

Савчиц А.В., Ефремкин С.И.

**Технические средства
автоматизации**

Волжский

2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Савчиц А.В., Ефремкин С.И.

Технические средства автоматизации

Электронное учебное пособие



Волжский

2020

УДК 004.3(07)
ББК 32.81
С 137

Рецензенты:

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «АПП» ВолгГТУ

Макаров А.М.;

кандидат технических наук, начальник учебно-консультационного центра

ООО «Ракурс-инжиниринг»

Бурицев А.Г

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Савчиц, А.В.

Технические средства автоматизации [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Савчиц, С.И. Ефремкин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3 МБ). – Волжский, 2020. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-3809-9

В пособии рассмотрены технические средства автоматизации: регуляторы, коммутирующее оборудование, исполнительные механизмы, регулирующая арматура, барьеры искрозащиты, электропневмо- и пневмоэлектропреобразователи. Приведены примеры конкретных устройств.

Пособие рассчитано на студентов бакалавров очной и заочной формы обучения направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производство».

Ил. 44, библиограф.: 12 назв.

ISBN 978-5-9948-3809-9

© Волгоградский государственный
технический университет, 2020

© Волжский политехнический
институт, 2020

Содержание

Введение.....	4
1 Регуляторы в системах управления.....	5
1.1.1 Классификация автоматических регуляторов.....	6
1.1.2 Регуляторы прерывистого действия.....	7
1.1.3 Регуляторы непрерывного действия.....	13
1.1.4 Выбор типа регуляторов.....	16
2 Промышленные контроллеры (ПЛК и ПКА).....	18
2.1 Классификации промышленных контроллеров.....	18
2.2 Характерные черты и сферы применения контроллеров.....	26
2.3 Промышленные контроллеры автоматизации.....	29
3 Устройства коммутации.....	31
3.1 Электромагнитное реле.....	31
3.2 Контактные (магнитные пускатели).....	34
3.3 Твердотельные реле.....	41
3.4 Устройства плавного пуска.....	47
3.5 Преобразователи частоты.....	51
3.5.1 Скалярный метод.....	52
3.5.2 Векторный метод.....	53
3.5.3 Область применения преобразователей частоты.....	54
4 Исполнительные механизмы.....	56
4.1 Пневматические исполнительные механизмы.....	57
4.1.1 Мембранные исполнительные механизмы.....	58
4.1.2 Поршневые исполнительные механизмы.....	60
4.1.3 Лопастные исполнительные механизмы.....	61
4.2 Электрические исполнительные механизмы.....	62
4.2.1 Электродвигательные исполнительные механизмы.....	62
5 Регулирующая арматура.....	66
5.1 Дроссельные регулирующие органы.....	67
6 Барьеры искрозащиты.....	73
6.1 Шунт-диодные барьеры искрозащиты.....	75
6.2 Активные барьеры искрозащиты.....	77
6.3 Активные барьеры с гальванической развязкой.....	78
7 Электропневмопреобразователи и пневмоэлектропреобразователи.....	80
Список литературы.....	87

Введение

Технические средства определяют реально достижимые характеристики систем автоматизации и управления. Повышение требований к функциональным возможностям систем управления стимулирует разработку и производство новых поколений датчиков, контроллеров, исполнительных устройств. Современные тенденции в развитии технической базы проявляются в повсеместном внедрении «интеллектуальных» устройств автоматики на основе интегральных микропроцессорных устройств.

Объединение микропроцессорных устройств в локальные сети способствует появлению принципиально новых систем с распределенным управлением, обеспечивающих возможность приспособления к требованиям конкретного производства. Использование периферийных устройств с развитыми функциями в системах супервизорного контроля, сбора данных и управления привело к появлению «роботизированных» технических систем.

Совершенствование систем автоматического управления неразрывно связано с повышением надежности их функционирования, надежности входящих в них технических устройств. Становятся обязательными функции диагностики и протоколирования состояния системы управления, резервирования каналов передачи данных, распределения функций обработки информации между устройствами. В настоящем учебном пособии рассмотрены особенности проектирования и применения типовых технических средств систем управления.

1 Регуляторы в системах управления

Основная функция регулятора состоит в том, чтобы выявить отклонение регулируемой величины от заданного значения, усилить это отклонение и преобразовать в перемещение исполнительного механизма или в управляющий сигнал регулирующего органа. Иными словами, **автоматический регулятор** – это комплекс устройств, предназначенных для измерения регулируемой величины, сопоставления ее с заданной и оказания регулирующего воздействия на процесс для устранения выявленного отклонения. Каждую из перечисленных функций выполняет определенная часть регулятора, который состоит из следующих узлов: чувствительного (измерительного) элемента, управляющего устройства с задатчиком, исполнительного механизма и регулирующего органа.

В процессе работы система автоматического управления (Рисунок 1.1) сравнивает текущее значение измеряемого параметра X с задающим воздействием (заданием SP , уставкой) и устраняет рассогласование E ($E=SP-PV$). Внешние возмущающие воздействия Z также устраняются регулятором.

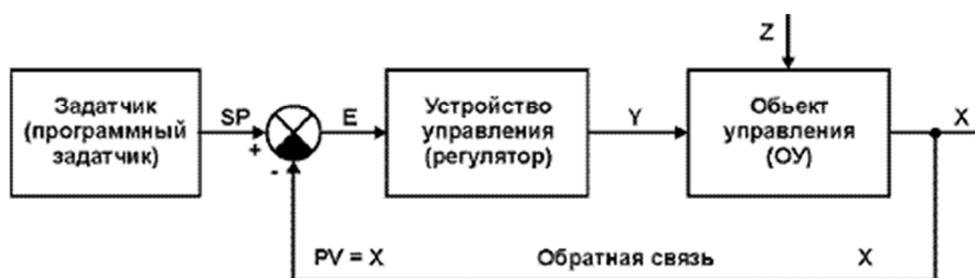


Рисунок 1.1 – Структурная схема замкнутой системы регулирования

Например, при регулировании температуры в печи, задающим воздействием (заданием SP) является требуемая температура воздуха, измеряемым и регулируемым параметром X – текущая температура в печи, рассо-

гласованием E является их разница, управляющей величиной Y является напряжение, подаваемое на нагревательный элемент.

1.1.1 Классификация автоматических регуляторов

Различают регуляторы **прямого** и **косвенного** (непрямого) действия. В регуляторах прямого действия измерительный элемент непосредственно воздействует на регулирующий орган. Эти регуляторы просты по устройству и надежны в работе, однако они обладают рядом недостатков: большая зона нечувствительности, малые пределы регулирования и невозможность дистанционного управления. В регуляторах косвенного действия регулирующий орган перемещается за счет энергии, получаемой от постороннего источника.

По **виду вспомогательной энергии** регуляторы косвенного действия подразделяются на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные. Гидравлические регуляторы обеспечивают плавное регулирование в широком диапазоне и создают большие усилия на регулирующий орган. Они надежны и удобны в эксплуатации, но имеют ограниченный радиус действия, определяемый длиной гидравлического трубопровода.

Пневматические регуляторы обладают рядом положительных качеств, свойственных гидравлическим. Однако они сравнительно легко засоряются и поэтому требуют применения дополнительных воздушных фильтров. Характеристики пневматических регуляторов зависят от температуры и давления окружающей среды.

Электрические регуляторы имеют практически неограниченный радиус действия, их работа мало зависит от температуры и давления окружающей среды. При конструировании комбинированных регуляторов стремятся использовать положительные характеристики каждого вида вспомогательной энергии.

По роду действия, т. е. по виду управляющего воздействия на регулируемый орган, различают регуляторы **непрерывного** и **прерывистого** (дискретного) действия.

В регуляторах непрерывного действия регулируемый сигнал подается на исполнительный механизм непрерывно при наличии отклонения регулируемой величины от заданного значения.

В регуляторах прерывистого (дискретного) действия регулируемый сигнал подается на исполнительный механизм через определенные интервалы времени. В паузах регулятор как бы оценивает произведенное им воздействие на регулируемый объект и формирует новый регулируемый сигнал с учетом произведенного воздействия.

По виду регулируемой величины различают регуляторы температуры, давления, расхода, уровня и т.д.

По конструктивному исполнению регуляторы могут быть приборными, аппаратными и агрегатными. Приборные регуляторы содержат измерительное устройство, которое одновременно выдает сигнал на измерительный прибор, регистрирующий значение контролируемой величины, и сигнал управления. К приборным регуляторам относятся электронные потенциометры, автоматические мосты, логометры и т. п. В регуляторах аппаратного типа вырабатывается только управляющий сигнал. В состав таких регуляторов входят измерительный блок и электронное устройство, формирующие законы регулирования. В регуляторах агрегатного типа преобразовательно-усилительный блок сравнивает сигналы первичного преобразователя и задатчика и формирует выходной сигнал.

1.1.2 Регуляторы прерывистого действия

Регуляторы прерывистого действия подразделяются на позиционные, импульсные и цифровые.

Позиционными (релейными) называют регуляторы, у которых регулируемый орган может занимать определенное число положений.

В **двухпозиционных** регуляторах регулируемый орган может занимать только два положения: больше-меньше, включено-выключено или открыто-закрыто. Количество энергии или вещества, подводимое к объекту или отводимое от объекта при установке регулирующего органа в положение «больше», будет превышать среднюю потребность, а в положении «меньше» будет ниже нее. При таком способе регулируемая величина колеблется относительно заданного значения.

В простейшем случае (без обратной связи) двухпозиционный регулятор работает как двухпозиционный переключатель. Например, мощность, подаваемая на нагреватель, имеет только два значения – максимальное и минимальное (нулевое), две позиции (отсюда и название регулятора – двухпозиционный) – нагреватель полностью включен или полностью выключен (Рисунок 1.2).

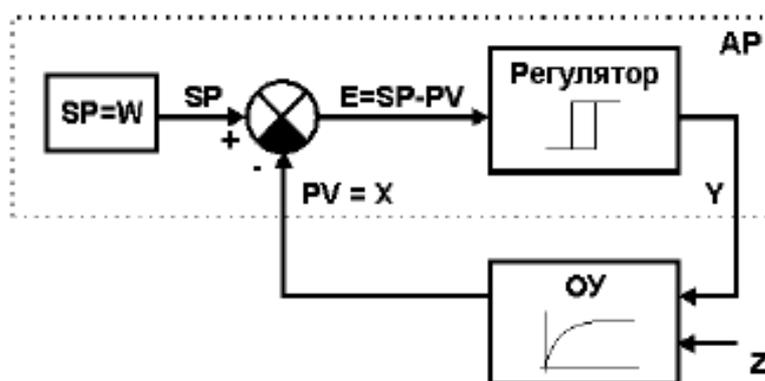


Рисунок 1.2 – Структурная схема двухпозиционной системы регулирования *AP* – двухпозиционный регулятор, *ОУ* – объект управления, *SP* – узел формирования задания, *E* – рассогласование регулятора, *PV=X* – регулируемая величина, *Y* – управляющее воздействие, *Z* – возмущающее воздействие.

Одним из основных недостатков двухпозиционного регулирования является невозможность сочетания быстрого нагрева (для этого необходима большая мощность) и высокой точности регулирования, для которой требуется небольшая избыточная мощность.

Дальнейшее развитие позиционного регулирования пошло в двух направлениях: улучшение свойств двухпозиционного регулирования и переход на трехпозиционное регулирование.

Первое направление обеспечивается созданием так называемого прерывистого двухпозиционного регулирования, т.е. введением дополнительных импульсов по первой и второй производным и применением экспоненциальных обратных связей. При введении трехпозиционного регулирования колебания регулируемого параметра уменьшаются на 20 ... 30 % по сравнению с колебаниями при двухпозиционном регулировании.

В **трехпозиционных регуляторах** регулирующей орган может занимать дополнительно еще среднее положение, обеспечивающее подачу энергии или вещества в объект в количествах, соответствующих его потреблению при нормальной нагрузке и заданном значении регулируемой величины. Таким образом, в трехпозиционных регуляторах включение и выключение мощности осуществляется также ступенчато, но имеется некоторая зависимость между отклонением регулируемой величины от заданного значения и включаемой мощностью. Трехпозиционные регуляторы способны вести регулирование более качественно, чем двухпозиционные. Рисунок 1.3.

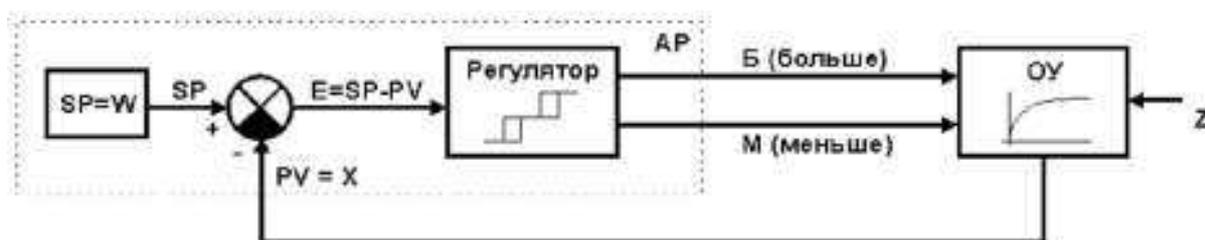


Рисунок 1.3 – Структурная схема трехпозиционной системы регулирования

AP - трехпозиционный регулятор, ОУ - объект управления, SP - узел формирования задания, E - рассогласование регулятора, PV=X- регулируемая величина, сигналы Б (больше) и М (меньше) - управляющие воздействия, Z - возмущающее воздействие.

Трехпозиционный регулятор включает при помощи переключательных элементов электродвигатель исполнительного механизма на правое вращение (например, открытие регулирующего органа), остановку или левое вращение (соответственно – закрытие регулирующего органа), три позиции (отсюда и название регулятора – трехпозиционный) – электродвигатель включен на правое вращение, полностью остановлен или включен на левое вращение.

Многопозиционный регулятор работает как многопозиционный переключатель.

Многопозиционные регуляторы могут управлять одновременно несколькими нагрузками: группа ТЭНов, вентиляторы, заслонки. Например, температура в камере регулируется двумя ТЭНами – одним большой мощности для быстрого выхода на температурный режим камеры, другим – менее мощным – для поддержания температуры в камере, а для понижения температуры (охлаждения) используется вентилятор.

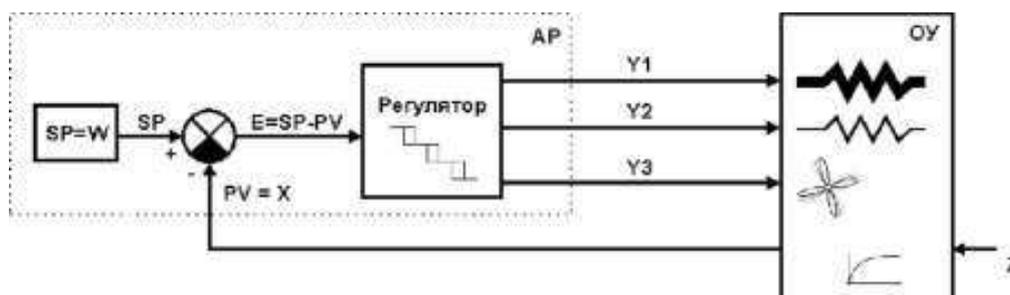


Рисунок 1.4 – Структурная схема многопозиционной системы регулирования
AP - многопозиционный регулятор, *ОУ* - объект управления, *SP* - узел формирования задания, *E* - рассогласование регулятора, *PV=X* - регулируемая величина, сигналы *Y1* (управление ТЭНом большой мощности), *Y2* (управление ТЭНом малой мощности), *Y3* (управление вентилятором) - управляющие воздействия, *Z* - возмущающее воздействие.

Позиционные регуляторы используются для управления переключательными элементами – дискретными исполнительными устройствами:

- электромеханическими реле,
- контакторами,

- транзисторными ключами,
- симисторными или тиристорными устройствами,
- твердотельными реле и др.

Обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием, не требуют настройки и просты в эксплуатации.

В регуляторах импульсного действия отклонения регулируемой величины преобразуются в последовательность импульсов, следующих друг за другом через определенные интервалы времени. Импульсы могут отличаться амплитудой, длительностью и полярностью.

В зависимости от характеристики импульсов рассматриваемые регуляторы подразделяются на три группы. К первой группе относятся регуляторы, в которых амплитуда импульсов пропорциональна изменению регулируемой величины. Во вторую группу входят регуляторы с преобразованием регулируемой величины в последовательность импульсов, длительность которых зависит от отклонения регулируемой величины. Импульсные регуляторы с преобразованием отклонения регулируемой величины в последовательность импульсов с постоянными амплитудами и длительностью, но с переменным знаком, относятся к третьей группе. Знак импульсов зависит от изменения знака регулируемой величины.

На рисунке 1.5 представлена структурная схема регулятора с импульсным выходом. Выходные управляющие сигналы регулятора – сигналы Больше и Меньше через контактные или бесконтактные управляющие устройства (П) воздействуют на исполнительный элемент К (регулирующий орган).

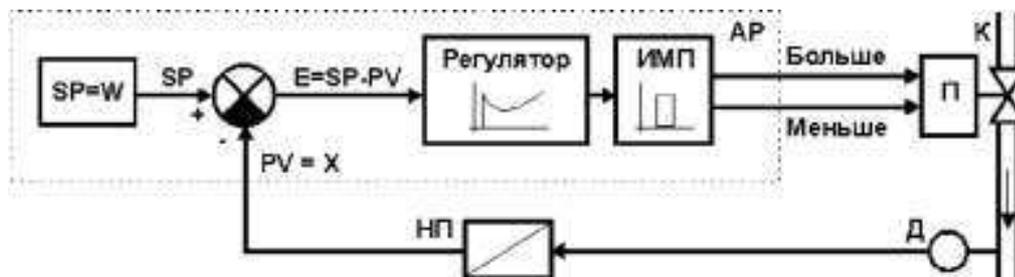


Рисунок 1.5 – Структурная схема регулятора с импульсным выходом

AP - непрерывный ПИД-регулятор с импульсным выходом, SP - узел формирования заданной точки, PV=X- регулируемый технологический параметр, E - рассогласование регулятора, Д - датчик, НП - нормирующий преобразователь, ИМП - импульсный ШИМ модулятор, Сигналы Больше и Меньше - управляющие воздействия, П - пускатель контактный или бесконтактный, К - клапан регулирующий (регулирующий орган).

Регуляторы с ШИМ выходом широко применяются в системах регулирования температуры, где выходной управляющий симисторный элемент (или твердотельное реле, пускатель) воздействуют на термоэлектрический нагреватель ТЭН, или вентилятор. На рисунке 1.6 представлена структурная схема регулятора с ШИМ выходом.

