы Moog показана на рис. 11.



**Рис. 11. Схема p/Q-управления радиально-поршневым насосом серии RKP фирмы Moog.**

В новейшей серии 32 насосов A10VSO фирмы Bosch Rexroth используется система SYDFEC управления от PC, позволяющая бесступенчато регулировать давление и подачу насоса, ограничивать мощность, повысить точность регулирования благодаря использованию датчиков давления и угла поворота наклонного диска, а также повысить быстродействие до уровня, сравнимого с пропорциональными гидроаппаратами.

Возможность высокоточного регулирования основных параметров гидропривода позволяет обеспечить жесткие циклы управления, например в испытательном оборудовании. Вместе с тем для большинства мобильных машин необходимая величина давления в различных переходах рабочего цикла не может быть заранее установлена. Так, при работе экскаватора даже если гарантируется постоянная скорость движения ковша, требуемое усилие определяется свойствами грунта, глубиной погружения, режущими способностями зубьев ковша, климатическими условиями и многими другими факторами. В этих случаях целесообразно использование регуляторов LS (Load Sensing – чувствительность к нагрузке), в которых перепад давлений на дросселе регулирования скорости (возможно пропорциональном) стабилизируется на уровне  $\Delta p = 0,4...1,2$  МПа путем изменения фактической подачи насоса в режиме online, что обеспечивает минимизацию потерь мощности в гидроприводе.

Насосы с энергосберегающими LS-регуляторами широко используются всеми ведущими инофирмами в гидроприводах мобильных машин. При остановке технологических операций центральный контроллер подает команду на электронный блок двигателя и насосы. В результате снижаются обороты коленвала до частоты холостого хода и устанавливаются подачи насосов, близкие к нулевым. Возобновление технологической операции сопровождается увеличением частоты вращения коленвала и установкой дросселя системы LS в рабочее положение; при этом давление на выходе из насоса стабилизируется на уровне действующего сопротивления нагрузки плюс  $\Delta p$ .

В постсоветском пространстве насосы с пропорциональным электроуправлением предлагают, в частности, РУП "ГСКТБ ГА" (г. Гомель, Беларусь) и ОАО "Пневмостроймашина". Последнее к началу 2009 г. освоило серийное производство гидромашин с наклонным блоком, а к концу 2009 г. — с наклонным диском; создаются также электронные системы управления для всех видов мобильной техники.

В современных гидроприводах техника пропорционального управления широко применяется и для решения простейших задач, например, плавного изменения законов разгона и торможения гидродвигателей, замены группы электрически переключаемых регуляторов расхода или давления одним пропорциональным аппаратом и т. п.

На выставке "Интердрайв-2008" в экспозиции фирмы Thomas Magnete, специализирующейся на пропорциональном управлении мобильной гидравликой, демонстрировалась действующая гидрофицированная модель экскаватора с управлением от джойстиков (специальных рукояток с задающими потенциометрами), которые используются в кабине реальной машины. В модели размещена миниатюрная насосная установка, блок вставных пропорциональных распределителей первого каскада экскаватора и "силовые" гидроцилиндры. Единственным проколом можно считать электрические приводы гусеничного хода и поворота платформы, впрочем, для их гидравлической реализации потребовались бы сверхминиатюрные гидромоторы. В процессе демонстрации модели было наглядно показано, что после небольшого тренинга копать насыпанный в поддон гравий

могли даже дети, которых невозможно было оторвать от этой замечательной игрушки, рекламирующей доступность и увлекательность пропорционального электроуправления.

Новейшая система дистанционного управления IQAN фирмы Parker (рис. 13), содержащая системный блок, отдельные модули управления, джойстики, педали, датчики и развитое программное обеспечение, дает возможность существенного расширения функций управления машиной как на стадии ее проектирования, так и в процессе эксплуатации. Дополнительные функции могут быть легко внесены в модули управления при помощи портативного или карманного компьютера, причем для этого не нужно быть программистом.



Рис. 13. Часть системы дистанционного управления IQAN фирмы Parker

В заключение хочется отметить, что гидроприводы с пропорциональным электроуправлением находятся в стадии интенсивного развития. Более того, наличие этих изделий в программах поставок свидетельствует о престижности фирм–производителей гидрооборудования.

## Датчики непрерывных величин

Наиболее распространены датчики положения и перемещения, среди них различают абсолютные и циклические датчики.