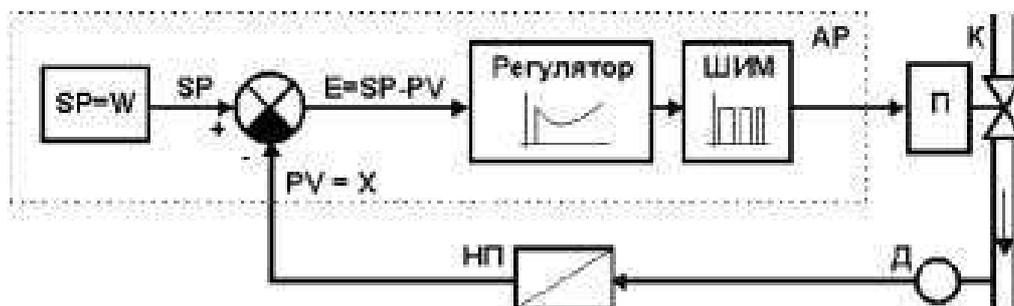


Рисунок 1.6 – Структурная схема регулятора с ШИМ выходом

AP - непрерывный ПИД-регулятор с импульсным ШИМ выходом, SP - узел формирования заданной точки, PV=X- регулируемый технологический параметр, E - рассогласование регулятора, Д - датчик, НП - нормирующий преобразователь, ШИМ - импульсный ШИМ модулятор, П - пускатель контактный или бесконтактный, К - клапан регулирующий (регулирующий орган).

Импульсные регуляторы применяются для регулирования медленно протекающих процессов в объектах регулирования, обладающих большой инерционностью и значительным запаздыванием.

1.1.3 Регуляторы непрерывного действия

В соответствии с реализуемым законом регулирования автоматические регуляторы непрерывного действия (Рисунок 1.7) подразделяются на пропорциональные, интегральные, пропорционально-интегральные, пропорционально-дифференциальные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы.

Пропорциональные регуляторы (П-регуляторы). В П-регуляторах перемещение регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения. Эти регуляторы также называются статическими, потому что в процессе регулирования они все время стремятся «догнать» отклонившуюся от заданного значения регулируемую величину и остановить ее, т. е. прекратить ее дальнейшее отклонение.

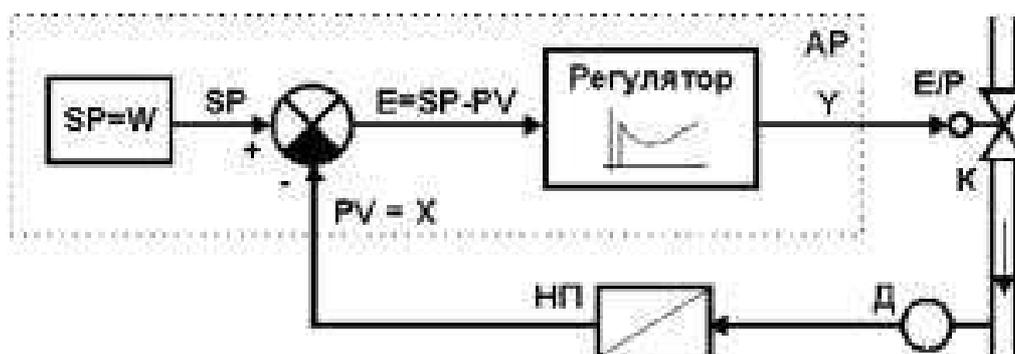


Рисунок 1.7 – Структурная схема регулятора с аналоговым выходом

AP - непрерывный регулятор с аналоговым выходом, SP - узел формирования заданной точки, PV=X- регулируемый технологический параметр, E - рассогласование регулятора, Д - датчик, НП - нормирующий преобразователь Y - выходной аналоговый управляющий сигнал E/P - электропневматический преобразователь, K - клапан регулирующей (регулирующий орган).

Преимуществами П-регуляторов являются их быстроедействие (малое время переходного процесса) и высокая устойчивость процесса регулирования; основным недостатком – наличие остаточного отклонения регулируемой величины, что снижает точность регулирования.

П-регуляторы применяют на объектах регулирования с малым самовыравниванием и без самовыравнивания, когда изменение нагрузки незначительно.

Интегральные (астатические) регуляторы (И-регуляторы). И-регуляторы характеризуются перемещением регулирующего органа пропорционально интегралу отклонения регулируемой величины от заданного значения. Иными словами, регулирующий орган перемещается со скоростью, пропорциональной отклонению регулируемой величины,

В структуру И-регулятора входят последовательно включенные усилительные и интегрирующие звенья. В качестве интегрирующего звена обычно используется гидравлический сервопривод или электродвигатель постоянного тока, скорость вращения которого пропорциональна отклонению регулируемой величины.

Использование И-регуляторов исключает остаточное отклонение регулируемой величины при изменениях нагрузки. Эти регуляторы применяются на объектах с переменной нагрузкой, обладающих самовыравниванием и малым запаздыванием. И-регуляторы работают тем лучше, чем больше степень самовыравнивания и меньше время запаздывания.

Пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы). Эти регуляторы также называют изодромными регуляторами или регуляторами с упругой обратной связью. ПИ-регуляторы представляют собой сочетание пропорционального и интегрального регуляторов. Реализуемый ими закон регулирования имеет вид

В ПИ-регуляторах регулирующий орган при наличии отклонения регулируемой величины сначала перемещается быстро (пропорционально отклонению), а затем продолжает свое перемещение в результате интегрального воздействия (обычно медленнее). Пропорциональная часть регулятора стремится как бы «догнать» и остановить изменение регулируемой величины. По достижении равновесия пропорциональная составляющая прекращает свое влияние на регулирующий орган, а действие интегрирующей составляющей будет продолжаться. В результате этого воздействия регулирующий орган займет такое положение, при котором статиче-

ская ошибка будет ликвидирована. Таким образом, наличие в регуляторе пропорционального воздействия убыстряет процесс стабилизации регулируемой величины, а интегральное воздействие снимает остаточное отклонение.

ПИ-регуляторы могут поддержать в установившемся режиме постоянное значение регулируемой величины независимо от нагрузки и положения регулирующего органа. Эти регуляторы способны работать на объектах с различными свойствами.

Пропорционально-дифференциальные регуляторы (ПД-регуляторы). ПД-регуляторы обеспечивают перемещение регулирующего органа как пропорционально отклонению регулируемой величины, так и пропорционально скорости отклонения. Подобные регуляторы еще при подходе регулируемой величины к заданному значению осуществляют действия, препятствующие переходу величины за пределы заданного значения.

В начальный момент рассогласования скорость отклонения регулируемой величины проявляется более значительно, чем изменение величины регулирующего параметра. Поэтому в закон регулирования ПД-регуляторов вводят предваряющее воздействие, что эффективно сказывается на качестве регулирования.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (ПИД-регуляторы). Эти регуляторы известны также под названием изомные с предварением. В ПИД-регуляторах регулирующий орган перемещается пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемой величины. Работу этих регуляторов можно рассматривать как совместное действие статического и астатического регуляторов с учетом скорости изменения регулируемой величины.

Приставка предварения вырабатывает сигнал, который заставляет регулирующий орган перемещаться с некоторым временным опережением,

возрастающим с увеличением скорости изменения регулируемой величины. Предварение может осуществляться с помощью подключенных на вход регулятора элементов, измеряющих скорость изменения регулируемой величины или введением дополнительной обратной связи.

ПИД-регуляторы сочетают свойства всех рассмотренных выше регуляторов. Они удовлетворяют наиболее трудным условиям и требованиям регулирования.

1.1.4 Выбор типа регуляторов

Применение регуляторов с различными характеристиками для одного и того же объекта приводят к разным результатам. Поэтому тип регулятора необходимо выбирать с учетом свойств объектов.

При отсутствии сведений о динамических свойствах объекта регуляторы следует выбирать по аналогии с действующими объектами или на основании предположительных сведений о свойствах объекта.

Выбор регулятора обычно начинают с определения характера его действия: позиционный, импульсный и непрерывный.

Позиционные регуляторы применяют в объектах с малым запаздыванием или постоянной нагрузкой. Они могут быть рекомендованы для одноемкостных объектов без самовыравнивания.

Импульсные регуляторы применяют в объектах без большого запаздывания, обладающих средней емкостью при постоянной или плавно меняющейся нагрузке.

П-регуляторы рекомендуются для регулирования объектов, допускающих некоторые отклонения регулируемой величины от заданного значения. При этом нагрузка объектов не должна иметь резких колебаний, но может изменяться плавно. П-регуляторы большей частью используются для одноемкостных объектов.

И-регуляторы можно применять только при регулировании объектов с большой степенью самовыравнивания, иначе система может оказаться неустойчивой. Они используются с различной емкостью, с небольшим запаздыванием и при плавных изменениях нагрузки.

ПИ-регуляторы рекомендуются для регулирования процессов в самых разнообразных объектах, т. е. в объектах с любой емкостью, с большим запаздыванием и с большими, но медленно изменяющимися нагрузками. Например, их широко используют для регулирования температуры в топливных печах, а также для регулирования расхода газа или жидкости. Поскольку ПИ-регуляторы обладают достаточным быстродействием и способны выводить регулируемую величину на заданное значение, их применяют чаще других.

ПД-регуляторы используются в объектах со средней емкостью, при большом времени запаздывания и при малых изменениях нагрузки.

ПИД-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью, с большим запаздыванием и при больших и резких изменениях нагрузки, т.е. в тех случаях, когда П- и ПИ-регуляторы не могут справиться с обеспечением требуемого качества регулирования.

2 Промышленные контроллеры (ПЛК и ПКА)

2.1 Классификации промышленных контроллеров

Промышленные контроллеры классифицируют по множеству признаков. Наиболее полная классификация представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 - Классификация промышленных контроллеров

Страна-производитель

Некоторое время назад это был очень важный классификационный признак. Считалось, что контроллеры, произведённые в Европе, Америке и Японии, гораздо надежнее, обладают гораздо большим функционалом, чем их «коллеги» из Юго-Восточной Азии и России. В настоящее время этот классификационный признак, скорее всего, потерял актуальность. Российские предприятия набрались опыта и схемотехнические решения у нас подчас даже лучше, чем у западных аналогов. По характеристикам контроллеры-аналоги различных стран-производителей почти не отличаются. Системное и прикладное программное обеспечение либо очень похоже, либо вообще используются стандартизированные продукты (к примеру OS Linux широко используется как на отечественных контроллерах, так и на

импортных). Элементная база и в импортных, и в российских контроллерах применяется одна и та же. Кроме того, и отечественные, и европейские, и американские разработчики контроллеров (да и не только контроллеров) в последние годы все чаще размещают производство на одних и тех же площадках в Юго-Восточной Азии. По сути, границы между производителями электроники постепенно исчезают вообще.

Мощность:

Под обобщённым термином «мощность» понимается разрядность и быстродействие центрального процессора, объём разных видов памяти, число портов и сетевых интерфейсов. Очень часто основным показателем, косвенно характеризующим мощность контроллера и одновременно являющимся важнейшей его характеристикой, является число входов и выходов (как аналоговых, так и дискретных), которые могут быть подсоединены к контроллеру.

По этому показателю контроллеры подразделяются на следующие классы:

- **наноконтроллеры** (часто с встроенными функциями), имеющие до 15 входов/выходов;
- **малые контроллеры**, рассчитанные на 15-100 входов/выходов;
- **средние контроллеры**, рассчитанные примерно на 100-300 входов/выходов;
- **большие контроллеры**, рассчитанные примерно на 300-2000 входов/выходов;
- **сверхбольшие контроллеры**, имеющие примерно от 2000 и более входов/выходов.

Очень важно отметить, что с ростом мощности контроллера растёт его цена. Причем при переходе разница по цене между различными классами контроллеров очень значительна. Одна из задач при разработке системы управления – это чётко зафиксировать число входных и выходных

сигналов объекта управления, чтобы избежать лишних затрат при выборе контроллера.

Область применения

Область применения – один из наиболее важных признаков классификации. Область применения контроллера накладывает целый ряд требований к контроллерам и очень сильно сужает круг поиска при разработке систем управления. Специализированный контроллер со встроенными функциями. Обычно им является минимальный по мощности контроллер, программа действия которого заранее прошита в его памяти, а изменению при эксплуатации подлежат только параметры программы. Число и набор модулей ввода/вывода определяется реализуемыми в нем функциями. Часто такие контроллеры реализуют различные варианты функций регулирования.

Контроллер для реализации логических зависимостей

Главные сферы применения такого контроллера: станкостроение, машиностроение, замена релейно-контактных шкафов во всех отраслях промышленности. Он характеризуется прошитой в его памяти развитой библиотекой логических функций и функций блокировки типовых исполнительных механизмов. Для его программирования используются специализированные языки типа релейно-контактных схем. Набор модулей ввода/вывода у такого контроллера рассчитан, в основном, на разнообразные дискретные каналы. Наиболее простыми представителями данного класса контроллеров являются интеллектуальные реле.

Контроллер, реализующий любые вычислительные и логические функции

Наиболее распространённый универсальный контроллер, не имеющий ограничений по области применения. Центральный процессор контроллера имеет достаточную мощность, разрядность, память, чтобы выполнять как логические, так и математические функции. Иногда, для уси-

ления его вычислительной мощности, он снабжается ещё и математическим сопроцессором (во многих современных процессорах математический сопроцессор интегрирован в сам кристалл). Инструментальные средства для программирования таких контроллеров, как правило, поддерживают несколько языков программирования, таких как язык релейно-контактных схем, функционально-блоковых диаграмм, язык C, Basic, Pascal и тому подобные. Как правило, также предоставляется большая библиотека уже реализованных логических, математических и коммуникационных функций. В состав модулей ввода/вывода входят модули на всевозможные виды и характеристики каналов (аналоговых, дискретных, импульсных и т. д.).

Контроллер противоаварийной защиты

Он должен отличаться от контроллеров других классов:

- особенно высокой надежностью, достигаемой различными вариантами диагностики и резервирования (например, диагностикой работы отдельных компонентов контроллера в режиме реального времени, наличием основного и резервного контроллеров с одинаковым аппаратным и программным обеспечением и с модулем синхронизации работы контроллеров, резервированием блоков питания и коммуникационных шин);
- высокой готовностью, т. е. высокой вероятностью того, что объект находится в рабочем режиме (например, не только идентификацией, но и компенсацией неисправных элементов);
- не просто резервированием, но и восстановлением ошибок программы без прерывания работы контроллеров;
- отказоустойчивостью, когда при любом отказе автоматизируемый процесс переводится в безопасный режим функционирования.

Контроллер цепи противоаварийной защиты должен иметь сертификат, подтверждающий безопасность его работы в цепях противоаварийной защиты.

Контроллер телемеханических систем автоматизации

Данный класс универсальных контроллеров удобен для создания систем диспетчерского контроля и управления распределёнными на местности объектами. В контроллерах данного класса повышенное внимание уделяется программным и техническим компонентам передачи информации на большие расстояния беспроводными линиями связи. В качестве таких линий часто используются УКВ-радиоканалы, WI-FI, промышленные сети. При этом возможна передача информации от каждого контроллера в диспетчерский центр, а также эстафетная передача информации по цепи от одного контроллера к другому до достижения диспетчерского центра.

Открытость архитектуры

По структуре контроллеры подразделяются на два класса: контроллеры, имеющие фирменную **закрытую структуру**, и контроллеры **открытой структуры**, основанной на одном из магистрально-модульных стандартов.

При **закрытой фирменной структуре** изменения (модификации) контроллера возможны, обычно, только компонентами производителя. Сами изменения достаточно ограничены и заранее оговорены производителем.

При **открытой магистрально-модульной структуре**, имеющей стандартный интерфейс для связи центрального процессора с другими модулями контроллера, ситуация кардинально меняется:

- открытость и широкая доступность стандарта на шину, соединяющую модули разного назначения, даёт возможность выпускать в данном стандарте любые модули разным производителям, а

разработчикам контроллеров даёт возможность компоновать свои средства из модулей разных фирм;

- возможность любой модификации и перекомпоновки средств путем замены в них отдельных модулей, а не замены самих средств, удешевляет эксплуатацию средств;
- сборка контроллеров из готовых модулей позволяет точнее учитывать конкретные технические требования и не иметь в них лишних блоков и элементов, не нужных для данного конкретного применения;
- широкая кооперация разных фирм, поддерживающих данный стандарт на шину и работающих в этом стандарте, позволяет пользователям модулей не быть привязанными к конкретному поставщику и иметь широкий выбор необходимой ему продукции.

PC-совместимость

По этому признаку все контроллеры можно разделить на два класса: **PC-совместимые** и **PC-несовместимые**. Каждый из этих классов имеет свои достоинства и недостатки.

PC-совместимые контроллеры можно охарактеризовать следующими особенностями:

- они имеют классическую открытую архитектуру IBM PC;
- в них используется элементная база, та же, что и у обычных PC;
- они работают под управлением тех же операционных систем, которые широко используются в персональных компьютерах, например Windows, Unix, Linux, QNX;
- программируются они теми же языками, которые используются для разработки ПО для PC;

- на них, как правило, возможна работа программного обеспечения, разработанного для персональных компьютеров, при наличии требуемых для ПО аппаратных ресурсов.

PC-несовместимые контроллеры можно охарактеризовать так:

- архитектура контроллеров закрыта, она, как правило, является ноу-хау разработчика;
- элементная база, на которой строятся контроллеры, существенно отличается от используемой в PC, она разная у разных производителей;
- операционные системы, под управлением которых работают контроллеры, совершенно другие, нежели те, которые используются в PC, они часто разрабатываются самими производителями именно для данного типа или линейки контроллеров;
- так как в таких контроллерах практически не используются стандарты, предлагаемые разработчиками распространённых операционных систем для PC, то работа PC-программ на этих контроллерах оказывается невозможной.

PC-совместимые контроллеры по сравнению с PC-несовместимыми контроллерами в целом обладают большей мощностью, легче стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данных, открыты для большинства стандартов в областях коммуникаций и программирования, они в среднем дешевле, проще обслуживаются и ремонтируются.

В то же время PC-несовместимые контроллеры лучше учитывают требования промышленной автоматики; их операционные системы гарантируют отклик контроллера на внешнее событие через заданное время (операционные системы реального времени). Они в целом более надёжны, так как больше используют наработанные в промышленности способы диагностики и горячего резервирования, обеспечивающие отказоустойчи-

вость системы в целом. В них шире используются возможности связи с различными полевыми шинами.

Достоинства и недостатки каждого из этих видов контроллеров определяют их области использования. PC-несовместимые контроллеры целесообразно применять на нижних уровнях автоматизации, «поближе» к технологическому объекту. Здесь необходимы связь с периферийными устройствами по полевым шинам, исполнение в реальном времени (с гарантированным временем отклика на внешние воздействия) и надёжность. А открытость контроллера для связи со SCADA, MES или СУБД, как правило, не требуется. PC-совместимые же контроллеры целесообразнее применять на верхних уровнях автоматизации, где требования к реальному времени и связи по полевым шинам отсутствуют, зато становятся строже требования по информационной совместимости контроллеров с корпоративными сетями.

Конструктивное исполнение

По конструктивному исполнению контроллеры можно разделить на несколько групп, мы их условно назовем так:

- встраиваемые;
- размещаемые в общий конструктив;
- модульного типа;

Встраиваемые контроллеры

Как правило, не имеют корпуса, часто конструкция просто крепится на раме. Требования к защитным оболочкам таких контроллеров не предъявляются, поскольку контроллеры встраиваются в общий корпус оборудования и являются неотъемлемой частью этого оборудования.

Контроллеры, размещаемые в **общий** конструктив

Такие контроллеры характеризуются тем, что все модули – процессорный, коммуникационные, модули ввода-вывода – размещаются в одном конструктиве. В таких контроллерах, как правило, предусматривается

некая «материнская» плата с разъёмами, в которые вставляются все модули контроллера. Конструктивы таких контроллеров бывают как оригинальными, разрабатываемыми производителями, так и стандартизированными.

Контроллеры модульного типа

Контроллеры модульного типа не используют общего конструктива. Каждый модуль таких контроллеров, будь то процессорный модуль или модуль ввода-вывода, имеет собственный корпус. Так как защитную оболочку для каждого модуля сделать проще, чем для всего контроллера, то именно этот тип контроллеров чаще всего выпускают для жёстких условий эксплуатации в исполнениях IP 67 и выше. Контроллеры модульного типа очень часто выпускают в корпусе для монтажа на рейку DIN NS 35/7,5. Можно выделить две разновидности контроллеров: с внутренней межмодульной шиной и с внешней шиной. Модули контроллеров с внутренней межмодульной шиной на боковых поверхностях имеют контакты для подключения соседних модулей. А модули контроллеров с внешней шиной, как правило, используют для связи между модулями какую-нибудь скоростную полевую шину, например CAN.

2.2 Характерные черты и сферы применения контроллеров

Потребность в применении программируемых логических контроллеров (ПЛК) обозначилась в 60–х годах прошлого века. Для многих технических задач применяемые средства автоматизации строились преимущественно на релейно–контактных элементах и за значительный период своего использования обнаружили целый ряд присущих им недостатков:

- для разработки, обслуживания и ремонта таких систем требовались значительные кадровые и экономические ресурсы, так как

каждая отдельная схема создавалась под конкретную, и только под неё, задачу;

- переналадка схемы на решение другой задачи была невозможна без полной или кардинальной разборки её – и, если нужно, с возможностью повторного использования компонентов – это трудоёмко и неудобно;
- затруднительно объединение в единую структуру фрагментов системы, территориально удалённых друг от друга;
- практически невозможно построить схему на реле, выдержав её в минимальных габаритах.

Только с появлением ПЛК, построенных на микропроцессорах, удалось сосредоточить в конструктивно очень компактном модуле сотни и даже тысячи «релейных» элементов, счётчиков, таймеров, пусть даже не существующих физически, а программно воспроизводимых. Это позволило создать гибко переналаживаемую структуру, способную выполнить любую из очень широкого круга задач.

Возможности программируемых логических контроллеров делают их практически незаменимыми для автоматизации насосных станций, компрессорных установок, котельных, конвейеров, норий, для управления технологическими процессами в комплексе с датчиками самого различного вида, приводными устройствами, клапанами, задвижками и т.д. по схеме взаимодействия с объектом, изображенной на рисунке 2.2.

Программируемые контроллеры находят применение в различных отраслях промышленности.

Черная и цветная металлургия. Программируемые контроллеры в этих отраслях применяются для управления транспортными операциями на коксовых батареях, загрузке доменных печей, для автоматизации литейных цехов. Их используют также для решения задач, связанных с анализом газов и с контролем качества.

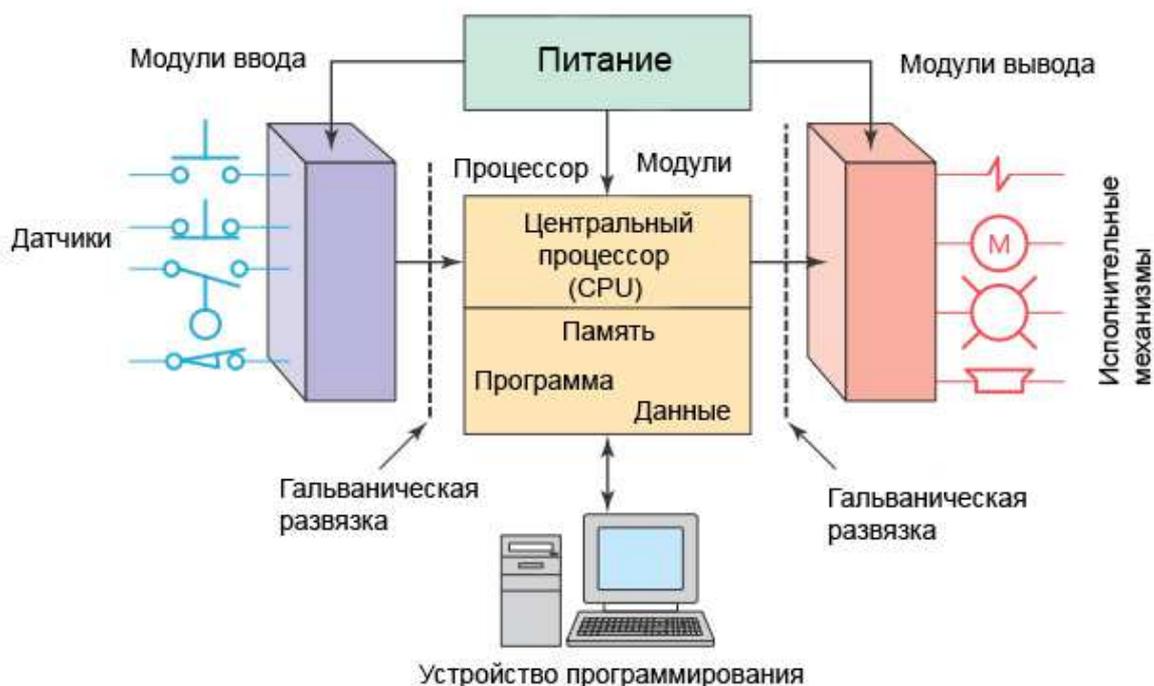


Рисунок 2.2 – Схема взаимодействия ПЛК с объектом управления

Металлообработка и автомобильная промышленность. Это те отрасли, где ПЛК нашли очень широкое применение. Их можно встретить на автоматических линиях и сборочных конвейерах, на стендах для испытания двигателей, а также на прессах, токарных автоматах, шлифовальных и агрегатных станках, сварочных установках, автоматических станках для резки.

Химическая промышленность. В настоящее время ПЛК используются для управления технологическими установками, устройствами дозирования и смешивания продуктов, очистки отходов химического производства, а также на установках по переработке пластмасс и агрегатах в производстве резины.

Нефтедобыча. Кроме областей применения, аналогичных предыдущей отрасли, ПЛК используется на перекачивающих и распределительных станциях, для управления работой и наблюдения за магистральными трубопроводами.

Транспортные и погрузочно-разгрузочные операции. Программируемые контроллеры используются при сортировке посылок, почтовых отправлений, механизированном управлении складскими операциями, упаковке, конвейерной пересылке, комплектовании изделий на поддонах, в лифтовом хозяйстве, грузоподъемных механизмах и др.

Другие области применения. Все случаи использования ПЛК перечислить невозможно. В текстильной промышленности они могут применяться для управления операциями автоматического раскроя тканей и контроля нитей, на транспортных конвейерах. В стекольной промышленности, в производстве хрусталя ПЛК управляют операциями отрезки и упаковки. Устройства логического управления используются при решении задач, связанных с охраной (зданий, заводов) и обеспечении безопасности (ядерная энергетика).

2.3 Промышленные контроллеры автоматизации

В 2001 был предложен новый термин для обозначения появившегося класса программируемых устройств для автоматизации – программируемые контроллеры автоматизации (РАС). Некоторые поставщики не признают данный термин, удовлетворяясь тем, что приписывают функциональные возможности, характерные для РАС, более современным программируемым логическим контроллерам (ПЛК).

Инженеры, занимающиеся автоматизацией, всегда ищут новые технологии для рационального и эффективного решения проблем. В круг проблем и задач систем промышленной автоматизации входят такие вопросы, как технологические процессы, логическое управление, ПИД-регулирование, управление перемещением, системы технического зрения, техническое обслуживание, визуализация процесса, модель человеко-машинного интерфейса (HMI) и интеграция с верхними уровнями, включая системы планирования ресурсов предприятия (ERP).

К устройствам, используемым для решения различных задач, относятся ПЛК, предназначенные для логического управления, аналоговые/микропроцессорные блоки, обеспечивающие ПИД-регулирование, устройства управления непрерывными процессами (температура, расход); простые сервоприводы для управления перемещением, профили автоматического управления, линейная/круговая интерполяция для ЧПУ, текстовые панели и программное обеспечение SCADA для решения задач визуализации и операторских интерфейсов.

РАС, которые появились в 2001/2002 гг., могут осуществлять управление многими из перечисленных выше устройств. Они являются единственным решением проблемы постоянно возрастающих потребностей инженеров по автоматизации. Программируемые контроллеры автоматизации предлагают открытые промышленные стандарты, расширенную функциональность, общую платформу разработки и дополнительные возможности.

ПЛК, несмотря на свою надежность, могут иметь ограниченные функциональные возможности. Если ПК с платами ввода/вывода обеспечивают функциональность, гибкость, вычислительную мощность и большой объем памяти (в общем случае с надежностью ниже промышленного уровня), то такие ПК соответствуют предъявляемым техническим требованиям. Не все ПК предназначены для промышленного применения, что является одной из причин появления РАС, которые позволяют соединить прочность ПЛК с функциональностью ПК. Программируемые контроллеры автоматизации представляют собой фактически персональные компьютеры в промышленном исполнении, характерном для ПЛК.

3 Устройства коммутации

Это специальные технические устройства, предназначенные для дистанционного обеспечения или прерывания подачи тока в одну или несколько электрических цепей, по слаботочному или низковольтному сигналу.

3.1 Электромагнитное реле

Реле – называется электрическое устройство, которое предназначается для осуществления коммутации различных участков электрических схем при изменении электрических или неэлектрических входных воздействий.

Электромагнитные реле подразделяются на реле переменного и постоянного тока. Последние, в свою очередь, подразделяются на поляризованные (реагируют на полярность управляющего сигнала) и нейтральные (в одинаковой степени реагируют на протекающий по его обмотке постоянный ток любой полярности).

Электромагнитные поляризованные устройства способны срабатывать в зависимости от полярности управляющего сигнала.

Принцип работы (рисунок 3.1) электромагнитных реле основан на применении электромагнитных сил, которые возникают в металлическом сердечнике во время прохождения электрического тока по виткам его катушки. Все детали будущего реле необходимо смонтировать на основание и закрыть крышкой, после чего над сердечником электромагнита устанавливается пластина (подвижный якорь), к которой крепятся от одного до нескольких контактов. Напротив закрепленных контактов устанавливают парные им неподвижные контакты.

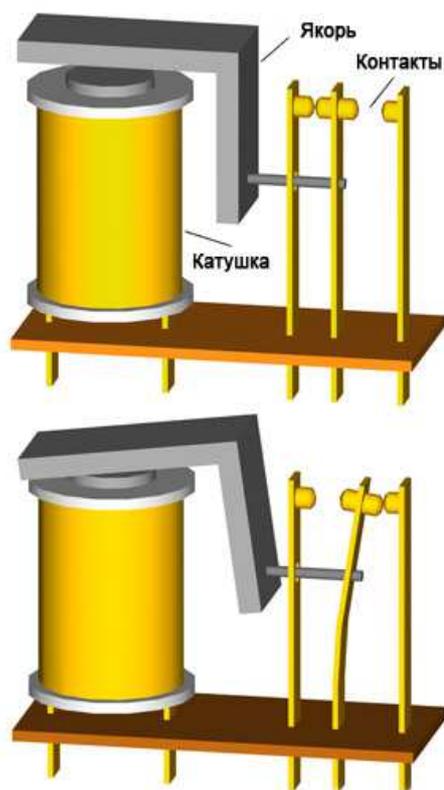


Рисунок 3.1 – Срабатывание реле

Поддерживать якорь в исходном положении помогает закрепленная пружина. Во время подачи напряжения на электромагнит якорь начинает притягиваться, преодолевая сопротивление пружины, при этом, в зависимости от конструкции имеющегося реле, происходит размыкание или замыкание контактов. Если отключить напряжение – благодаря пружине якорь вернется в исходное положение. Иные модели реле могут содержать в себе электронные элементы. Примерами таких реле могут послужить резистор, который подключается к обмотке катушки, чтобы реле более четко срабатывало, и конденсатор, расположенный параллельно контактам, дабы снизить вероятность появления искр и помех.

У электромагнитного реле имеется ряд преимуществ, недоступных полупроводниковым конкурентам:

- Возможность коммутации нагрузок общей мощностью не более 4 кВт в то время когда объем реле не превышает 10 см³;

- Проявление устойчивости к импульсам перенапряжения и способным оказать разрушительное воздействие помехам, возникающим во время разряда молнии или по причине протекания коммутационных процессов в высоковольтном оборудовании;
- Наличие исключительной электрической изоляции, проложенной между катушкой (управляющей цепью) и группой контактов (требования последнего стандарта – 5 кВ) – недоступная мечта для большей части полупроводниковых ключей;
- Малый уровень выделения тепла замкнутых контактов вследствие малого падения напряжения: во время коммутации тока 10 А малогабаритным реле суммарно рассеивается по катушке и контактам не более 0,5 Вт, при учете что симисторным реле отдается в атмосферу не менее 15 Вт, в результате чего приходится решать вопрос по интенсивному охлаждению, а попутно усугубляется проблема парникового эффекта на нашей планете;
- В сравнении с полупроводниковыми ключами электромагнитные реле имеют более низкую стоимость.
- Кроме достоинств электромагнитные электромеханические реле имеют и свои недостатки: невысокая скорость работы, ограниченность электрического и механического ресурса, возникновение радиопомех во время замыкания и размыкания контактов, и последнее, но наиболее неприятное свойство – возникновение серьезных проблем во время коммутации высоковольтных и индуктивных нагрузок на постоянном токе.

Как правило, электромагнитные реле применяются при коммутации нагрузок при переменном токе с напряжением 220В или при постоянном токе в диапазоне напряжений 5 – 24В и токами коммутации 10 – 16 А. Стандартными нагрузками для мощных реле являются – лампы накаливания, нагреватели, обогреватели, электромагниты, маломощные электро-

двигатели (к примеру, сервоприводы и вентиляторы), иные активные, индуктивные и емкостные потребители электрической энергии с диапазоном мощностей 1 Вт – 3 кВт.

Рабочее напряжение и сила тока в катушке реле не должны превышать предельно допустимых значений, поскольку уменьшение этих значений значительно снизит надежность контактирования, а их увеличение приведет к перегреву катушки, тем самым снизив надежность реле при предельно допустимых значения положительной температуры. Крайне нежелательно даже кратковременное воздействие повышенного напряжения, поскольку при этом возникают в деталях магнитопровода и в контактных группах механические перенапряжения, а электрическое перенапряжение обмотки катушки может привести к пробое изоляции во время размыкания цепи.

Во время выбора режима работы реле стоит учитывать характер воздействующих нагрузок, род и значение коммутируемого тока, частоту коммутации.

Во время коммутации индуктивных и активных нагрузок самым тяжелым является процесс размыкания цепи, поскольку образующийся дуговой разряд становится причиной основного износа контактов.

3.2 Контактторы (магнитные пускатели)

Контактторы – это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

Магнитный пускатель – низковольтное электромагнитное (электромеханическое) комбинированное устройство распределения и управления, предназначенное для пуска электродвигателя, обеспечения его непрерывной работы, отключения питания, защиты электродвигателя и подключенных цепей, и иногда для реверсирования направления его вращения.

Пускатель обычно представляет собой модифицированный контактор, он может быть укомплектован дополнительными устройствами таким как тепловое реле для аварийного отключения двигателя, дополнительной слаботочной контактной группой или группами, используемых в цепях управления и/или кнопкой пуска. Иногда пускатели снабжаются устройством аварийного отключения при выпадении (обрыве) одной из фаз трёхфазной сети питания трёхфазных электродвигателей.

Магнитные пускатели применяются в основном для пуска, останова и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей, однако, из-за своей неприхотливости они прекрасно работают в схемах дистанционного управления освещением, в схемах управления компрессорами, насосами, кран-балками, тепловыми печами, кондиционерами, ленточными конвейерами и т.д. Одним словом, у магнитного пускателя обширная область применения.

Классификация может осуществляться по нескольким признакам:

1. **Проходящему току.** Многие устройства предназначены для работы с исключительно постоянным или переменным током, но также есть комбинированные;
2. **По характеристикам локальной электрической цепи.** Контакторы нужно подбирать по силе тока и его напряжению. При этом существуют бытовые приборы с меньшими показателями и промышленные, у которых напряжение может достигать до 2000 вольт, а сила до 5000 ампер;
3. **По количеству контактов и полюсов.** Бывают двухполюсные, трёхполюсные и прочие устройства;
4. **Некоторые пускатели оснащены защелками,** чтобы электромагнитные контакторы могли устанавливаться на дин-рейку, а некоторые нет.

5. По роду тока цепи управления (включающей катушки) – постоянного, переменного, постоянного и переменного тока;
6. По номинальному напряжению включающей катушки: от 12 до 440 В постоянного тока, от 12 до 660 В переменного тока частотой 50 Гц, от 24 до 660 В переменного тока частотой 60 Гц;
7. По наличию вспомогательных контактов – с контактами, без контактов.

Контакторы также различаются по роду присоединения проводников главной цепи и цепи управления, способу монтажа, виду присоединения внешних проводников и т.п.

Конструкция электромагнитных контакторов

Контактор состоит из следующих основных узлов: главных контактов, дугогасительной системы, электромагнитной системы, вспомогательных контактов.



Рисунок 3.2 – Конструкция контактора

Главные контакты осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи. Они должны быть рассчитаны на длительное проведение номинального тока и на производство большого числа включений и отключений при большой их частоте. Нормальным считают положение контактов, когда втягивающая катушка контактора не обтекается током и освобождены все имеющиеся механические защелки. Главные контакты могут выполняться

рычажного и мостикового типа. Рычажные контакты предполагают поворотную подвижную систему, мостиковые – прямоходовую.

Дугогасительные камеры контакторов постоянного тока построены на принципе гашения электрической дуги поперечным магнитным полем в камерах с продольными щелями. Магнитное поле в подавляющем большинстве конструкций возбуждается последовательно включенной с контактами дугогасительной катушкой.

Дугогасительная система обеспечивает гашение электрической дуги, которая возникает при размыкании главных контактов. Способы гашения дуги и конструкции дугогасительных систем определяются родом тока главной цепи и режимом работы контактора. Контактторы переменного тока выполняются с дугогасительными камерами с деионной решеткой. При возникновении дуга движется на решетку, разбивается на ряд мелких дуг и в момент перехода тока через ноль гаснет.