**Абсолютные датчики** — выдают переменный сигнал положения или перемещения во всем диапазоне.

**Циклические датчики** — датчики у которых изменения вых. сигнала в зависимости от положения или движения рабочего органа носят периодический характер.

Основные конструкции датчиков — линейная и круговая.

Основные характеристики датчиков:

**Величина измеряемого перемещения** — максимальная величина линейного или углового перемещения, которая может быть преобразована датчиком в изменение вых. сигнала.

**Точность** — определяется максимальной погрешностью измерения по всей величине контролируемого перемещения.

**Чувствительность** — отношение изменения вых. сигнала к величине вызвавшей это изменение.

**Порог чувствительности** (для цифровых датчиков — дискретность) минимальная величина контролируемого перемещения, вызывающее изменение вых. сигнала.

**Стабильность работы** — характеризуется максимальной размерностью значений вых. величины соответствующей контролируемому положению.

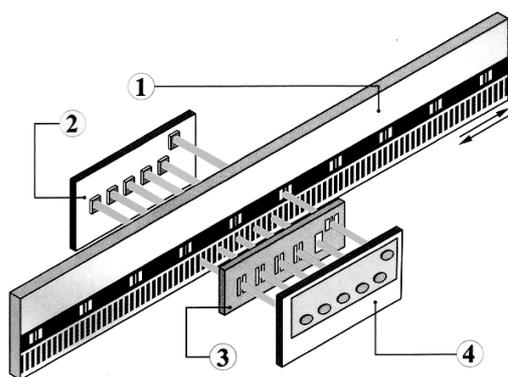
Особенность линейных оптоэлектронных растровых преобразователей перемещения заключается в использовании в качестве меры длины линейной шкалы, являющейся носителем регулярного и кодового растров. Возможность нанесения штрихов растров с субмикронной точностью на материалы с заданным коэффициентом линейного расширения, а также стабильность их геометрического положения позволяют создавать преобразователи 3-4 классов точности.

Высокая степень защищенности конструктивного исполнения преобразователей, а также их высокая устойчивость к внешним воздействиям обеспечили рас-

тровым преобразователям широкий спектр областей промышленного и научного применения.

### Принцип действия преобразователей линейных перемещений

В основу работы преобразователей перемещения положен метод оптоэлектронного сканирования штриховых растров. При относительном перемещении шкалы 1 и анализатора 3 сопряжения регулярного растра шкалы с растрами анализатора модулируют проходящий через них потоки излучения, воспринимаемые соответствующими фотоприемниками. Растровая шкала содержит две параллельные информационные дорожки: регулярного растра и референтных меток.

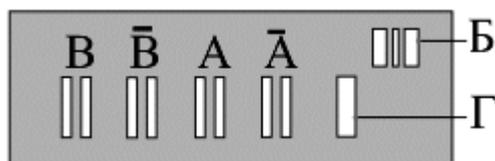


#### Считывающий узел

- 2 плата фотоприемников (кремниевые фотодиоды)
- 3 растровый анализатор (пластина индикаторная)
- 4 плата осветителей (инфракрасные излучатели)

Растровый анализатор содержит 4 окна А, А, В, В инкрементного считывания и окно референтной метки Б. Названные выше 4 окна позиционно согласованы с дорожкой регулярного растра шкалы. Шаги растров в окнах равны шагам регулярного растра шкалы (20 мкм или 40 мкм). При этом в каждой паре окон растры смещены друг относительно друга на величину, равную половине их шага, а взаимный пространственный сдвиг растров

между парами окон составляет четверть шага растров. Последовательно с растровыми окнами расположено прозрачное окно Г. Референтная метка Б позиционно согласована с дорожкой референтных меток шкалы.



Считывающий узел (считывающая головка) преобразователя перемещений решает задачу реализации оптических растровых и кодовых сопряжений, информативно соответствующих величине линейного перемещения, а также задачу считывания, обработки и анализа текущих значений оптически информативных параметров указанных сопряжений.

Конструктивно первую задачу решает каретка, жестко связанная с анализатором, находящаяся через подшипники качения в постоянном контакте со шкалой, что делает возможным относительное перемещение шкалы и анализатора. Вторую задачу реализуют платы фотоприемников 2 и осветителей 4, установленные на ту же каретку, и плата электрической схемы выделения и обработки информации о перемещении, расположенная в корпусе считывающей головки. Плата осветителей содержит шесть излучающих диодов, обеспечивающих засветку соответствующих окон анализатора, и пространственно согласованных с ними приемных площадок шести фотодиодов платы 2.

Построенный таким образом канал считывания информации позволяет формировать два ортогональных периодических сигнала IA и IB, исключив из них постоянную составляющую. Взаимный характер изменения указанных сигналов дает возможность определить направление перемещения, а число их периодов при данном перемещении его величину. Специальные методы обработки сигналов IA и IB позволяют обеспечить контроль перемещения с дискретностью, много меньшей периода регулярного раstra.

Для возможности задания собственного начала отсчета в преобразователях перемещения используется дорожка референтных меток, содержащая, как минимум, одну функционирующую референтную метку, представляющую собой специальный растр, с заданной функцией расположения штрихов и их ширины.

В процессе относительного перемещения шкалы и считывающей головки при совмещении полей Д шкалы и поля Б анализатора с фотоприемника, сопряженного с полем Б, снимается аналоговый сигнал координатно-зависимой величины с ярко выраженным максимумом. Этот сигнал используется устройством обработки для координатной привязки считывающего узла к началу отсчета преобразователя. При этом учитывается значение опорного сигнала, задаваемого фотоприемником, соответствующим окну Г анализатора.

Во всем мире два десятилетия с успехом применяются датчики линейных перемещения (или как их еще называют: датчики линейного положения, датчики и измерители пути) основанные на эффекте магнитострикции. Мировым лидером и пионером в производстве данных сенсоров является компания MTS

Sensors, отделение американской корпорации MTS Systems. Это подразделение было создано в 1984 году после покупки MTS компании Temposonics Inc, сейчас, Temposonics – торговая марка, которую можно видеть на любом магнитострикционном датчике перемещения MTS Sensors.

### ***Принцип работы***

Магнитострикция была обнаружена только в ферромагнитных материалах, таких как железо, никель, кобальт и сплавах. Основой принципа магнитострикции являются магнитомеханические свойства этих материалов. То есть, если ферромагнетик находится в области магнитного поля, то оно вызывает микроскопическую деформацию его молекулярной структуры, что приводит к изменению физических размеров ферромагнетика. Такое поведение объясняется существованием бесчисленного количества маленьких элементарных магнитов, из которых состоит ферромагнитный материал. Они будут стремиться установиться параллельно друг другу в пределах ограниченных пространственных областей, уже без внешнего магнитного поля. В этих так называемых доменах, все элементарные магниты направлены одинаково. Но первоначальное распределение доменов хаотично и снаружи ферромагнитное тело кажется немагнитным.

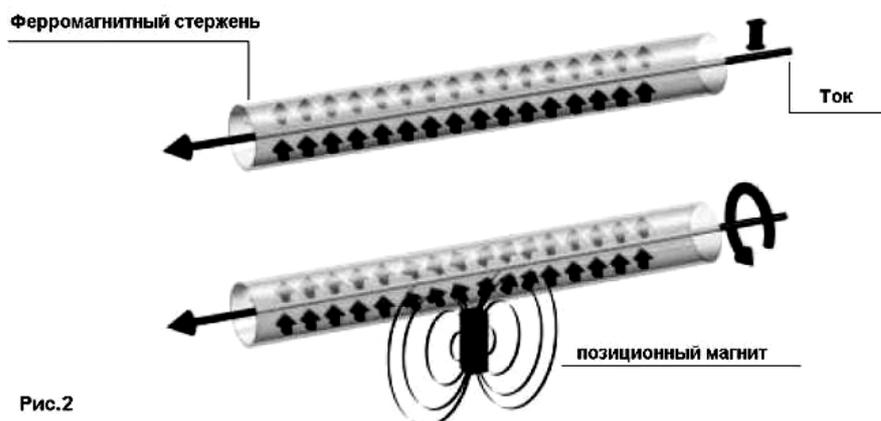
Рис.1



При приложении магнитного поля, домены выстраиваются по направлению этого поля и выравниваются параллельно друг другу. Таким образом, получают собственные магнитные поля, которые могут превосходить внешнее магнитное

поле в сотни раз. Например, если стержень из ферромагнитного сплава поместить в магнитное поле параллельное его оси, то стержень испытает механическую деформацию и получит линейное удлинение. Но в реальности удлинение посредством магнитострикционного эффекта очень мало. (рис.1)