Электромагнитная система контактора обеспечивает дистанционное управление контактором, т.е. включение и отключение. Конструкция системы определяется родом тока и цепи управления контактора и его кинематической схемой. Электромагнитная система состоит из сердечника, якоря, катушки и крепежных деталей.

Электромагнитная система контактора может рассчитываться на включение якоря и удержание его в замкнутом положении или только на включение якоря. Удержание же его в замкнутом положении в этом случае осуществляется защелкой.

Отключение контактора происходит после обесточивания катушки под действием отключающей пружины, или собственного веса подвижной системы, но чаще пружины.

Вспомогательные контакты. Производят переключения в цепях управления контактора, а также в цепях блокировки и сигнализации. Они рассчитаны на длительное проведение тока не более 20 А, и отключение

тока не более 5 А. Контакты выполняются как замыкающие, так и размыкающие, в подавляющем большинстве случаев мостикового типа.

Принцип работы прост: при подаче напряжения на катушку якорь притягивается к сердечнику, нормально-открытые контакты замыкаются, нормально-закрытые размыкаются. При отключении пускателя происходит обратная картина: под действием возвратных пружин подвижные части возвращаются в исходное положение, при этом главные контакты и нормально-открытые блок-контакты размыкаются, нормально-закрытые блок-контакты замыкаются.

Важными параметрами контактора являются **номинальные рабочие ток и напряжения.**

Номинальный ток контактора – это ток, который определяется условиями нагрева главной цепи при отсутствии включения или отключения контактора. Причем, контактор способен выдержать этот ток при замкнутых главных контактах в течение 8 часов, а превышение температуры различных его частей не должно быть больше допустимой величины. При повторно-кратковременном режиме работы аппарата часто пользуются понятием допустимого эквивалентного тока длительного режима.

Напряжение главной цепи контактора – наибольшее номинальное напряжение, для работы при котором предназначен контактор. Если номинальные ток и напряжения контактора определяют для него максимально-допустимые условия применения в длительном режиме работы, то номинальные рабочий ток и рабочее напряжение определяются данными условиями эксплуатации. Так, номинальный рабочий ток – ток, который определяет применение контактора в данных условиях, установленных предприятием-изготовителем в зависимости от номинального рабочего напряжения, номинального режима работы, категории применения, типоразмера и условий эксплуатации. А номинальное рабочее напряжение равно напряжению сети, в которой в данных условиях может работать контактор.

Контакторы должны выбираться по следующим основным техническим параметрам:

- 1) по назначению и области применения;
- 2) по категории применения;
- 3) по величине механической и коммутационной износостойкости;
- 4) по числу и исполнению главных и вспомогательных контактов;
- 5) по роду тока и величинам номинального напряжения и тока главной цепи;
- 6) по номинальному напряжению и потребляемой мощности включающих катушек;
- 7) по режиму работы;
- 8) по климатическому исполнению и категории размещения.

Контакторы постоянного тока предназначены для коммутации цепей постоянного тока и, как правило, приводятся в действие электромагнитом постоянного тока. Контакторы переменного тока предназначены для коммутации цепей переменного тока. Электромагниты этих цепей могут быть как переменного, так и постоянного тока.

Контакторы постоянного тока

В настоящее время применение контакторов постоянного тока и соответственно новые их разработки их поэтому сокращаются. Контакторы постоянного тока выпускаются в основном на напряжение 22 и 440 В., токи до 630 А., однополюсные и двухполюсные

Реверсивные контакторы (магнитные пускатели) представляют собой два обычных пускателя, укрепленных на общей основании (панели) и имеющем электрические соединения, обеспечивающие **электрическую блокировку** через нормально-замкнутые блокировочные контакты обоих пускателей, которая предотвращает включение одного магнитного пускателя при включенном другом.

Реверсивные пускатели могут также иметь **механическую блокировку**, которая располагается под основание (панелью) пускателя и также служит для предотвращения одновременного включения двух магнитных пускателей. При электрической блокировке через нормально-замкнутые контакты самого пускателя (что предусмотрено его внутренними соединениями) реверсивные пускатели надежно работают и без механической блокировки.



Рисунок 3.3 – Реверсивный контактор

Реверс электродвигателя при помощи реверсивного контактора осуществляется через предварительную остановку, т.е. по схеме: отключение вращающегося двигателя – полная остановка – включение на обратное вращения. В этом случае, пускатель может управлять электродвигателем соответствующей мощности.

В случае применения реверсирования или торможения электродвигателя противовключением его мощность должна быть выбрана ниже в 1,5 – 2 раза максимальной коммутационной мощности контактора, что определяется состоянием контактов, т.е. их износоустойчивостью, при работе в применяемом режиме. В этом режиме контактор должен работать без механической блокировки. При этом электрическая блокировка через нормально-замкнутые контакты магнитного пускателя обязательна.

Контакты защищенного и пылебрызгонепроницаемого исполнения имеют оболочку. **Оболочка пускателя пылебрызгонепроницаемого исполнения** имеет специальные резиновые уплотнения для предотвращения попадания внутрь контактора пыли и водяных брызг. Входные отверстия в оболочку закрыты специальными пробками с применением уплотнений.

Ряд контакторов комплектуется **тепловыми реле**, которые осуществляют тепловую защиту электродвигателя от перегрузок недопустимой продолжительности. Регулировка **тока уставки реле** – плавная и производится регулятором уставки путем поворота его отверткой. В случае невозможности осуществления тепловой защиты в повторно-кратковременном режиме работы следует применять магнитные пускатели без теплового реле. **От коротких замыканий тепловые реле не защищают.**



Рисунок 3.4 – Тепловое реле

3.3 Твердотельные реле

Твердотельные реле являются обособленным видом модульных полупроводниковых устройств. Основной задачей твердотельных или как их еще называют полупроводниковых реле, является – включение цепи управления токами большой нагрузочной величины с помощью симисторов, транзисторов и тиристоров.

Принцип работы твердотельных реле следующий: управляющий сигнал подается на светодиод, который при этом передает сигнал далее – на фотодиодную матрицу, при этом обеспечивается гальваническая развязка коммутируемых и управляющих цепей. Напряжение, которое при этом создается, управляется силовым ключом.



Рисунок 3.5 – Классификация твердотельных реле

Контроль перехода через ноль – применяется для коммутации резистивных (электронагреватели), слабоиндуктивных (катушки соленоидов) и емкостных (фильтры, подавляющие и сглаживающие помехи, в которых имеются конденсаторы) нагрузок;

Мгновенное (случайное) включение – коммутация резистивных и индуктивных нагрузок, в случае, когда возникает необходимость в мгновенном срабатывании;

Фазовое управление – изменяет значение выходного напряжения на нагрузке и занимается регулированием нагревательных элементов и ламп накаливания.

Внутри корпуса твердотельного (полупроводникового) реле имеется схема датчика, реагирующего на сигнал управления, а также силовая часть – полупроводниковая электроника на стороне коммутируемой цепи высокой мощности.

Такие реле применяют в цепях постоянного (рисунок 3.7) и переменного тока (рисунок 3.6), где они выполняют те же функции, что раньше выполняли механические электромагнитные реле и контакторы, только теперь задача решается без подвижных частей в цепи коммутации. В итоге, благодаря мощным тиристорам, симисторам и транзисторам, интегрированным в корпуса данных реле, появилась возможность коммутировать токи до сотен ампер не прибегая к механическим узлам.

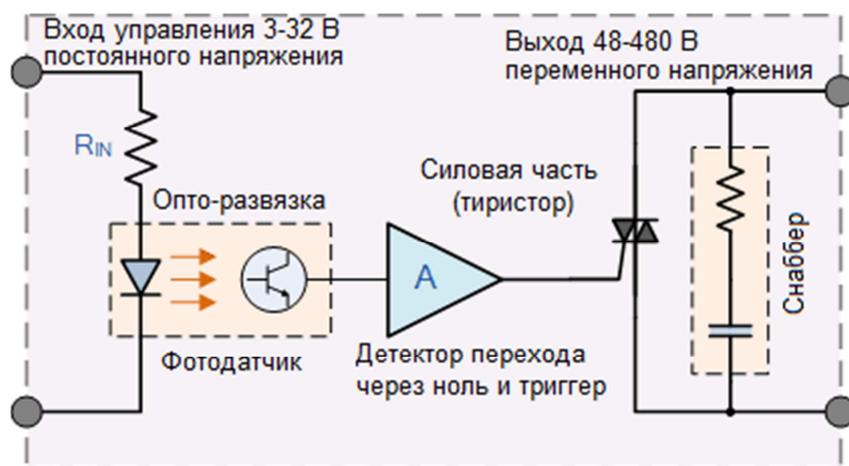


Рисунок 3.6 – Электрическая схема твердотельного реле для коммутации переменного напряжения

По сравнению с электромеханическими реле, полупроводниковые реле обладают более высокой скоростью безопасного переключения порядка сотни микросекунд, при этом цепь управления и силовая цепь полностью гальванически изолированы друг от друга (как правило, используется оптронная развязка).

Твердотельные реле способны кратковременно выдержать перегрузку на стороне коммутации и сохранить работоспособность, чем не могут похвастаться электромеханические предки. При этом твердотельное реле работает бесшумно, имеет компактные габариты, контакты здесь не окис-

ляются (т. к. контактов как таковых нет), отсутствует искрение, устройству не страшны ни пыль, ни вибрация.

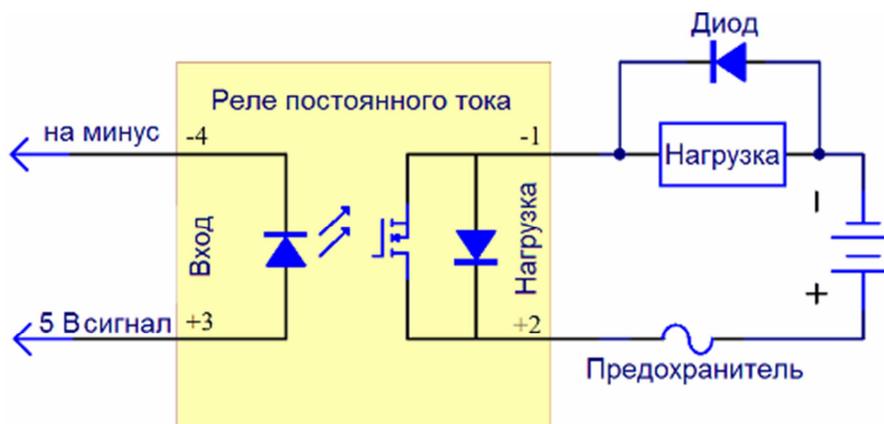


Рисунок 3.7 – Электрическая схема твердотельного реле для коммутации постоянного напряжения

В качестве ключей в реле переменного тока служат тиристоры или симисторы, а в реле постоянного тока – полевые или IGBT-транзисторы. Питание к управляющей цепи подается непосредственно от источника управляющего сигнала, причем ток управления не превышает единиц миллиампер, а коммутируемый ток может составлять десятки и сотни ампер.



Рисунок 3.8 – Виды твердотельных реле

Трехфазные твердотельные реле бывают без реверса и с реверсом. Трехфазные реле с реверсом имеют два входа управления, причем на выходе одна из фаз может вообще не менять своего положения.

Выбирая для своих нужд твердотельное реле, не стоит никогда забывать о том, что при коммутации происходит нагревание корпуса реле, ввиду потерь электрической энергии на силовых элементах управления. При этом величина температуры, на которую нагревается корпус твердотельного реле, обратно пропорциональна величине тока, подлежащего регулированию (чем выше температура нагрева корпуса, тем ниже значение тока, который подлежит коммутации). При температуре корпуса твердотельного реле примерно 40 градусов Цельсия – все в порядке, но если температура перешагнет показатель в 60 градусов Цельсия, то величина тока, который можно регулировать будет заметно ниже. При этом может случиться, что нагрузка будет отключена не полностью, а само реле перейдет в режим «неуправления» и может попросту сгореть. Поэтому, если вам необходимо обеспечить нормальную работу твердотельного реле в условиях, в которых коммутации подлежат токи более 5 ампер, то необходимо предусмотреть возможность установки системы охлаждения, а запас номинального тока для нормального функционирования реле должен быть как минимум двух или четырехкратным.

При регулировании асинхронных двигателей, запас по току необходимо увеличить до 10-кратного значения. Стоит также обратить внимание на такой нюанс, что уровень ударного тока определяет перегрузку, которую способно выдержать твердотельное реле. К примеру, твердотельное реле постоянного тока могут выдерживать трехкратное увеличение максимальной нагрузки, а тиристорные твердотельные реле – десятикратное.

Скачок тока при управлении мощной нагрузкой активного характера устраняется применением реле с переключением в нуле тока, такие реле снабжены дополнительным блоком управления триггерной цепью, предот-

вращающей пусковую перегрузку. Но при управлении нагрузкой емкостного или индуктивного характера, следует обеспечить значительный запас по току.

Для устойчивости к импульсным помехам, в твердотельном реле параллельно выходной цепи устанавливается RC-цепочка, однако для более надежной защиты требуется подключить внешние варисторы, параллельно каждой из фаз такого реле.

По сравнению с громоздкими механическими магнитными пускателями, компактные полупроводниковые реле работают бесшумно и не изнашиваются, не нужно периодически чистить контакты, а для мощных нагрузок достаточно обеспечить корпусу реле хорошее охлаждение, в некоторых случаях спасет радиатор, крепление для него предусмотрено.

Преимущества твердотельных реле:

- Отсутствие электромагнитных помех при включении цепи;
- Высокий уровень быстродействия;
- Контакты не шумят и не дребезжат;
- Гарантированность срабатываний на протяжении большого промежутка времени;
- Возможность применения во взрывоопасных условиях, по причине отсутствия дугового разряда;
- Экономность электропотребления;
- Входные и коммутируемые цепи надежно заизолированы друг от друга;
- Стойкость к нагрузкам ударного и вибрационного характера;
- Компактность герметичного корпуса.

Основные сферы применения твердотельных реле:

- Термоконтроль промышленного нагрева;
- Управление электродвигателями и трансформаторами;

- Бесперебойность электропитания;
- Освещение различных объектов.

3.4 Устройства плавного пуска

При прямом пуске электроприводов большой мощности возникают значительные просадки напряжений, что может приводить даже к аварийным отключениям подстанций. В машинах средней и малой мощности прямой пуск может приводить к повреждениям различных механических устройств системы в результате резкого скачка момента двигателя. Более того, прямой пуск не очень благоприятен и для самого двигателя, что снижает срок его службы.

Для снижения влияния пускового тока на сеть и механические части систем применяют устройства для ограничения величины пускового тока. Такими средствами для асинхронных машин с КЗ ротором могут быть добавочные сопротивления (активные или индуктивные) в цепи статора или же более современное устройство плавного пуска или как его еще называют – тиристорный регулятор напряжения (устройство плавного пуска, софтстартер).



Рисунок 3.9 – Внешний вид устройства плавного пуска

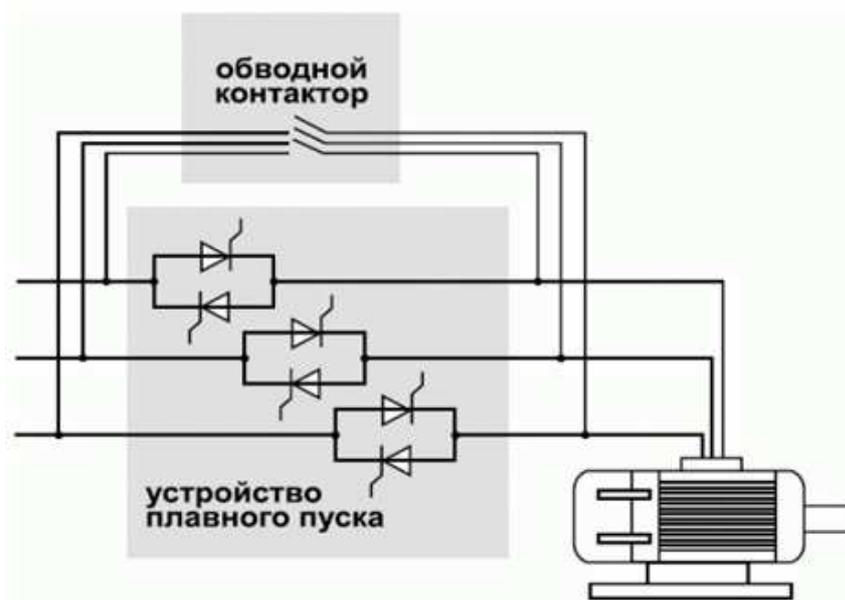


Рисунок 3.10 – Структура устройства плавного пуска

В устройствах плавного пуска используются тиристоры (рисунок 3.10), включенные встречно-параллельно в каждую фазу асинхронной машины.

Изменением угла открытия тиристоров (рисунок 3.11) осуществляется регулирования выходного напряжения УПП. Чем больше угол открытия тиристора – тем больше величина выходного напряжения, питающего электродвигатель.



Рисунок 3.11 - Формирование выходного напряжения УПП

Принимая во внимание то, что величина крутящего момента асинхронного электродвигателя пропорциональна квадрату напряжения, то снижение напряжения снижает величину вращающего момента вала двигателя. При помощи такого метода пусковые токи электродвигателя снижаются до величины $2...4 I_{НОМ}$, при этом время разгона несколько увеличивается.

После разгона электродвигателя до нужной скорости угол открывания тиристора переводят в максимальный и машина работает в нормальном режиме. Но при таком режиме работы происходит нагрев силовых ключей, что требует установки более мощных охладителей (радиаторов) и реализации принудительной системы охлаждения. Это делает устройство плавного пуска УПП более габаритным и дорогостоящим. Для решения этой проблемы придумали следующее решение – после пуска шунтируют силовые ключи контактором. Это позволяет выводить силовые вентили с работы в установившихся режимах работы системы электропривода, что устраняет проблемы с вентиляцией.

Для еще большей простоты схемы управление напряжением осуществляют по двум фазам.

Устройства плавного пуска можно разделить на следующие **основные группы:**

Регуляторы пускового момента. Данный тип устройств осуществляет контроль только одной фазы трехфазного двигателя. Контроль одной фазой дает возможность снижать пусковой момент электродвигателя двигателя, но при этом снижение пускового тока происходит незначительное. Устройства данного типа не могут применяться для уменьшения токовых нагрузок в период пуска, а также для пуска высокоинерционных нагрузок. Однако они нашли применение в системах с однофазными асинхронными электродвигателями.

Регуляторы напряжения без обратной связи. Данный тип устройств работает по следующему принципу: пользователь задает величину начального напряжения и время его нарастания до номинальной величины и наоборот. Регуляторы напряжения без обратной связи могут осуществлять контроль как двух так и трех фаз электродвигателя. Такие регуляторы обеспечивают снижение пускового тока снижением напряжения в процессе пуска.

Регуляторы напряжения с обратной связью. Данный тип УПП представляет собой более совершенную модель описанного выше устройства. Наличие обратной связи позволяет управлять процессом увеличения напряжения, добиваясь оптимального режима пуска электродвигателя. Данные о токовой нагрузке позволяет также организовать комплексную защиту электродвигателя от перегрузки, перекоса фаз и т.п.

Регуляторы тока с обратной связью. Регуляторы тока с обратной связью представляют собой наиболее совершенные устройства плавного пуска. Принцип работы основан на прямом регулировании тока, а не напряжения. Это позволяет добиться наиболее точное управление пуском электродвигателя, а также облегчает настройку и программирование УПП.

Устройства плавного пуска обладают следующими **достоинствами**:

- Снижают токовые броски в статоре машины в момент пуска;
- Ведут полный контроль перегрузок электромашины;
- Устранение рывков в электроприводе, что обеспечивает более длительный срок эксплуатации оборудования;
- В трубопроводах и при запусках насосов устраняют гидравлические удары;
- При возникновении аварийных ситуаций такое устройство вполне может обеспечить предельное быстроедействие;

Недостатки:

- В отличие от преобразователя частоты устройство плавного пуска не может регулировать скорость асинхронной машины в установившихся режимах (применим только для пуска и торможения);
- Не осуществляет реверс электродвигателя. Для осуществления реверса необходимо дополнительно устанавливать реверсоры;
- Генерация высших гармоник, что неблагоприятно сказывается как на электродвигателе, так и на сети;
- Относительно небольшой пусковой момент.

3.5 Преобразователи частоты

Частотный преобразователь напряжения (ПЧ) – это электрический прибор, служащий для преобразования напряжения и частоты переменного тока в напряжение с заданной амплитудой и частотой. Он также способен преобразовывать постоянное напряжение в переменное с заданными характеристиками.

Для более наглядного понимания принципа работы ПЧ рассмотрим принципиальную схему частотного преобразователя на рисунке 3.12

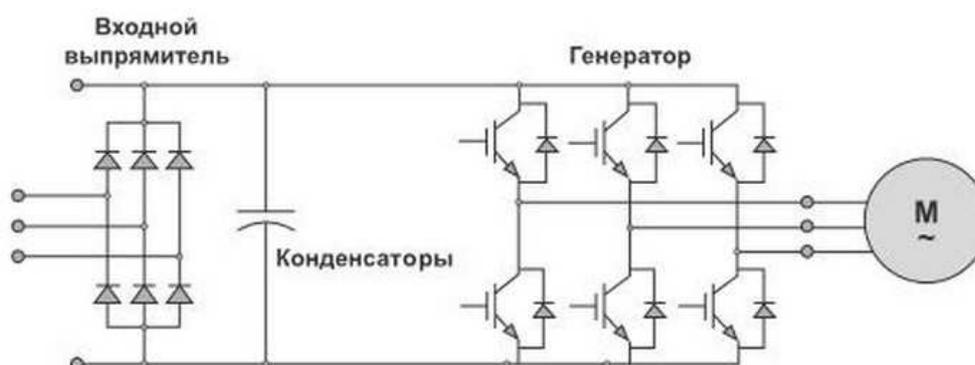


Рисунок 3.12 – Принципиальная схема низковольтного преобразователя частоты

В основном в ПЧ применяется метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Принцип данного метода заключается в попеременном включении и выключении ключей генератора, формируя импульсы различной

длительности (рис. 3.13). Синусоидальный сигнал получается за счет индуктивности двигателя или применения дополнительного сглаживающего фильтра.

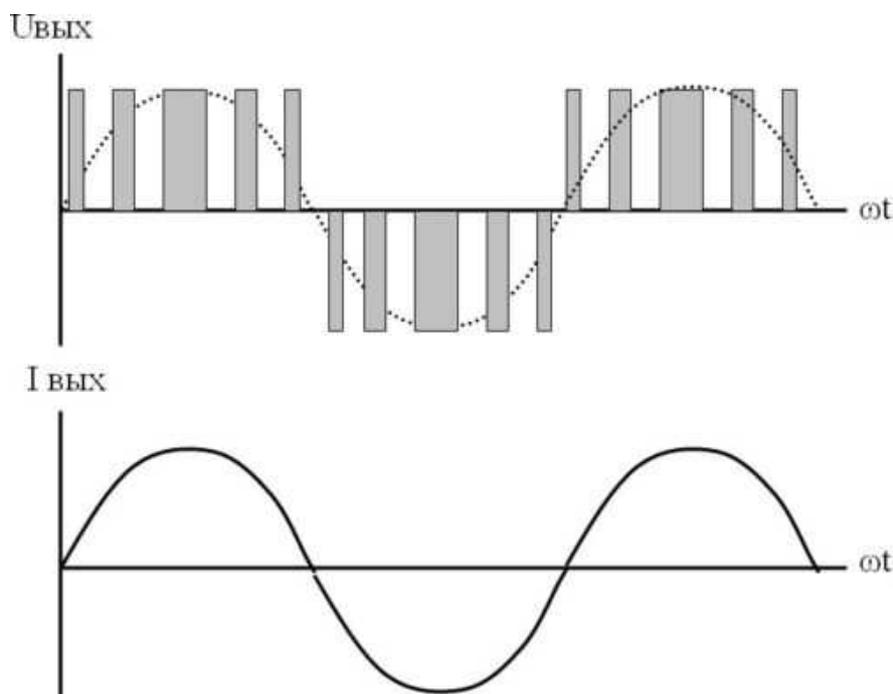


Рисунок 3.13 – Выходной сигнал преобразователя частоты

Таким образом, управляя процессом включения-выключения инверторных ключей, мы можем формировать выходной сигнал нужной частоты, а следовательно, управлять технологическими параметрами механизма путем изменения частоты вращения привода. В настоящее время наибольшее распространение получили преобразователи частоты со скалярным и векторным управлением.

3.5.1 Скалярный метод

Асинхронный электропривод со скалярным управлением скоростью (т.е. по вольт-частотной характеристике) так и остаётся по сегодняшнее время самым распространенным. В основе метода лежит то, что скорость двигателя является функцией выходной частоты.

Скалярное управление двигателями – оптимальный выбор для случаев, когда нет переменной нагрузки, и в хорошей динамике нет также по-

требности. Для работы «скалярника» не требуются какие-либо датчики. При использовании рассматриваемого метода, нет необходимости в дорогостоящем цифровом процессоре, как в случае с векторным управлением.

Метод часто применяется для автоуправления насосными, вентиляторными, компрессорными и иными агрегатами. Здесь требуется, чтобы поддерживалась или скорость вращения вала движка с применением датчика, или иной заданный показатель (к примеру, температура жидкости, контролируемая по соответствующему прибору слежения).

При скалярном управлении частотно-амплитудное изменение напряжения питания определяется по формуле $U/f_n = \text{const}$. Это позволяет обеспечить постоянный магнитный поток в двигателе. Способ достаточно простой, легко реализуется, но не без некоторых существенных недостатков:

- не представляется возможным одновременное регулирование моментом и скоростью, поэтому выбирается та величина, которая с технологической точки зрения самая значимая;
- узкий диапазон скоростного регулирования и низкий момент на малых скоростях;
- плохая работа с динамически изменяющейся нагрузкой.

3.5.2 Векторный метод

Он возник в процессе усовершенствования, и применяется при требовании реализовать максимальное быстродействие, регулирование в широком скоростном диапазоне и управляемость момента на валу.

В новейших моделях электрических приводов в систему управления (СУ) по этому типу внедряется математическая модель двигателя, которая способна рассчитать момент движка и скорость вращения вала. При этом требуется лишь установка датчиков тока фаз статора.

Частотные преобразователи с векторным управлением сегодня обладают достаточным числом достоинств:

- высокая точность;
- без рывков, плавное вращение АД;
- широкий диапазон регулирования;
- быстрое реагирование на изменение нагрузки;
- обеспечение рабочего режима двигателя, при котором уменьшаются потери на нагрев и намагничивание, а это ведёт к увеличению КПД.

Плюсы, безусловно, очевидны, но метод векторного управления не лишён и недостатков, таких, как вычислительная многосложность и потребность в знании технических показателей АД. Помимо этого, наблюдаются большие, чем у «скалярника», амплитуды скоростных колебаний при постоянной нагрузке.

3.5.3 Область применения преобразователей частоты

Аппаратура широко применяется в промышленных и устройствах, где необходимо изменение скорости вращения двигателя, мероприятия по борьбе с амплитудными пусковыми токами или корректирование в регулирующих деталях (комбинации элементарных преобразователей с использованием обратной связи) и т. п.

Рассмотрим их применение по мере востребованности.

Насосы. Поскольку потребляется мощность, пропорциональна, как известно, кубу скорости вращения, то использование преобразователя частоты позволяет сэкономить потребление электроэнергии до 60 %, в сравнении с методом регулировки мощности посредством заслонок на трубе. Годовое использование частотного преобразователя окупает все затраты на его приобретение. Аппараты позволяют также:

- снижать тепловые и водные потери на 5 – 10 %,

- уменьшать количество аварий на трубопроводах;
- обеспечить полноценную защиту электрического двигателя.

Дополнительным преимуществом является решение проблемы с гидроударами: работающие ПЧ сглаживают пуск/останов насоса. На модернизированных насосных станциях налажены системы, позволяющие управлять насосами групповым методом без необходимости в установке контроллера.

Вентиляторы. Все, вышесказанное для насосов, в полной мере имеет отношение и к вентиляторам. Что касается экономии потребления электричества, она здесь еще более значительна, так как в целях прямого пуска больших вентиляторов зачастую используются более мощные двигательные агрегаты. Усовершенствование технологических установок приводит к повышению рентабельности производства. Экономичность достигается и за счёт уменьшения потерь холостого хода.

Транспортеры. Адаптация скорости перемещения к скорости технологической системы, не являющейся постоянной величиной. Плавный запуск значительно увеличивает ресурс механической части системы, так как ударные нагрузки наносят вред техническому оборудованию.

Трудно представить без векторного управления с помощью преобразователей лифтовое и другое подъемно-транспортное оборудование со значительными перегрузками при пуске/остановке.

Использование ПЧ с обратной связью позволяет обеспечить точность скорости вращения, что станет залогом улучшения качества технологического процесса и решения поставленных задач. Известные производители имеют ряд моделей, ориентированных на рабочий режим в замкнутой системе.

4 Исполнительные механизмы

Устройство автоматической системы управления, воздействующее на технологический процесс в соответствии с полученным от управляющего устройства командным сигналом, называется исполнительным устройством. Выходным параметром исполнительного устройства (ИУ) является расход вещества или энергии, поступающих в объект управления или выходящих из него, а входным – командный сигнал управляющего устройства.

Исполнительное устройство содержит, как правило, несколько функциональных блоков: усилитель мощности; исполнительный механизм; регулирующий орган; датчик положения; блок обратной связи; блок сигнализации крайних положений; блок ручного управления

По виду действия ИУ делятся на нормально открытые (НО) и нормально закрытые (НЗ). При прекращении подвода энергии, создающей перестановочные усилия, проходное сечение нормально открытого ИУ полностью открывается, нормально закрытого ИУ – полностью перекрывается.

Исполнительные устройства типа НО целесообразно применять, когда при аварийном прекращении подачи воздуха в исполнительный механизм безопасно иметь открытую технологическую линию (трубопровод). В противном случае применяют исполнительные устройства типа НЗ.

Исполнительный механизм (ИМ) предназначен для усиления мощности командного сигнала, получаемого от регулятора или ПЛК, и воздействия на регулирующий орган.

По виду используемой энергии ИМ делят на электрические, пневматические, гидравлические.

При выборе исполнительного механизма учитывают следующие требования:

- ИМ должен развивать перестановочное усилие, достаточное для преодоления реакции рабочих частей регулирующих органов;
- ИМ должен обладать детектирующим действием, т.е. передавать воздействие только от исполнительного устройства к объекту регулирования;
- значения основных величин, характеризующих статические и динамические свойства ИМ (порог чувствительности, гистерезис, люфт и т. д.), должны быть соизмеримы со значениями аналогичных величин других элементов системы управления (регулирования);
- в конструкции ИМ желательно иметь дополнительные устройства, такие как ручной привод местного управления регулирующим органом и т.д.

4.1 Пневматические исполнительные механизмы

Пневматические исполнительные механизмы просты, надежны и удобны в эксплуатации. Они взрыво- и пожаробезопасны, поэтому широко применяются в химической промышленности. Пневматические ИМ обладают высоким быстродействием и точностью позиционирования при умеренном перестановочном усилии и небольших габаритах.

Входным сигналом пневматических исполнительных механизмов является давление сжатого воздуха (0,02...0,1 МПа), соответствующее командному сигналу регулятора.

В зависимости от вида чувствительного элемента, воспринимающего энергию сжатого воздуха и преобразующего ее в перестановочное усилие выходного элемента, пневматические ИМ делятся на мембранные, поршневые и лопастные.

4.1.1 Мембранные исполнительные механизмы

Наибольшее распространение получили **мембранные** исполнительные механизмы (МИМ).

В зависимости от направления движения штока различают мембранные исполнительные механизмы прямого действия (при повышении давления в рабочей полости шток удаляется от плоскости заделки мембраны) и обратного действия (шток приближается).

Схема мембранного исполнительного механизма (МИМа) показана на рисунке 4.1. Перемещение выходного штока 2, соединенного с регулирующим органом, в одну сторону осуществляется силой, которая создается давлением P , в другую – усилием пружины 3. Сигнал P поступает в герметичную мембранную «головку», в которой находится мембрана из прорезиненной ткани толщиной 2-4 мм с жестким центром. Снизу на мембрану давит пружина 3. В мембранных исполнительных механизмах давление управляющего воздуха воздействует на мембрану 4, зажатую по периметру между крышками привода, и создает усилие, которое уравнивается пружиной 3. Таким образом, ход штока 2 привода пропорционален величине управляющего давления. Жесткость и предварительное сжатие пружины определяет диапазон усилий привода и номинальный ход.

Мембранные исполнительные механизмы классифицируют, по размерам мембранных «головок». МИМы поставляются обычно совместно с регулирующими органами – клапанами. Так как при снятии давления P мембрана всегда перемещается вверх, то в зависимости от конструкции регулирующего органа различают нормально открытые НО и нормально закрытые НЗ клапаны.

Статические характеристики большинства МИМов близки к линейным, однако они обладают зоной гистерезиса, составляющей 2–15% от наибольшего значения P . Эта величина зависит от усилий трения в сальни-

ке 5, от перепада давлений на регулирующем органе, от характеристик пружины и эффективной площади мембраны.

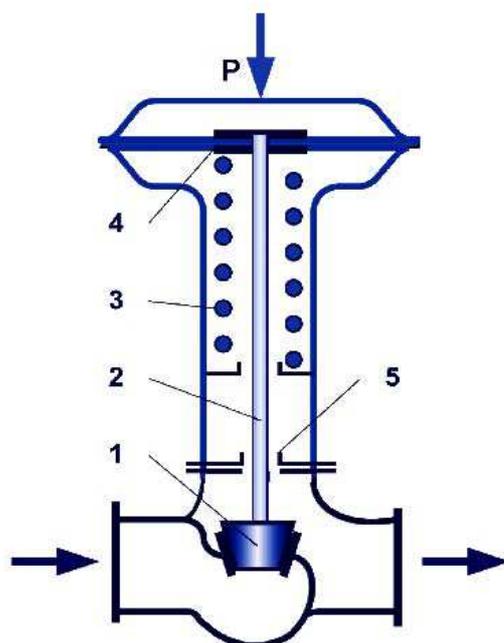


Рисунок 4.1 – Мембранный исполнительный механизм, установленный на регулирующем клапане:

1 - регулирующий орган; 2 - шток; 3 - пружина; 4 - мембрана; 5 - сальник

Для уменьшения зоны гистерезиса и улучшения динамических характеристик МИМов на исполнительный механизм устанавливают дополнительные усилители мощности, называемые позиционерами. Различают позиционеры, работающие по схеме компенсации перемещений и по схеме компенсации сил. В позиционерах обоих типов МИМ охватывается отрицательной обратной связью по положению штока, что исключает влияние на статические характеристики сил трения в сальнике, перепада давлений на регулирующем органе и т.п.

Одновременно с этим увеличивается расход воздуха, подаваемого в МИМ, и заметно улучшаются динамические характеристики последнего. Для сопряжения с электрическими сигналами систем управления применяют электропневматические позиционеры, которые кроме улучшения статических характеристик мембранных исполнительных механизмов,

обеспечивают преобразование электрического сигнала в импульс управляющего воздуха, подаваемого на МИМ.

4.1.2 Поршневые исполнительные механизмы

Поршневые ИМ отличаются большим конструктивным разнообразием и применяются в тех случаях, когда требуются большой ход штока (до 300 мм) и большие перестановочные усилия. В поршневой исполнительный механизм управляющий сигнал в виде давления сжатого воздуха подается в цилиндр и перемещает поршень, шток которого соединен с РО.

Для повышения точности и улучшения динамических характеристик поршневые приводы снабжают также позиционерами, а сами приводы в этом случае называют следящими. Схема поршневого пневматического привода представлена на рисунке 4.2.

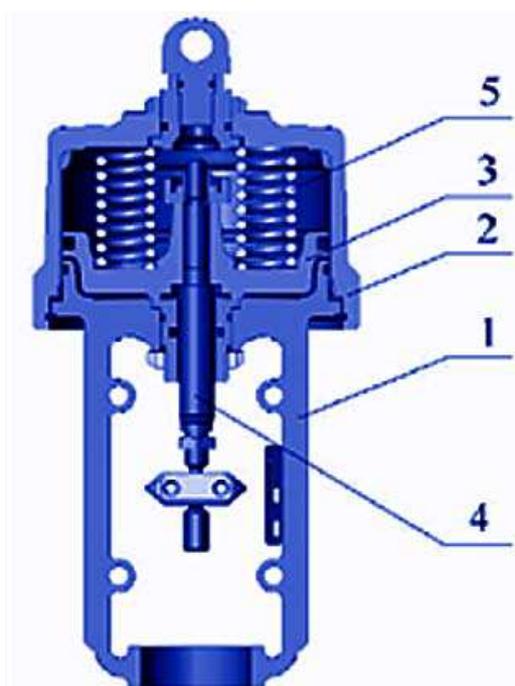


Рисунок 4.2 - Схематический разрез нормально закрытого поршневого пневматического привода

Механизм поршневого пневматического привода состоит из закрепленного на кронштейне 1 цилиндра 2 с размещенным внутри поршнем 3,

жестко соединенным со штоком привода 4, и нескольких пружин 5, ориентированных относительно поршня в зависимости от исполнения привода (нормально открытый НО или нормально закрытый НЗ). Внутренняя поверхность цилиндра имеет антифрикционное покрытие. Пневматический поршневой привод работает следующим образом.

Пневматический входной сигнал от управляющего устройства поступает в рабочую полость и воздействует на поршень. При этом пружины противодействуют усилию, создаваемому давлением сжатого воздуха, вследствие чего шток перемещается на величину, обратно пропорциональную жесткости пружин.