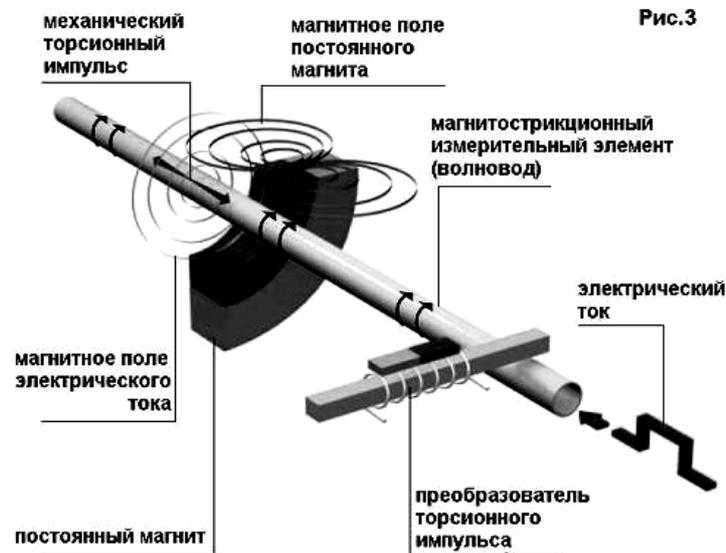
Магнитострикционный эффект обуславливается совокупностью магнитных и механических свойств ферромагнитных материалов, соответственно его можно оптимизировать посредством создания специальных сплавов и управлять с помощью направленного действия внешнего магнитного поля. В промышленных измерительных системах Temposonics используется магнитострикционный эффект, который называется эффект Видемана. Он описывает механическую деформацию (скручивание) длинного, тонкого ферромагнитного стержня, который находится под воздействием двух магнитных полей: внешнего и внутреннего, создаваемого проводником, по которому протекает электрический ток. В датчиках линейных перемещений MTS Sensors внешнее магнитное поле создается позиционным магнитом, которое при пересечении с concentрическим магнитным полем, создаваемым электрическим током, вызывает механическую деформацию в небольшой области измерительного элемента в форме стержня (Рис.2). Так же, в датчиках Temposonics используется так называемый, магнитоупругий эффект (или эффект Виллари). Он связан с изменением магнитных свойств ферромагнетика, например, намагниченности ферромагнитного бруска, которое вызывается продольной деформацией.



Чтобы превратить изложенные выше физические основы в надежно работающую измерительную систему, была предложена конструкция датчика, представленная на рисунке 3. Датчик линейных перемещений Temposonics состоит из 5 основных частей:

- измерительный элемент (волновод);
- электроника датчика;

- позиционер в виде постоянного магнита;
- преобразователь торсионного импульса;
- демпфирующая часть (на конце стержня, в которой гасится вторая часть торсионного импульса).



«Стержнем» измерительной системы является ферромагнитный измерительный элемент, использующийся как волновод, по которому распространяется торсионная ультразвуковая волна до преобразователя импульсов. Измеряемая позиция определяется положением постоянного магнита, который окружает волновод. Этот магнит создает магнитное поле в волноводе и связан с объектом измерения. Здесь нужно подчеркнуть, что между позиционером (магнитом) и измерительным элементом (волноводом), полностью отсутствует механическая связь. Это гарантирует очень долгий срок службы датчиков MTS Temposonics на основе этого принципа измерения.

При измерении короткий импульс тока посылается из электронной части сенсора с помощью волновода. При перемещении импульса возникает радиальное магнитное поле вокруг волновода (Рис.3). При пересечении с магнитным полем постоянного магнита-позиционера, возникает, согласно эффекту Видемана, пластическая деформация магнитострикционного волновода, которая является высокочастотным процессом, вследствие скорости токового импульса. Из-за этого возникает ультразвуковая торсионная волна, которая распространяется от места возникновения в оба конца волновода, однако в одном из концов она полностью гасится и, таким образом, помехи и искажения сигнала исключаются.

Детектирование и обработка торсионного импульса происходит на другом конце волновода в специальном преобразователе. Преобразователь торсионных импульсов состоит из расположенной поперек волновода и жестко связанной с ним полосы из магнитострикционного металла; детектирующей катушки индуктивности и одного неподвижного постоянного магнита.

В преобразователе торсионного импульса, сверхзвуковая волна вызывает изменение намагниченности металлической полосы согласно эффекта Виллари, уже упоминавшемуся. Следующее из этого временное изменение поля постоянного магнита индуцирует электрический ток катушке индуктивности. Этот возникающий электрический сигнал окончательно обрабатывается электроникой датчика.