4.1.3 Лопастные исполнительные механизмы

Лопастные пневматические приводы предназначены для управления трубопроводной арматурой (краны шаровые и пробковые, затворы дисковые и шиберные и т.п.) при аналоговом или дискретном управлении положением запорного элемента, когда управляющее воздействие на шток запорного элемента требует поворотного воздействия или приложения к нему вращательного момента.

Лопастные пневматические приводы могут рассматриваться как некоторая разновидность поршневого пневматического привода, где поршень, выполненный в виде лопасти, перемещается под давлением управляющего воздуха в специальной камере. Движение силового элемента (лопасти) пневмопривода непосредственно передается на вал запорного элемента трубопроводной арматуры, обеспечивая его требуемое положение.

Пневматические и гидравлические ИМ обладают рядом преимуществ перед электрическими ИМ: высокой надежностью, большим ресурсом работы, возможностью плавного изменения выходных параметров в широком диапазоне, простотой преобразования энергии потока жидкости

или газа в механическую мощность на выходе ИМ, устойчивостью к вибрации.

4.2 Электрические исполнительные механизмы

Устройства данного типа создают большие перестановочные усилия, монтируются на большом расстоянии от пульта управления, обеспечивают практически любой ход плунжера. К недостаткам можно отнести энергоёмкость, сложность обслуживания, высокую стоимость для ИМ во взрывозащищенном исполнении. Работают в комплекте с электрическими регуляторами. Различают следующие виды электрических ИМ: электродвигательные и электромагнитные.

4.2.1 Электродвигательные исполнительные механизмы

Состоят из электродвигателя (постоянной скорости, переменной скорости или шагового), редуктора с ручным дублером, контрольно-пусковой аппаратуры (указателя положения, датчика положения), приставки, формирующей перемещение выходного вала. В зависимости от типа ИМ те или иные блоки могут отсутствовать.

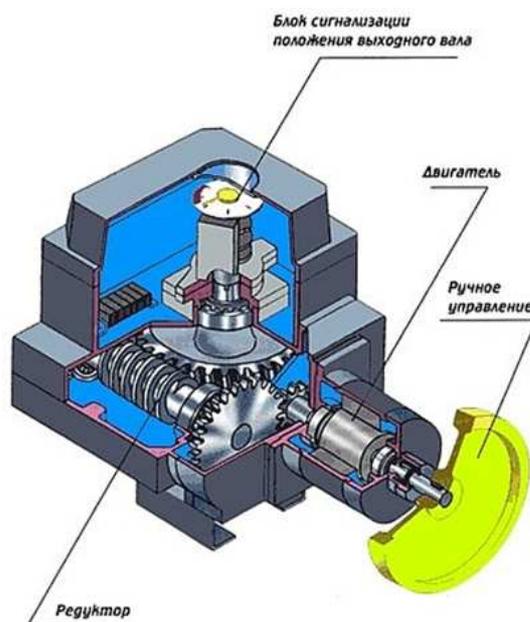


Рисунок 4.3 – Состав электрического исполнительного механизма

Наибольшее распространение получили электрические ИМ постоянной скорости, что обусловлено использованием простых и надежных электродвигателей, для управления которыми применяются простые и экономичные усилители мощности. В качестве электропривода в ИМ применяют асинхронные трехфазные двигатели, однофазные и двигатели постоянного тока.

Сигнал управления поступает одновременно к двигателю и тормозу, механизм растормаживается и двигатель приводит в движение выходной орган. При исчезновении сигнала двигатель выключается, а тормоз останавливает механизм. Простота схемы, малое число элементов, участвующих в формировании регулирующего воздействия, и высокие эксплуатационные свойства сделали исполнительные механизмы с управляемыми двигателями основой для создания исполнительных устройств современных промышленных систем автоматического регулирования.

Существуют, хотя и не получили широкого распространения, исполнительные механизмы с неуправляемыми двигателями, которые содержат управляемую электрическим сигналом механическую, электрическую либо гидравлическую муфту. Характерной их особенностью является то, что двигатель в них работает непрерывно все время работы системы регулирования, а сигнал управления от регулирующего прибора передается рабочему органу через управляемую муфту.

Исполнительные механизмы с управляемыми двигателями, в свою очередь, можно разделить по способу построения системы управления на механизмы с **контактным** и **бесконтактным** управлением.

Включение, отключение и реверсирование электродвигателей исполнительных механизмов с контактным управлением производится с помощью различной релейной или контактной аппаратуры. Это определяет основную отличительную особенность исполнительных механизмов с контактным управлением: у таких механизмов скорость выходного органа не

зависит от величины управляющего сигнала, подаваемого на вход исполнительного устройства, а направление перемещения определяется знаком (или фазой) этого сигнала. Поэтому исполнительные механизмы с контактным управлением относят обычно к исполнительным устройствам с постоянной скоростью перемещения рабочего органа.

Для получения средней переменной скорости перемещения выходного органа исполнительного механизма при контактном управлении широко используется импульсный режим работы его электродвигателя.

В большинстве исполнительных механизмов, предназначенных для работы в схемах с контактным управлением, используются реверсивные электродвигатели. Применение электродвигателей, вращающихся только в одну сторону, весьма ограничено, но все же имеет место.

Бесконтактные электрические исполнительные механизмы отличаются повышенной надежностью и позволяют относительно просто получать как постоянную, так и переменную скорость перемещения выходного органа. Для бесконтактного управления исполнительными механизмами используются электронные, магнитные или полупроводниковые усилители, а также их сочетание. При работе управляющих усилителей в релейном режиме скорость перемещения выходного органа исполнительных механизмов постоянна.

Как электрические исполнительные механизмы с контактным управлением, так и бесконтактные можно подразделять также по следующим признакам.

По назначению: с вращательным движением выходного вала – **однооборотные**; с вращательным движением выходного вала – **многооборотные**; с поступательным движением выходного вала – **прямоходные**.

Выходной вал однооборотных исполнительных механизмов может вращаться в пределах одного полного оборота. Такие механизмы характе-

ризируются величиной крутящего момента на выходном валу и временем его полного оборота.

В отличие от однооборотных многооборотные механизмы, выходной вал которых может осуществлять перемещение в пределах нескольких, иногда значительного количества, оборотов, характеризуются также полным числом оборотов выходного вала.

В **электромагнитных ИМ** усилие, необходимое для перестановки затвора РО, создается электромагнитом. Электромагнитные ИМ применяются в основном в системах двухпозиционного регулирования и в системах защиты и блокировки, так как затвор регулирующего органа может занимать только два крайних положения (открыто-закрыто).

При установке электромагнитных ИМ на трубопроводах для жидкостей следует иметь в виду, что их практически мгновенное действие приводит к гидравлическим ударам.

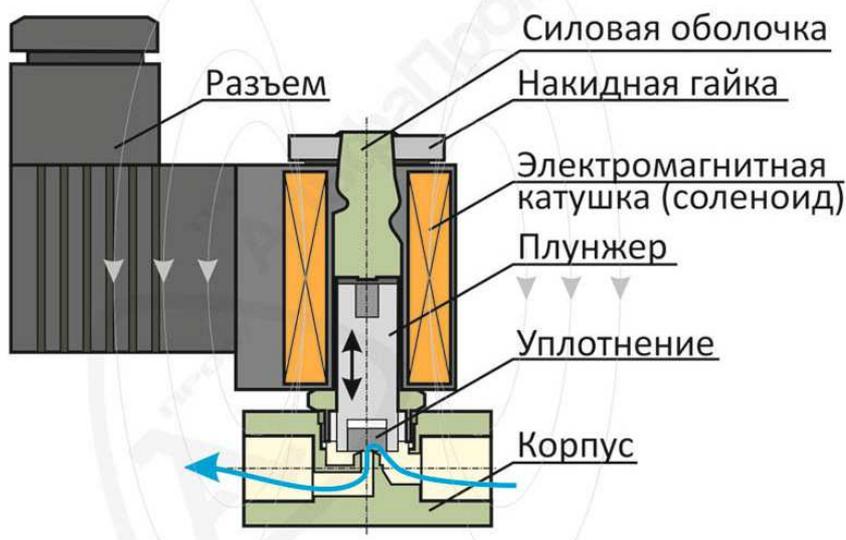


Рисунок 4.4 – Состав электромагнитного исполнительного механизма

5 Регулирующая арматура

Регулирующий орган (РО) – техническое средство изменения материального или энергетического потока, влияющего на регулируемую величину в ОУ. Это устройство, непосредственно воздействующее на ОУ для поддержания заданного значения регулируемой величины или изменения ее по заданному закону. Регулирующие органы различаются по непрерывности воздействия на расход рабочей среды, по конструкции, по пропускным характеристикам, по типоразмерам, по материалам, применяемым для их изготовления, области применения.



Рисунок 5.1 – Разнообразие конструкций регулирующих органов

Для непрерывного регулирования расхода жидкостей и газов в химической промышленности широко применяются **дрессельные РО**, представляющие собой переменное гидравлическое сопротивление для протекающей рабочей среды. Изменение расхода рабочей среды осуществляется за счет изменения проходного сечения РО.

Распространены также устройства для регулирования расхода рабочей среды изменением располагаемого напора. К этому классу РО можно отнести

приводы с регулируемой угловой скоростью вращения, устройства для ее изменения.

Для регулирования расхода сыпучих материалов применяются питатели: ленточные, шнековые, скребковые, дисковые, лопастные и т.д.

5.1 Дроссельные регулирующие органы

К дроссельным РО можно отнести регулирующие клапаны различных конструкций: односедельные, двухседельные, клеточные, шаровые, трехходовые, шланговые, диафрагмовые поворотные заслонки, шиберы.

Среди регулирующих клапанов дроссельного типа различают клапаны **прямого и обратного** действия. У клапанов прямого действия затвор при движении вниз уменьшает проходное сечение РО, а у клапана обратного действия – увеличивает.

Иногда, в зависимости от характера движения и формы затвора, различные конструкции РО объединяют в конструктивные группы:

- **с плунжерным затвором** (односедельные, двухседельные, клеточные, трехходовые);
- **бесплунжерные** (шланговые, диафрагмовые),
- **с поворотным затвором** (шаровые, поворотные заслонки).

По **числу затворов** дроссельные устройства делятся на односедельные и двухседельные.

В **односедельном РО** проходное сечение образовано одним цилиндрическим или профилированным затвором, который перемещается вдоль оси неподвижного седла. При перемещении затвора изменяется проходное сечение и соответственно расход среды, проходящей через РО. Односедельные РО применяют в ИУ малых размеров при низких давлениях среды.

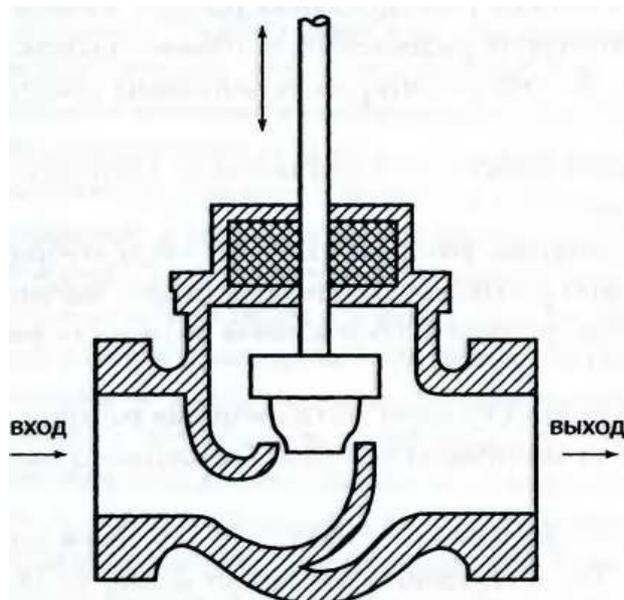


Рисунок 5.2 – Двухходовой односедельный клапан

В **двухседельном РО** проходное сечение образовано двумя цилиндрическими или профилированными затворами, перемещающимися вдоль оси двух неподвижных седел. При перемещении затворов изменяется проходное сечение и соответственно расход среды, проходящей через РО.

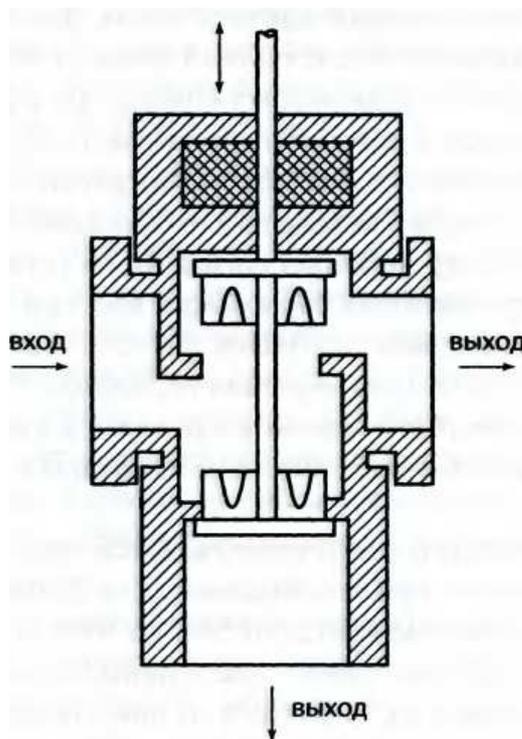


Рисунок 5.3 – Трехходовой разделительный двухседельный клапан

В **клеточном РО** проходное сечение образовано профилированными отверстиями в клетке и затвором, перекрывающим эти отверстия. Затвор пред-

ставляет собой полый цилиндр с отверстиями в верхнем торце для уравнивания давлений над затвором и под ним.

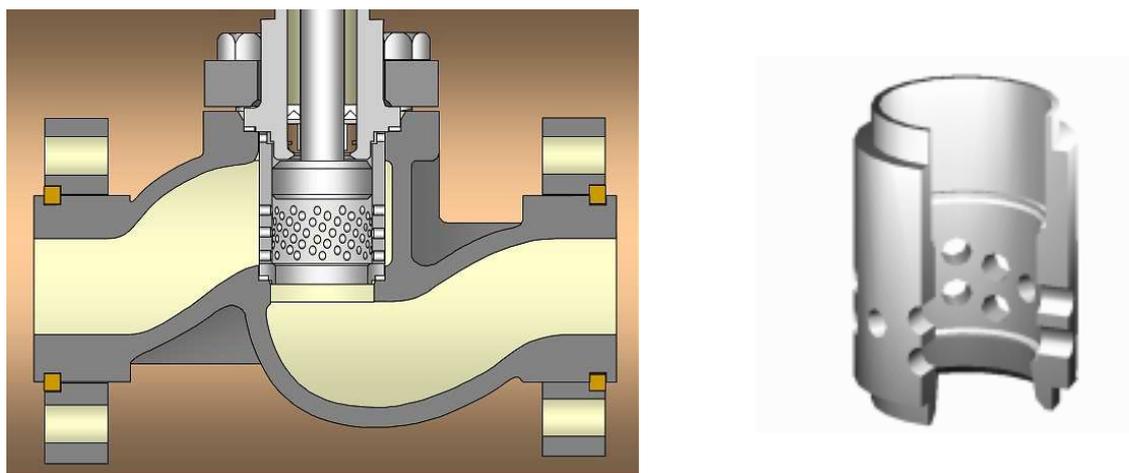


Рисунок 5.4 – Клеточный регулирующий орган

В **шланговом** регулирующем органе регулируемая среда проходит через эластичный патрубок (шланг) который, деформируясь под действием усилия развиваемого исполнительным механизмом, изменяет площадь проходного сечения и, следовательно, пропускную способность. Шланговые регулирующие органы применяются для изменения расхода сред, содержащих твердые и абразивные частицы, шламообразующих, а также агрессивных сред, например, кислот.

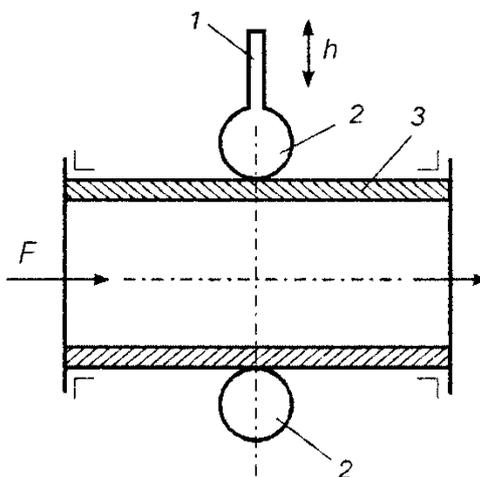


Рисунок 5.5 – Шланговый регулирующий орган: 1 – шток; 2 – валики-траверсы; 3 – эластичный патрубок

В **диафрагмовом** регулирующем органе изменение проходного сечения осуществляется за счет деформации эластичной диафрагмы относительно неподвижного седла под действием усилия, развиваемого исполнительным меха-

низмом. Диафрагмовый РО применяется для изменения расхода агрессивных сред (например, кислот) при невысоких давлениях и температурах. Основным преимуществом диафрагмовых РО является применение дешевых антикоррозионных материалов вместо дорогостоящих нержавеющей сталей, а также бесальниковая конструкция. К недостаткам диафрагмовых РО относится их неразгруженность и ограниченные давления и температуры регулируемых сред (до 150 °С).

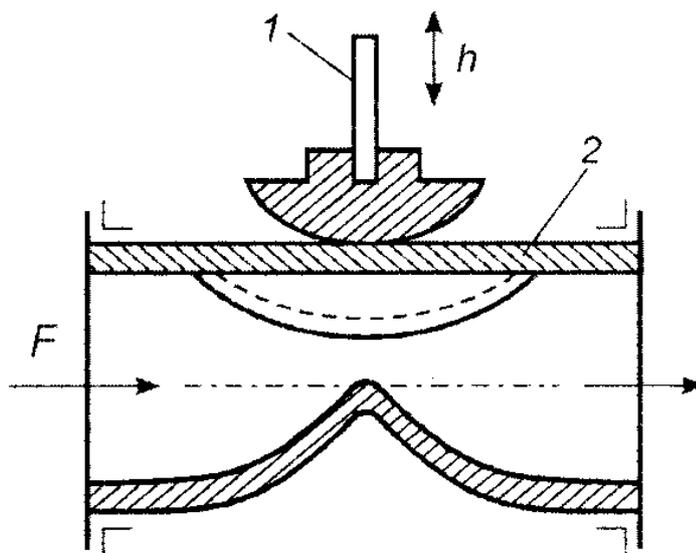


Рисунок 5.6 – Диафрагмовый регулирующий орган: 1– шток; 2 – мембрана

Шаровой регулирующий орган снабжен поворотным затвором в виде сферы с цилиндрическим отверстием и седлами, уплотнительные поверхности которых имеют форму сферы. Чрезвычайно простая форма проточной части шарового РО позволяет ее применять для регулирования потоков вязких и кристаллизующихся сред, шламов, пульп, а также сред, содержащих абразивные частицы. Пропускная характеристика шарового РО близка к равнопроцентной. При открытом положении затвора сопротивление потоку очень мало. Шаровые РО могут работать, выдерживая перепады давления до 8 МПа в интервале температур от -60 °С до +230 °С.

Затвор **заслоночного** регулирующего органа представляет собой заслонку (например, металлический диск), при повороте которой изменяется проходное сечение и, следовательно, пропускная способность РО. Когда заслонка полностью открыта (расположена параллельно оси трубопровода), пропускная способность РО максимальна. При закрытой заслонке (расположенной перпенди-

кулярно оси трубопровода) пропускная способность РО минимальна (так как затвор не обеспечивает полного перекрытия трубопровода; всегда остается небольшой кольцевой зазор). Для поворота заслонки нужен ИМ относительно небольшой мощности. При одинаковых размерах условного прохода поворотные заслонки обладают большей пропускной способностью, чем двухселевые регулирующие клапаны. Заслоночные РО применяются для изменения больших расходов газа и пара при невысоких перепадах давления (до 2,5 МПа) и температурах до 400 °С.

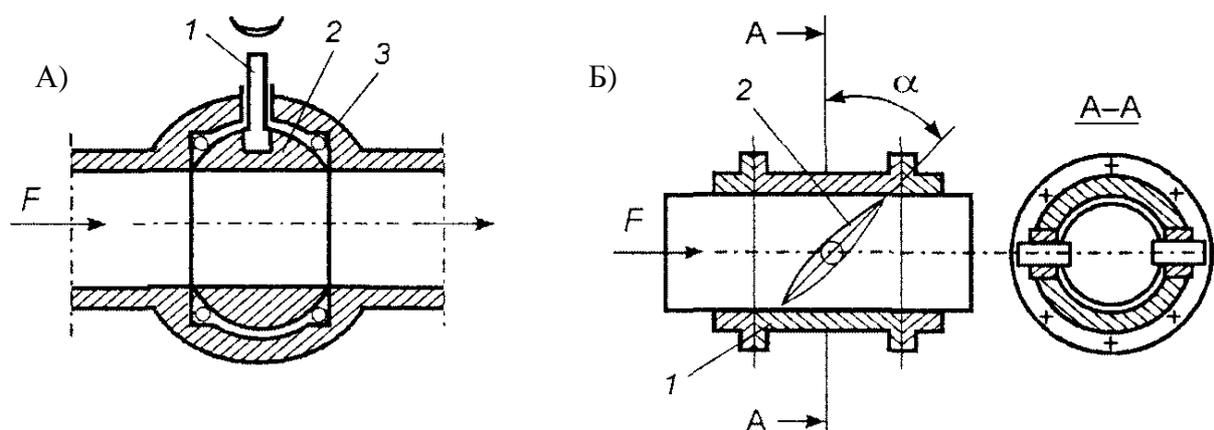


Рисунок 5.7 – А) Шаровой регулирующий орган: 1 – шток; 2 – шаровой затвор; 3 – седло

Б) Заслоночный регулирующий орган: 1 – корпус; 2 – затвор (заслонка)

В **шиберах** затвор, изготовленный в виде полотна, перемещаете перпендикулярно направлению потока. Шиберы применяются для регулирования расходов воздуха и газов при небольших статических давлениях (до 0,01 МПа), а также для дозирования сыпучих материалов. Шиберы изготавливают из различных материалов, что определяется условиями эксплуатации. Для работы с инертными газами (температура до 300 °С) шиберы изготавливают из листовой стали; при температуре выше 300 °С – из чугуна. Для работы с агрессивными газами шиберы изготавливают из легированных сталей (или из листовой стали со специальным покрытием). Шиберы устанавливают на трубопроводах, коробах и каналах любой геометрической формы сечения.

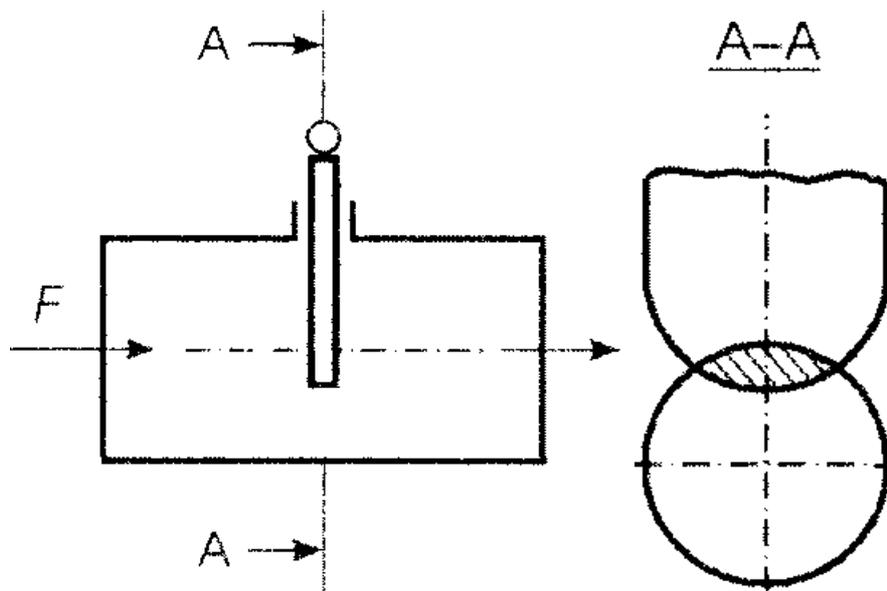


Рисунок 5.8 – Схема шиберного затвора

6 Барьеры искрозащиты

Любое промышленное производство требует высокотехнологичных решений в плане контроля и обеспечения безопасности. Особенно это касается производств, связанных с добычей и переработкой легковоспламеняющихся материалов, таких как: нефть, газ, целлюлозная промышленность и т.д. Для обеспечения пожарной безопасности, оборудование, размещенное в зоне наличия легковоспламеняющихся газов и веществ, должно иметь защиту от возникновения искр, нагрева и возгорания. Такое оборудование называют взрывозащищенным, и оно имеет в своей маркировке обозначение «Ex».

Взрывозащита может быть выполнена различными способами:

- взрывонепроницаемая оболочка обозначается Exd,
- искробезопасная электрическая цепь обозначается Exi,
- герметизация компаундом Exm и т.д.

Каждый способ имеет свою область применения. Оборудование также может иметь комбинированную защиту, состоящую из нескольких видов защит.

Использование различного электрооборудования во взрывоопасной зоне накладывает ограничение на величину электрической энергии, передаваемой во взрывоопасную зону к оборудованию, а также электрической энергии, которую может накопить электрооборудование и линии связи между ними.

Количество электрической энергии, которую можно безопасно «пустить» во взрывоопасную зону для различных взрывоопасных веществ было установлено опытным путем, и подробно этот процесс описан в ГОСТ 30852.0-2002. Важно отметить, что такая защита строится на ограничении энергии при возникновении аварийных ситуаций в электросети и связанном оборудовании, таких как короткое замыкание линии или попадание на вход высокого напряжения.

Барьер искрозащиты – узел законченной конструкции, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 30852.10-2002, предъявляемым к искробезопасным цепям, служащий барьером между искробезопасными и искроопасными электрическими цепями. **Барьер** искрозащиты отличается от **блока** искрозащиты тем,

что является законченным узлом. Блок искрозащиты входит в состав связанного с искробезопасностью электрооборудования.

Различают цепи искрозащиты с уровнями «ia», «ib» и «ic». Отличие схемы «ia» от «ib» заключается в том, что у цепей с уровнем искрозащиты «ia» предусмотрена защита обоих полюсов от источника питания.

Барьеры искрозащиты имеют следующие параметры:

1) U_m – максимальное напряжение, которое может быть приложено к входу барьера, при котором не произойдет пробой изоляции барьера и он сохранит свою функцию ограничения энергии;

2) U_0 – максимальное напряжение на выходе барьера (к которому подключено оборудование, расположенное во взрывоопасной зоне) при попадании на вход барьера напряжения U_m при отключенной нагрузке;

3) I_0 – максимальный выходной ток (ток короткого замыкания). Данный параметр определяется при коротком замыкании выхода барьера и при подаче на вход барьера напряжения U_m ;

4) P_0 – максимальная мощность, которую барьер может передать во взрывоопасную зону. Данный параметр напрямую зависит от напряжения на выходе барьера, его тока короткого замыкания;

5) R_b – сопротивление ветвей барьера, сопротивление между клеммой входного и выходного разъема. В некоторых случаях его называют проходным сопротивлением барьера.

На рисунке 6.1 приведена электрическая схема подключения датчика давления через искробезопасный барьер.

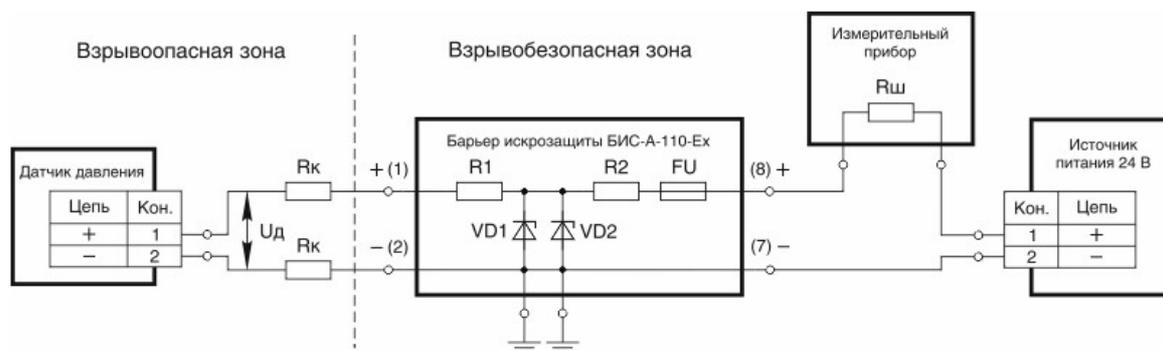


Рисунок 6.1 – Электрическая схема подключения датчика давления через искробезопасный барьер

6.1 Шунт-диодные барьеры искрозащиты

Это барьеры, состоящие из шунтирующих стабилитронов, последовательно включенных токоограничивающих резисторов и плавких предохранителей. Электрические схемы блоков искрозащиты на стабилитронах, приведены на рисунках 6.2, 6.3.

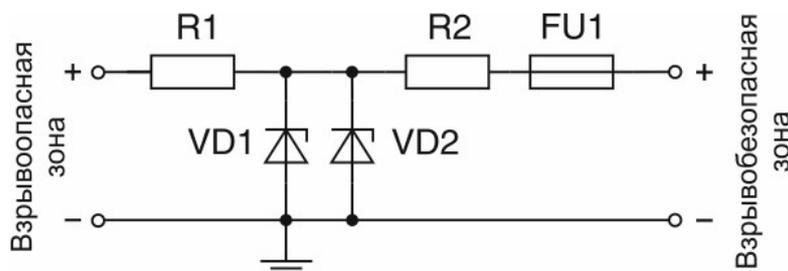


Рисунок 6.2 – Схема барьера с искробезопасной цепью уровня «ib»

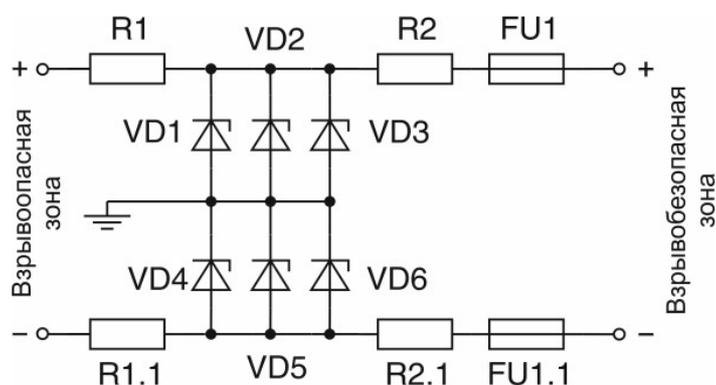


Рисунок 6.3 – Схема барьера с искробезопасной цепью уровня «ia»

Барьер состоит из шунтирующих стабилитронов VD1 – VD6, последовательно включенных токоограничительных R2, R2.1 и балластных R1, R1.1 резисторов и плавких предохранителей FU1, FU1.1. Для схемы «ia» предусмотрено двойное дублирование стабилитронов для повышения надежности и снижения вероятности отказов.

При нормальной работе напряжение на стабилитронах не превышает напряжения стабилизации, и через стабилитроны практически не течет ток (рисунок 6.4).

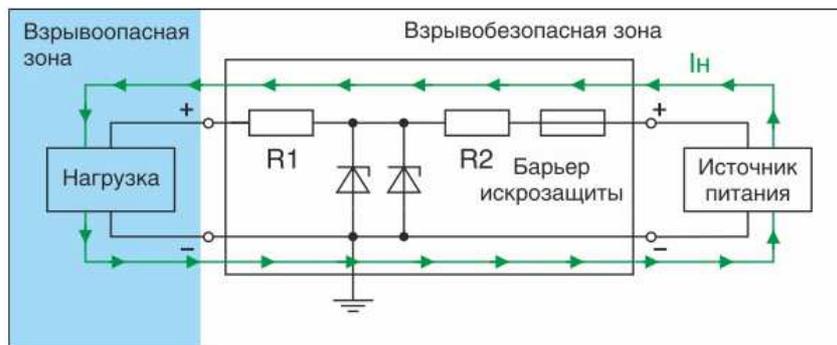


Рисунок 6.4 – Протекание тока через барьер в штатном режиме

В случае возникновения аварийной ситуации (попадания на вход барьера повышенного напряжения) стабилитроны будут ограничивать напряжение на выходе барьера при изменении тока, протекающего через них (рисунок 6.5).

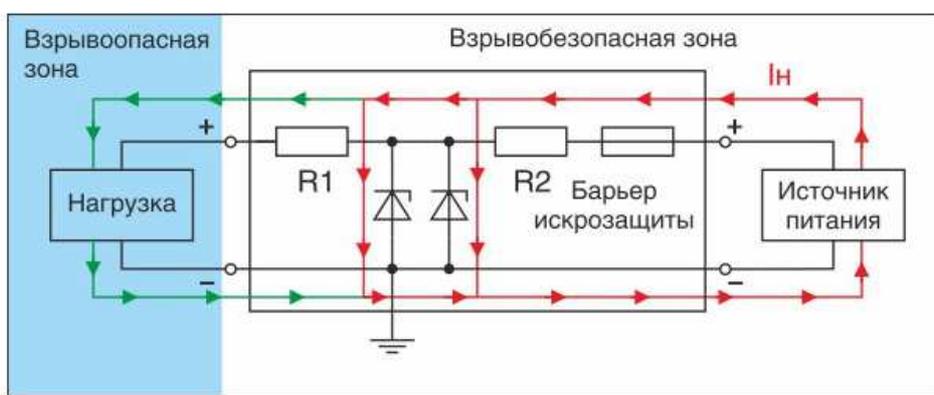


Рисунок 6.5 – Протекание тока через барьер при аварийной ситуации

Если в результате аварии на вход барьера подается напряжение, которое вызывает протекание тока свыше допустимого, то установленный плавкий предохранитель отключит защищаемые цепи от аварийной цепи. Чтобы ограничить ток через стабилитроны в момент попадания высокого напряжения на вход барьера устанавливается дополнительный токоограничительный резистор R2, который призван сохранить целостность стабилитронов при протекании токов на момент, пока перегорает плавкий предохранитель. Обычное время перегорания плавкого предохранителя находится в пределах 10 миллисекунд и сильно зависит от величины протекающего тока. Назначение балластного резистора R1 – ограничение тока короткого замыкания на выходе барьера. Таким образом, обеспечивается искробезопасный ток, напряжение и электрическая мощность при которых не может произойти возгорание во взрывоопасной зоне при аварийных режимах работы электрической цепи. При этом обеспечивается нормальная передача полезного сигнала при её штатной работе.

Барьеры данного типа применяются для подключения различных датчиков, работающих с унифицированными токовыми сигналами 4...20, 0...20 или 0...5 мА, подключения термопреобразователей температуры, потенциометров, концевых датчиков, кнопок и подобных устройств, а также передачи питания на устройства, которые находятся во взрывоопасной зоне. Данные барьеры являются самыми простыми устройствами. После короткого замыкания выхода или подачи на вход барьера высокого напряжения перегорает плавкий предохранитель, и барьер необходимо заменить. У некоторых производителей в качестве опций устанавливается дополнительная электронная схема ограничения тока короткого замыкания, которая призвана защитить предохранитель от случайного замыкания, например, при пуско-наладочных работах, делая барьер защищенным от короткого замыкания на выходе.

6.2 Активные барьеры искрозащиты

Это барьеры, в которых помимо пассивного барьера добавлена электронная схема преобразователя, позволяющая осуществлять функциональное преобразование входного сигнала, например, токовый сигнал 4...20 мА преобразовывать в выходной сигнал 0...20 мА или сигнал от потенциометра в выходной токовый сигнал 0...20 мА.

Помимо схемы преобразования в барьере имеется электронный ограничитель тока короткого замыкания на выходе, повышающий живучесть барьера при коротком замыкании выхода барьера в рабочем режиме при пуско-наладочных работах. В отличие от пассивных барьеров, где замыкание на выходе приводит к перегоранию плавкого предохранителя, активные барьеры после устранения замыкания вновь готовы к работе. Для функционирования такого барьера требуется дополнительное напряжение питания.

Основная причина применения активных барьеров – ситуации, когда невозможно применить пассивные барьеры. Например, когда сопротивление нагрузки слишком велико для того, чтобы датчику хватало напряжения питания при максимальном токе потребления. Такая ситуация может возникнуть в случае, если имеется несколько показывающих (дублирующих) приборов. Еще

один случай, когда применение активного барьера оправдано – если для питания датчика (устройства) необходимо использовать барьер с напряжением U_0 , которое ниже или равно стандартному ряду выходных напряжений источника питания, а его подстройка невозможна.

Еще один немаловажный момент, который следует учесть при использовании пассивных и активных барьеров, это наличие эквипотенциальной системы заземления. Если на данном объекте невозможно создать эквипотенциальную систему заземления, то использование таких барьеров не допускается.

6.3 Активные барьеры с гальванической развязкой

Барьер искробезопасности с гальванической развязкой (изолятор), разрывает любое прямое (гальваническое) соединение между электрическими цепями взрывобезопасной и взрывоопасной зон за счет использования слоя изоляционного материала между ними. Передача информации производится обычно через один из видов трансформаторов: оптрон, трансформатор или реле. Окончательно взрывобезопасность достигается за счет использования диодно-резистивной схемы, подобной шунт-диодному барьеру.

Так как цепь опасной зоны гальванически не связана с цепью безопасной зоны, блокирование чрезмерной энергии в барьере с гальванической развязкой обычно расценивают как эффективное и фундаментальное. Практически, ноль измерительного прибора обычно связан с заземленной нейтралью трансформатора энергоснабжения для предотвращения помех и соображений безопасности. Таким образом, при повреждении ток замыкается на нейтраль, вызывая разрушение плавкого предохранителя, устраняющее короткое замыкание за относительно короткое время.

Данная группа барьеров не имеет клемм для подключения к заземлению, так как имеется гальваническая развязка входа от выхода и от источника питания, которая гарантированно выдерживает разность потенциалов минимум 500 В.

Данные барьеры применяются в тех случаях, когда невозможно создать эквипотенциальную систему заземления – разность потенциалов земли в точке

установки датчика отличается от потенциала заземления в точке установки остального оборудования. В этих случаях заземление осуществляется непосредственно в точке установки датчика, а со стороны измерительного оборудования устанавливается барьер искрозащиты с гальванической развязкой, задачей которого является передача токового сигнала в цепи, связывающей устройства, находящиеся под разными потенциалами.

7 Электрoпневмoпреобразователи и пневмoэлектрoпреобразователи

При создании комбинированных электрoпневматических систем автоматического контроля, регулирования и управления применяют приборы с электрическими и пневматическими выходными сигналами. В этом случае для согласования рода энергии сигналов возникает необходимость применения электрoпневматических и пневмoэлектрических преобразователей.

Электрoпневматический преобразователь – прибор, предназначенный для преобразования унифицированного непрерывного сигнала постоянного тока (0-5/0-20/4-20мА) в унифицированный пропорциональный пневматический непрерывный сигнал (20-100кПа).

Принцип действия преобразователя основан на методе силовой компенсации, при котором момент, развиваемый катушкой, расположенной в поле постоянного магнита, пропорциональный входному сигналу, компенсируется моментом силы, развиваемым сильфоном обратной связи. Принципиальная схема преобразователя приведена на рисунке 7.1.

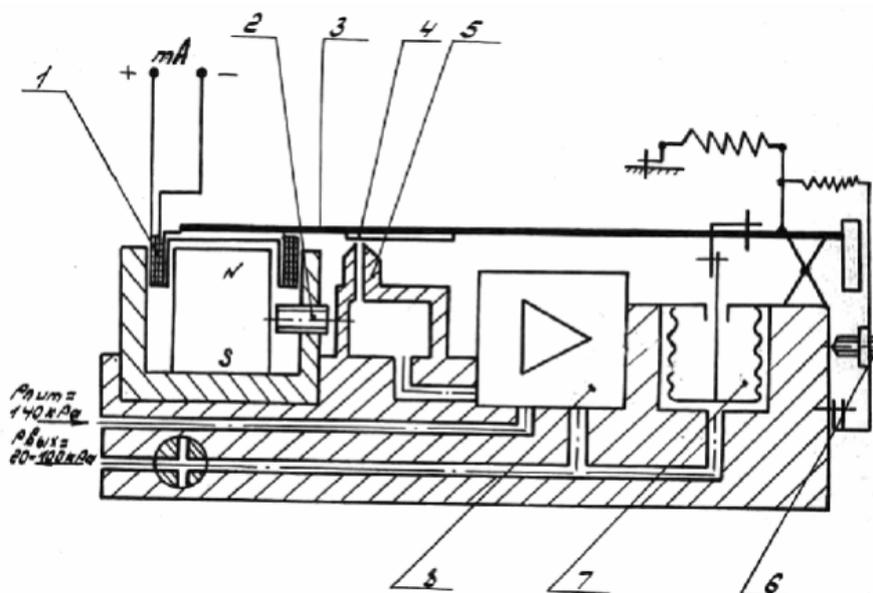


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема электрoпневмoпреобразователя

Элементом, устанавливающим равновесие моментов, является пневматическая система "сопло-заслонка". Магнитное поле, возникающее при прохождении тока через катушку 1, взаимодействуя с полем постоянного магнита, раз-

вывает усилие прямо пропорциональное величине входного тока. Под действием этого усилия рычаг 3, поворачиваясь вокруг упругой опоры, изменяет зазор между соплом 5 и заслонкой 4, что приводит к изменению давления воздуха в управляющей камере усилителя 8 до тех пор, пока его выходное давление через сильфон обратной связи 7 не восстановит равновесия на рычаге. Таким образом, реализуется прямо пропорциональная зависимость между входным токовым сигналом I и выходным давлением P преобразователя. Настройка нуля осуществляется вращением винта 6. Шунт 2 служит для точной настройки диапазона.

На рисунке 7.2 представлена принципиальная схема усилительного реле.

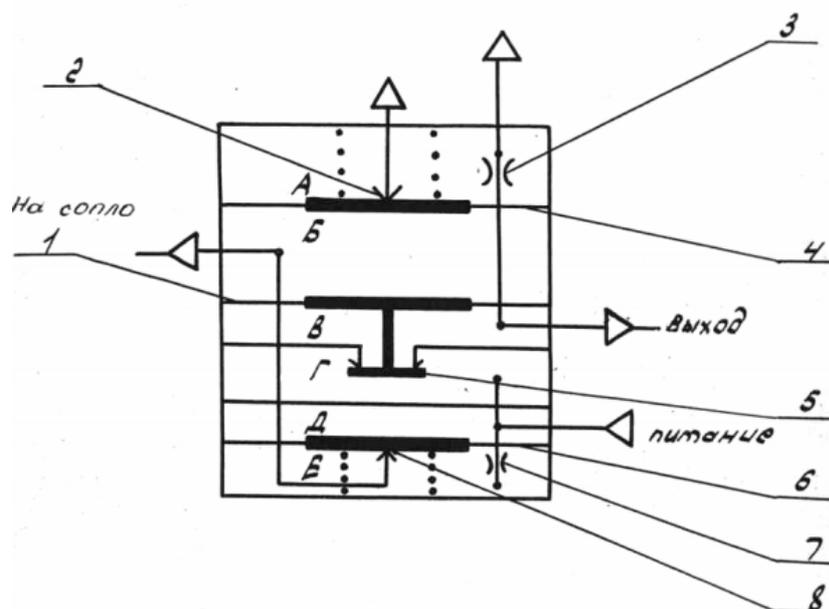


Рисунок 7.2 – Принципиальная схема усилительного реле (А-Е – глухие и проточные камеры; 1, 4, 6 – мембраны; 2, 8 – сопла; 5 – клапан набора выходного давления; 3-7 – регулируемые сопротивления (дрессели))

Перекрытие сопла преобразователя приводит к повышению давления воздуха в камере Б.

При этом сопло 2 перекрывается, а клапан набора выходного давления 5 перемещается вниз, что приводит к увеличению выходного давления.

При восстановлении равновесия на рычаге сопло открывается. При открытом сопле давление в камере Б уменьшается, клапан набора выходного давления 5 перекрывается, давление с выхода через дроссель 3 сбрасывается в атмосферу.

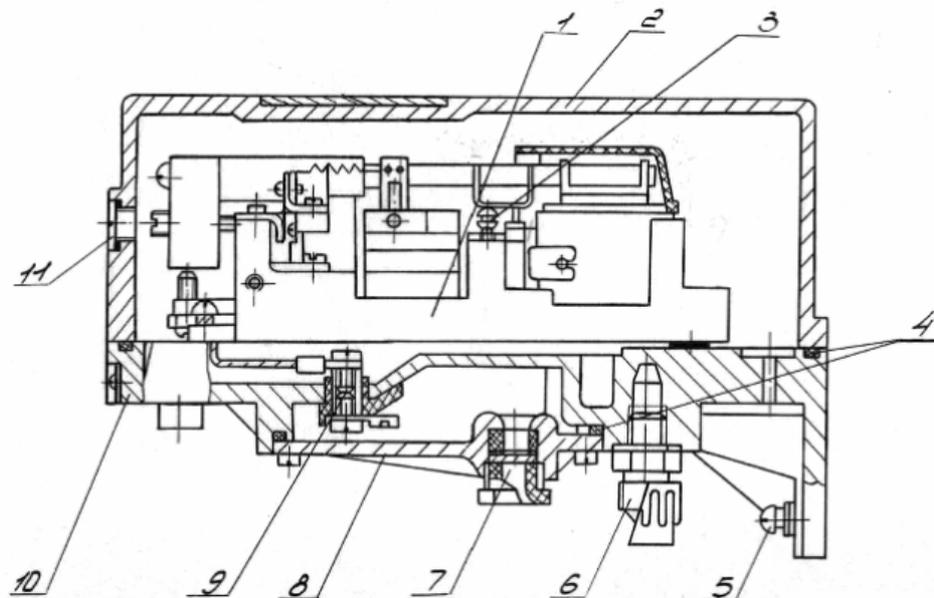


Рисунок 7.3 – Конструкция электропневмопреобразователя ЭП-0010

Основным узлом преобразователя является блок преобразования 1. Блок крепится к литому основанию 10 двумя винтами. На основании размещены штуцера внешних соединений 6, колодка 9 – для ввода входного электрического сигнала, винт заземления 5.

Жидкостный демпфер 3 служит для гашения автоколебаний рычажной системы. Для сброса давления в атмосферу от усилительного реле и сопла в основании 10 предусмотрено отверстие. К основанию крепится крышка 8 с патрубком 7 для подвода электрического кабеля. Крышка 2 крепится к основанию двумя винтами. Прокладки 4 служат для защиты внутренних полостей преобразователя от попадания пыли и влаги. В крышке предусмотрено отверстие 11 для точной установки начала диапазона преобразователя (корректировки нуля).

Пневмоэлектрический преобразователь – прибор, предназначенный для преобразования унифицированный пропорциональный пневматический непрерывный сигнал (20-100кПа) в унифицированный непрерывный сигнал постоянного тока (0-5/0-20/4-20мА).

Наибольшее распространение получили преобразователи, работающие на **принципе компенсации моментов сил** (рисунок 7.4). Конструктивно прибор оформлен в виде отдельного герметизированного блока и состоит из следующих основных узлов: манометрической пружины, блока гальванометра и электронного блока, собранных на плате.

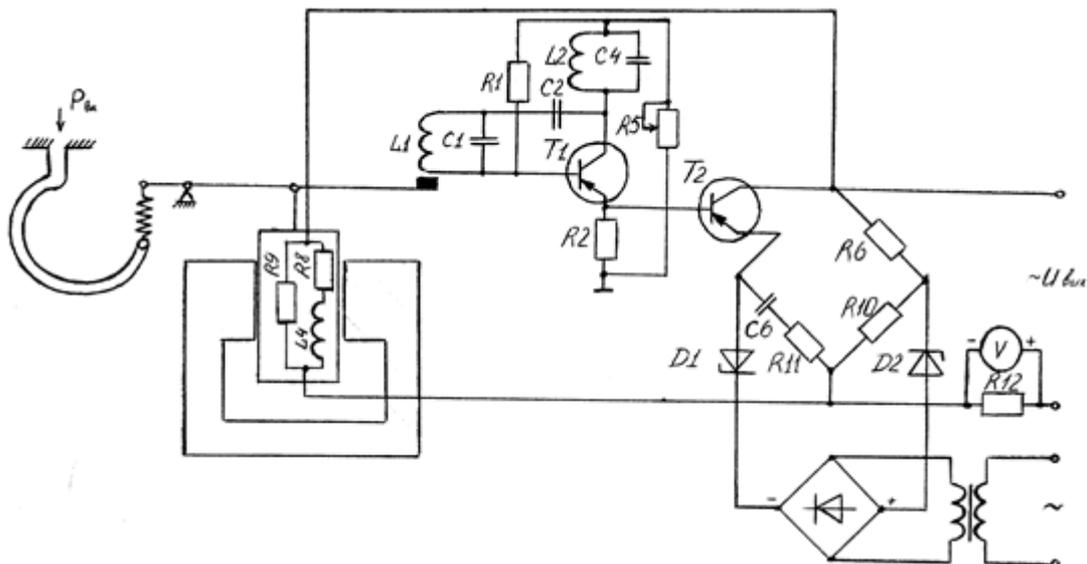


Рисунок 7.4 – Принципиальная схема пневмоэлектрического преобразователя на принципе компенсации моментов сил

Данный преобразователь работает по принципу компенсации моментов сил. Преобразуемый пневматический сигнал $P_{вх}$ поступает в трубчатую пружину 1, которая под действием давления раскручивается. Ее свободный конец перемещается вверх и растягивает пружину 2. Растяжение пружины 2 вызывает появление усилия R_1 , которое передается рычагу 3. Сила R_1 создает на рычаге 3 момент M_1 , который стремится повернуть рычаг 3 вокруг точки O . На конце рычага укреплен металлический флажок 4, который при повороте рычага приближается к плоской катушке 5. Перемещение рычага изменяет параметры резонансного контура (L_1, C_1) генератора, собранного на транзисторе T_1 , вследствие чего изменяется степень связи между контурами (L_1, C_1) и (L_2, C_2). При этом изменяется величина постоянной составляющей сигнала на резисторе R_2 . Постоянное напряжение усиливается при помощи мостового усилительного каскада, состоящего из транзистора T_2 и резисторов R_6, R_{10}, R_{11} .

Гальванометр работает следующим образом: в диагональ моста последовательно включается нагрузка R_8 и катушка отрицательной обратной связи L_4 , укрепленная на рычаге и находящаяся в поле постоянного магнита. При протекании по катушке постоянного тока вокруг нее возникает постоянное по направлению электромагнитное поле, которое взаимодействует с полем постоянного магнита 7. При этом на катушку L_4 , соединенную с рычагом 3, действует сила $R_{ос}$. Эта сила создает на рычаге вращающий момент M_2 , направленный

ный противоположно моменту M_1 . Перемещение рычага 3 происходит до тех пор, пока моменты M_1 и M_2 не станут равны. Между силой R_1 и измеряемым давлением $P_{вх}$, а так же между силой $R_{ос}$ и током I имеет место зависимость

$$R_1 = k_1 \cdot p$$

$$R_{ос} = k_2 \cdot I$$

где k_1 – коэффициент преобразования трубчатой пружины 1;

k_2 – коэффициент преобразования магнитоэлектрического преобразователя элемента, состоящего из катушки L4 и магнита 7.

Так как $M_1 = M_2$, то

$$I = k \cdot p$$

где $k = \frac{A_0 \cdot k_2}{O_K \cdot k_1}$ – коэффициент преобразования пневмоэлектропреобразователя.

Резисторы R8, R9 позволяют регулировать глубину обратной связи, изменяя тем самым диапазон действия прибора.

Прибор снабжен корректором нуля R5, т. е. перемещением ручки потенциометра сводим ток в цепи к нулю.

Питание усилительного каскада и генератора осуществляется от собственного выпрямителя стабилизированного стабилитронами D1 и D2, причем стабилитрон D2 включен одновременно в цепь эмиттера транзистора T2, что необходимо для компенсации начального уровня постоянного напряжения на резисторе R2.

Пневмоэлектропреобразователь, работающий по принципу прямого действия, изображен на рисунке 7.5. Преобразователи прямого действия обладают меньшей точностью по сравнению с преобразователями компенсационного типа, однако стоимость преобразователей компенсационного типа выше.

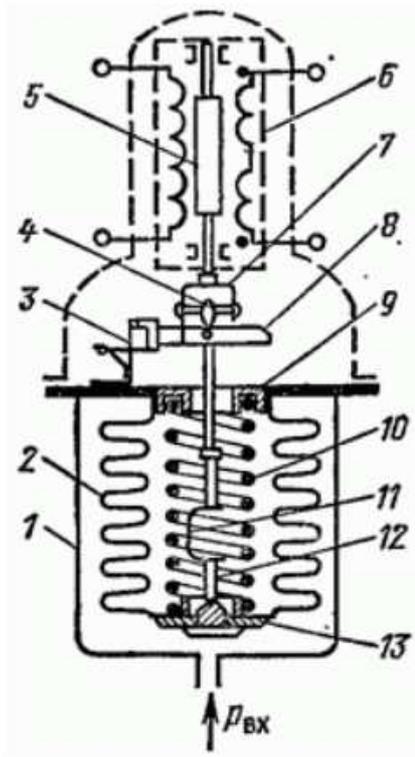


Рисунок 7.5 – Схема устройства пневмоэлектрического преобразователя прямого действия типа

Преобразователь состоит из двух основных элементов: измерительного блока 1, воспринимающего входной пневматический сигнал и дифференциально-трансформаторного передающего преобразователя 6, преобразующего входное давление в электрический выходной сигнал. В измерительном блоке в качестве упругого чувствительного элемента используется сильфон 2, снабженный винтовой пружиной 10. Пружина нижним концом закреплена во втулке 13, а верхним – во втулке 9, которая одновременно служит для центрирования и регулирования пружины.

С дном сильфона связан шток 12, верхний конец которого соединен с рычагом 8. Осью рычага является упругий шарнир 3. При повороте рычага перемещается ролик 4, который закреплен на скобе 7, соединенной со штоком сердечника 5 дифференциально-трансформаторного преобразователя. Для уменьшения температурной погрешности шток сильфона снабжен биметаллическим компенсатором 11. Для удобства наладки преобразователя предусмотрена возможность регулировки дайны штоком сильфона и сердечника.

Пневматический сигнал измерительной информации первичного прибора подводится к пневмоэлектрическому преобразователю через штуцер в герметически закрытый кожух измерительный блок 1. Под действием давления сильфон сжимается, что вызывает пропорциональное перемещение штоков, а, следовательно, и сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Список литературы

1. Балюбаш В.А. Средства автоматизации и управления. Ч.1: Учеб.-метод. пособие. / В.А. Балюбаш, В.А. Добряков, В.В Назарова. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 72 с.
2. ГОСТ 30852.10-2002 (МЭК 60079-11:1999) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь i. – Введ. 2014-02-15. –М.: Стандартиформ, 2014. – 126 с.
3. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура: Справочное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Гуревич Д. Ф., Машиностроение, 1981 г.
4. Емельянов, Е.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов/ Е.А. Емельянов, О.В. Капник. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
5. Ким, Д.П. Теория автоматического управления : учебник и практикум для академического- бакалавриата / Д. П. Ким. – М. : ИздательствоЮрайт, 2016. – 276 с.
6. Крицштейн А.М. Электрические и электронные аппараты : учебное пособие – 2-е изд. перераб. и доп. / А.М. Крицштейн. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 154 с. ISBN 978-5-9795-1690-5
7. Липатников Г.А. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики: учебное пособие / Г.А. Липатников, М.С. Гузеев.– Владивосток: ДВПИ им. Куйбышева, 2007.- 136 с.
8. Мавриков В.В. Изучение и расчёт регулирующих органов исполнительных устройств / В.В. Мавриков. – А.:АГТУ, 2006 – 22 с.
9. Николаенко С.А. Автоматизация систем управления: учеб. пособие / С. А. Николаенко, Д. С. Цокур. – Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. - 119 с.
10. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/ А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
11. Рачков, М. Ю. Пневматические системы автоматики : учебное пособие для среднего профессионального образования / М. Ю. Рачков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 264 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09114-4. — Текст : электронный
12. Шишкин С. Обзор рынка отечественных барьеров искробезопасности [Электронный ресурс] / С. Шишкин // Control Engineering Россия .— 2015 .— №4 .— С. 48-53 .— Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/421080>

Электронное учебное издание

Артем Вячеславович **Савчиц**
Степан Игоревич **Ефремкин**

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2020 г. Поз. № 28.

Подписано к использованию 18.11.2020. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 5,5.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а